

This file has been cleaned of potential threats.

If you confirm that the file is coming from a trusted source, you can send the following SHA-256 hash value to your admin for the original file.

8751da4217459b805d7a4b6a1121d47aa121732ea7759a43ab544e0fc38903e5

To view the reconstructed contents, please SCROLL DOWN to next page.

## PEMANFAATAN EKSTRAK KAYU MERBAU UNTUK PEREKAT PRODUK LAMINASI BAMBU (*Utilization of Merbau Wood Extract to Bind Laminated Bamboo Products*)

Adi Santoso, I.M. Sulastiningsih, Gustan Pari, & Jasni

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan,  
Jl. Gunung Batu No. 5 Bogor Telp. (0251) 8633378, Fax. (0251) 86333413  
E-mail : asanto10@yahoo.com

Diterima 29 April 2015, Direvisi 28 Oktober 2015, Disetujui 20 April 2016

### ABSTRACT

*The report describes the use of adhesive made from merbau wood extract (*Intsia Spp.*) which is allowed to copolymerize with resorcinol, formaldehyde under alkaline conditions, and tapioca as an extender. The adhesive was used to manufacture three-ply composite board consisting of a back and core layers made from sengon (*Falcataria mollucana*), and jabon (*Anthocephalus chinensis*), while the face layer was made either one of three bamboo species, namely, andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea*), mayan (*Gigantochloa robusta* Kurz.), and bitung (*Dendrocalamus asper* Schult. F.). Result shows that physical-mechanical properties of the composite board with using adhesive by formula (% of weight ratio) Merbau extract : Resorcinol 50% : Formaldehyde 37% : Extender = 100 : 10 : 10 : 5) were similar with to those of products made of synthetic phenolic adhesive and classified as an exterior quality type with E<sub>0</sub> or F\*\*\*\* types of low formaldehyde emission.*

*Keywords: Adhesive, merbau wood waste extraction, three-ply composite board*

### ABSTRAK

Tulisan ini mengemukakan pemanfaatan perekat yang dibuat dari ekstrak kayu merbau (*Intsia spp.*) yang dikopolimerisasi dengan resorsinol, formaldehida dalam kondisi basa, dan tapioka sebagai ekstendernya. Perekat tersebut digunakan untuk membuat papan komposit tiga lapis yang lapisan belakang dan inti terdiri dari kayu sengon (*Falcataria mollucana*), dan jabon (*Anthocephalus chinensis*), sementara lapisan mukanya terbuat dari salah satu jenis bambu, yaitu andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea*), mayan (*Gigantochloa robusta* Kurz.), dan bitung (*Dendrocalamus asper* Schult. F.). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat fisis-mekanis papan komposit yang menggunakan perekat dengan formula (perbandingan % bobot) ekstrak Merbau : Resorsinol 50% : Formaldehida 37% : Ekstender tapioka = 100 : 10 : 10 : 5) sebanding dengan produk sejenis yang menggunakan perekat fenolik sintesis, serta tergolong kualitas eksterior dengan emisi formaldehida rendah tergolong tipe E<sub>0</sub> atau F\*\*\*\*.

Kata kunci: Perekat, ekstrak limbah kayu merbau, papan komposit tiga lapis

### I. PENDAHULUAN

Senyawa fenolik yang diperoleh dari sumber daya alam telah digunakan untuk produksi perekat kayu sejak tahun 1970-an (Tondi & Pizzi, 2009). Di antara alternatif pengganti senyawa fenolik

dari turunan minyak bumi, adalah tanin terkondensasi yang diperoleh dari kulit pohon jenis tertentu, yang merupakan sumber daya terbarukan (Kim, Lee, & Kim, 2003; Sowunmi, Ebewe, Conner, & River, 1996). Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa tanin tidak hanya

bisa digunakan sebagai pengganti untuk fenol dalam produksi resin fenol-formaldehida (PF), resorsinol-formaldehida (RF), fenol-resorsinol-formaldehida (PRF) tetapi juga untuk pembuatan tanin-formaldehida tipe interior dan eksterior guna memproduksi panel kayu seperti papan partikel dan kayu lapis (Tondi & Pizzi, 2009; Lei, Pizzi, & Du 2008; Pichelin, Nakatani, Pizzi, Wieland, Despres, & Rigolet, 2006; Pizzi, 2006). Proses ekstraksi tanin dari kulit kayu cukup sederhana, yakni dengan menggunakan air sebagai pelarut, dalam suasana basa (karbonat, soda) dan natrium sulfat atau metabisulfat, pada suhu sekitar 80°C (Pizzi, 2003). Tanin komersial terutama yang diperoleh dari mimosa, quebracho dan pinus telah digunakan untuk perekat kayu (Fradinho Neto, Evtuguin, Jorge, Irlle, Gil, & Pedrosa de Jesus, 2002; Panamgama, 2007; Vazquez, Freire, Gonzalez, & Antorrena, 2000).

Di Indonesia, berbagai penelitian dalam upaya memperoleh bahan perekat yang ekonomis dan ramah lingkungan terus dilakukan, berawal dari penemuan perekat berbahan dasar alami seperti tanin dari zat ekstraktif kulit pohon akasia (*Acacia decurrens*, *A. mangium*), bakau dan jenis kulit pohon lainnya, (*Rhizophora* spp.) (Brandts, 1953; Santoso, 2011; Santoso, Hadi, & Malik, 2014) sebagai bahan perekat, memiliki nilai tambah tersendiri sehingga mendorong dilakukannya penelitian serupa untuk mendapatkan bahan alternatif perekat alami. Salah satu jenis kayu yang berpotensi sebagai bahan perekat alami adalah merbau (*Intsia* spp.) (Malik & Santoso 2010; Santoso & Malik 2011a, 2011b, 2011c).

Tulisan ini mempelajari reformulasi dan uji coba aplikasi perekat dari limbah kayu merbau yang mengandung resorsinol alami pada produk kayu komposit di industri. Tulisan ini juga mempelajari kualitas fisiko-kimia perekat dari ekstrak kayu merbau dan kualitas produk laminasi yang menggunakan perekat dari ekstrak kayu merbau tersebut.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan untuk perekat adalah limbah kayu merbau (*Intsia* spp.). berupa serbuk kayu gergajian. Bahan untuk produk

komposit terdiri atas 3 (tiga) jenis bambu yaitu andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea*), mayan (*Gigantochloa robusta* Kurz.), dan bitung (*Dendrocalamus asper* Schult. F.), dan 2 jenis kayu yakni jabon (*Anthocephalus chinensis*), dan sengon (*Falcataria mollucana*).

Penelitian ini menggunakan bahan kimia dalam bentuk formulasi atau perekat, antara lain resorsinol teknis dan NaOH 50% untuk katalis dan pengatur pH serta formaldehida sebagai *crosslinker*, dan aquades sebagai pelarut. Di samping itu juga digunakan bahan pembantu seperti tepung tapioka sebagai ekstender, kertas saring, pH universal, kertas label, dan air. Peralatan lain yang digunakan dalam proses ekstraksi: penangas air, *beaker glass*, gelas ukur, *stopwatch*, timbangan, viskometer Ostwald, oven, saringan 40 mesh, cawan petri, dan kamera.

Peralatan utama yang diperlukan dalam penelitian uji coba aplikasi perekat adalah mesin-mesin untuk pengerjaan bambu dan/atau kayu seperti mesin serut atau *moulder*, mesin kempa dan/atau laminasi, serta mesin uji universal.

### B. Metode Penelitian

#### 1. Pembuatan formulasi perekat

Pembuatan perekat hayati ini terdiri atas serangkaian kegiatan mulai dari ekstraksi limbah kayu merbau hingga pembuatan perekat dengan komposisi tertentu dari komponen penyusunnya. Ekstraksi dilakukan dengan alat ekstraktor di mana limbah kayu merbau berupa serbuk diekstrak dengan cara mencampurkannya dengan air dengan perbandingan 1 : 3 (b/b) dan dipanaskan pada suhu 80°C selama 3 jam. Ekstrak yang diperoleh dipisahkan dari serbuknya melalui penyaringan. Ekstraksi diulang sekali lagi dengan perbandingan yang sama.

Pembuatan perekat dilakukan dengan mereaksikan ekstrak merbau (M) dengan formaldehida 37% (F), dan ekstender berupa tepung tapioka (E), serta larutan resorsinol teknis 50% (R). Penambahan larutan resorsinol dalam formulasi ini dimaksudkan sebagai "aktivator" resorsinol yang ada dalam ekstrak merbau sekaligus sebagai '*catching agent*' dari formaldehida bebas. Formulasi yang disempurnakan ini terdiri atas enam taraf kombinasi, yaitu nisbah % bobot antara M : F : E = 100 : 10 : 5, dengan penambahan R masing-masing: 0, 5, 10, 15, 20, dan 25%.

## 2. Sifat fisiko-kimia perekat

Hasil dari setiap formulasi tersebut diuji sifat fisiko-kimianya dengan pembanding perekat phenol-resorsinol-formaldehida (PRF) (Akzonobel, 2001). Pengujian mencakup penentuan viskositas, densitas, visual, benda asing, pH, kadar padatan dan kadar formaldehida bebas mengacu pada SNI 06-4567 (1998).

## 3. Pembuatan produk kayu komposit

Penelitian dilakukan pada pembuatan kayu komposit berupa papan bambu lamina berinti bilah bambu dan/atau berinti bilah kayu. Masing-masing penyusun panel lamina diusahakan dimensi dan kehalusan permukaannya sama (homogen) dan telah dikeringkan hingga kadar airnya berkisar antara 8-12%.

Bahan baku berupa bilah bambu dan/atau kayu yang telah disiapkan kemudian dibersihkan dan dilaburi perekat dan dibuat panel lamina. Kemudian ramuan perekat dilaburkan pada salah satu sisi komponen panel dengan bobot labur maksimum  $170 \text{ g/m}^2$ . Setelah pelaburan merata, komponen panel direkatkan satu dengan yang lainnya dilanjutkan dengan kempa dingin bertekanan  $10 \text{ kg/cm}^2$  selama 3 jam. Selanjutnya panel dikondisikan dengan mendiampkannya pada suhu ruang ( $\pm 27^\circ\text{C}$ ) selama satu minggu sebelum dibuat contoh uji untuk pengujian kualitasnya.

## 4. Evaluasi produk laminasi bambu

Pengujian produk panel lamina terdiri atas kadar air, kerapatan, emisi formaldehida, keteguhan geser tekan, keteguhan patah (MOR), dan keteguhan lentur (MOE) serta delaminasi untuk tipe eksterior I, masing-masing dengan mengacu pada standar Jepang untuk balok laminasi (JAS, 2003), dan untuk emisi formaldehida menggunakan metode acetyl acetone (*Nash reagent*) pada panjang gelombang 412 nm (Roffael, 1993). Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan percobaan faktorial 2 faktor, yaitu faktor A untuk jenis bambu dan faktor B produk lamina yang dihasilkan. Faktor A terdiri atas 3 taraf: andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea*), mayan (*Gigantochloa robusta* Kurz.), dan bitung (*Dendrocalamus asper* Schult. F.). Untuk faktor B adalah jenis produk terdiri atas 4 taraf: produk lamina bambu, dan 3 campuran jenis bahan baku dengan berbagai orientasi penyusunan lamina. Jenis kayu yang digunakan adalah jabon

(*Anthocephalus chinensis*), sengon (*Falcataria mollucana*), dan bambu. Orientasi lamina yang dibuat terdiri atas bilah sejajar arah serat (selanjutnya disebut produk lamina) maupun tegak lurus arah serat menyerupai susunan pada produk, *Cross Laminated Timber* (CLT). Setiap perlakuan dibuat 3x ulangan. Pengujian sifat fisis-mekanis dan emisi formaldehida contoh produk dilakukan di Laboratorium Produk Majemuk-Pusat Litbang Hasil Hutan, Bogor.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Evaluasi Perekat dari Ekstrak Kayu Merbau

Karakteristik perekat hasil formulasi dari ekstrak merbau dengan nisbah % bobot antara M : F : E = 100 : 10 : 5, dengan penambahan larutan R 50% masing-masing: 0, 5, 10, 15, 20, dan 25 % disajikan pada Tabel 1.

Secara visual, resin hasil kopolimerisasi ekstrak cair kayu merbau dengan resorsinol dan formaldehida dalam berbagai komposisi, yang selanjutnya disebut resin MFE<sup>+R50</sup>, menyerupai resin fenol resorsinol formaldehida. Resin MFE<sup>+R50</sup> yang diperoleh berupa cairan berwarna coklat kehitaman dan berbau khas fenol. Ada kecenderungan bahwa semakin tinggi penambahan larutan resorsinol teknis 50%, kadar resin padat (*solid content*) MFE semakin meningkat mengikuti persamaan regresi kuadratik (Gambar 1). Fenomena serupa terjadi pada aspek kekentalan (Gambar 2), dan bobot jenisnya (Gambar 3).

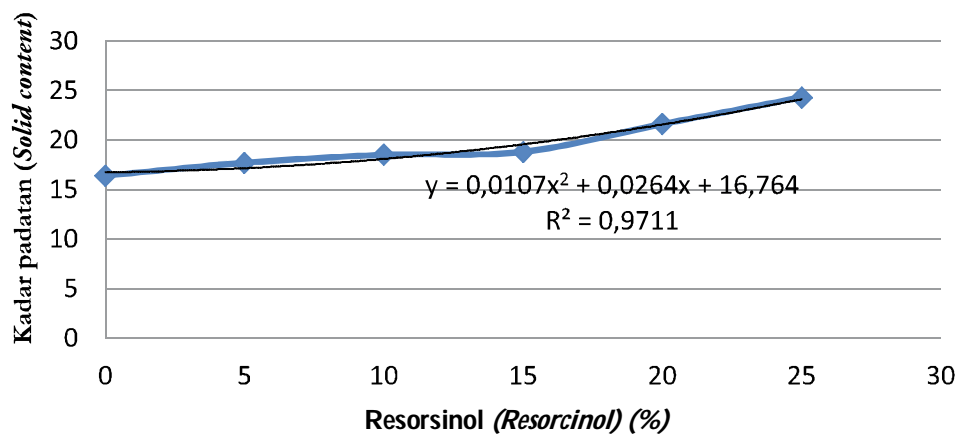
Meningkatnya kadar resin padat (*solid content*), menurunnya waktu tergelatin dan kadar formaldehida bebas perekat, masing-masing seiring dengan meningkatnya pemakaian larutan resorsinol 50% (Gambar 1, 4, dan 5), mengindikasikan bahwa penambahan resorsinol tersebut semakin menambah sempurnanya reaksi kopolimerisasi (Santoso, Hadi, & Malik, 2014), sehingga molekul-molekul yang terkandung dalam resin makin meningkat. Dengan demikian diharapkan akan semakin banyak molekul-molekul perekat yang akan bereaksi dengan kayu ketika berlangsung proses perekatan, sehingga tercipta keteguhan rekat yang lebih baik. Menurut Vick (1999), ikatan rekat maksimum dapat

**Tabel 1. Pengaruh penambahan larutan resorsinol 50% terhadap sifat fisiko-kimia perekat ekstrak kayu merbau (MFE<sup>+R50</sup>)**

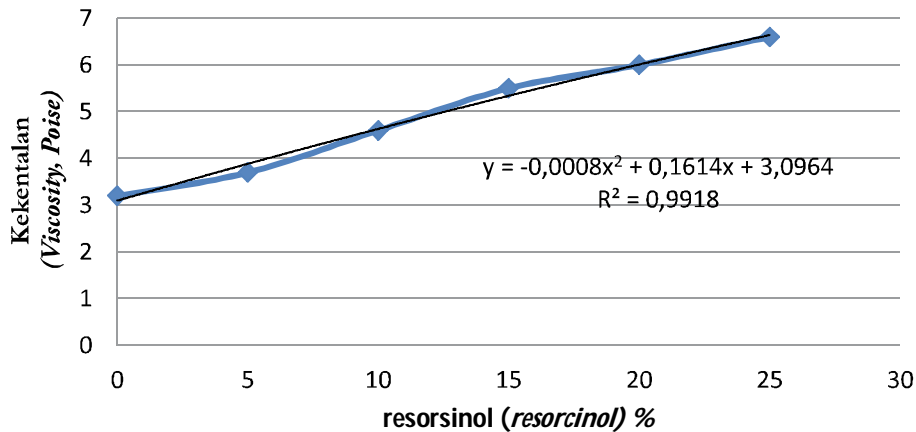
**Table 1. Effect of 50% resorcinol addition on physical-chemical properties of merbau adhesive (MFE<sup>+R50</sup>)**

No.	Sifat ( <i>Properties</i> )	Kadar resorsinol ( <i>Resorcinol content</i> ), %						PRF
		0	5	10	15	20	25	
1.	Kenampakan: Bentuk, Warna & Bau ( <i>Appearances: phase, colour, smell</i> )	+	+	+	+	+	+	Cair, Merah-cokelat, Fenol
2.	Kekentalan ( <i>Viscosity</i> ), poise	3,2	3,7	4,6	5,5	6,0	6,6	3,4
3.	Kemasaman ( <i>Acidity</i> ), pH	11	11	11	11	11	11	8
4.	Bobot jenis ( <i>Specific gravity</i> )	1,11	1,13	1,14	1,14	1,15	1,15	1,15
5.	Kadar padatan ( <i>Solid content</i> ), %	16,4	17,7	18,5	18,8	21,6	24,3	57,0
6.	Waktu tergelatin ( <i>Galatinaus time</i> ), menit ( <i>minutes</i> )	97	94	90	86	83	80	85
7.	Formaldehida bebas ( <i>Free formaldehyde</i> ), %	0,51	0,37	0,37	0,36	0,21	0,05	0,04
8.	Keteguhan rekat ( <i>Bonding strength</i> ), kg/cm <sup>2</sup>	10,2	15,8	44,7	33,9	30,3	16,2	48,6

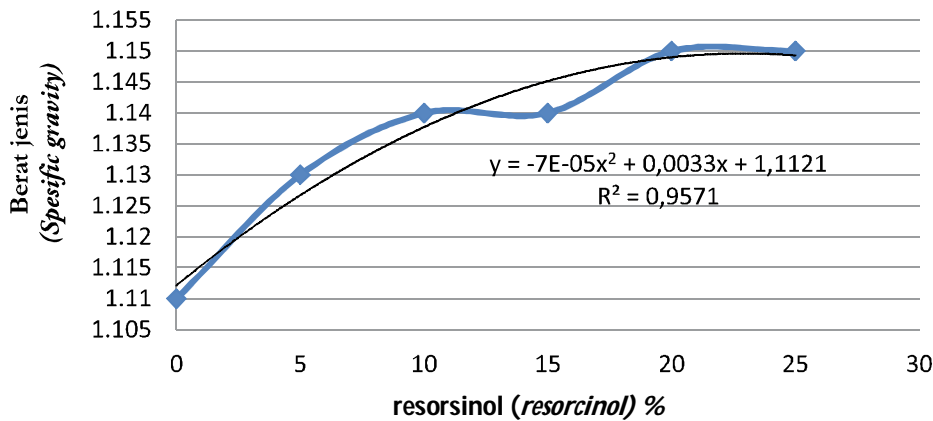
Keterangan (*Remarks*): (+) = sesuai rujukan standar (*meet the standard*); PRF = fenol resorsinol formaldehida (*phenol resorcinol formaldehyde*)



**Gambar 1. Pengaruh penambahan larutan resorsinol 50% terhadap solid content perekat**  
**Figure 1. Effect of 50% resorcinol addition on glue's solid content**



**Gambar 2. Pengaruh penambahan larutan resorsinol 50% terhadap kekentalan perekat**  
**Figure 2. Effect of 50% resorcinol addition on glue's viscosity**



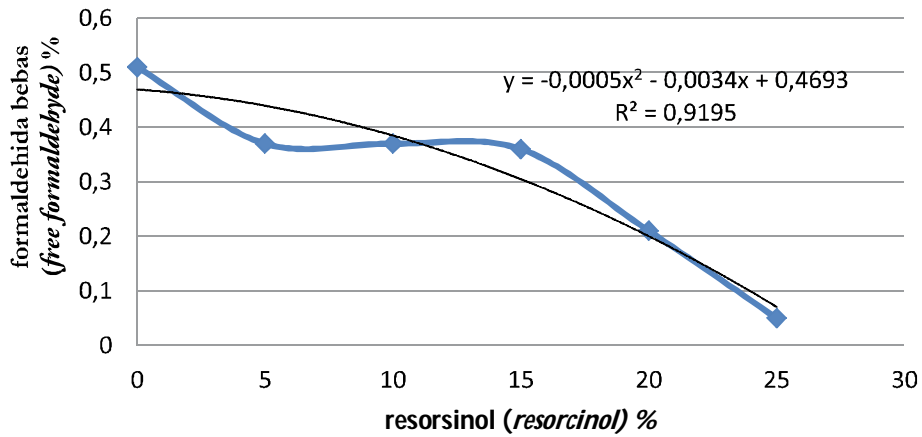
**Gambar 3. Pengaruh penambahan larutan resorsinol 50% terhadap bobot jenis perekat**  
**Figure 3. Effect of 50% resorcinol addition on glue's specific gravity**

tercapai jika perekat membasahi semua permukaan adheren sehingga terjadi kontak antara molekul perekat dan molekul kayu, dengan demikian daya tarik intermolekul antara kayu dengan perekat dapat berikatan lebih sempurna. Dengan demikian peningkatan kadar resin padat cenderung meningkatkan kualitas perekatan.

Waktu tergelatin mewakili *pot life* perekat. Perekat ekstrak kayu merbau yang dibuat memiliki waktu tergelatin lebih panjang (90 menit) daripada perekat PRF (85 menit) yang digunakan sebagai pembanding. Hal ini mengisyaratkan bahwa resorsinol tercampur pada resorsinol isolat dari ekstrak cair kayu merbau pada kondisi basa sehingga terbentuk rantai cabang. Dengan demikian *pot life* perekat ekstrak kayu merbau menjadi lebih lama daripada PRF. Menurut Pizzi

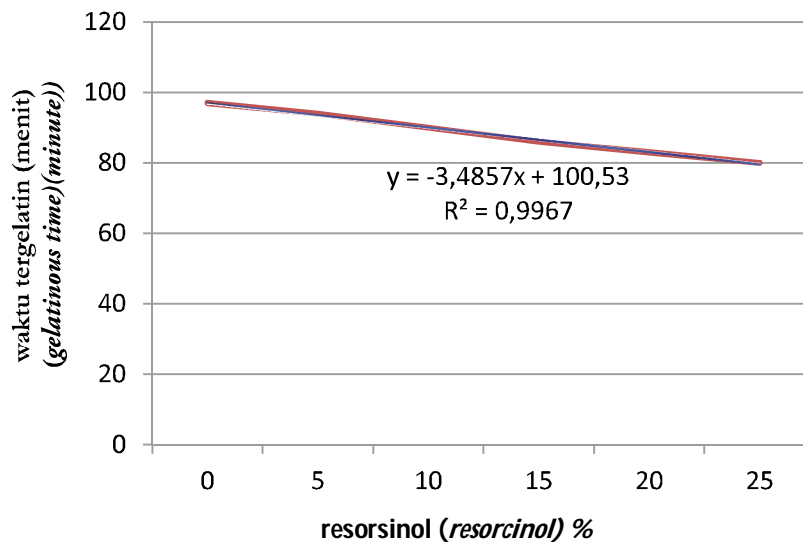
(1994), kondisi seperti tersebut di atas bisa diterima untuk keperluan industri, karena melebihi nilai minimum *pot life* yang dianjurkan (88 menit).

Kekentalan perekat ekstrak kayu merbau dibuat relatif tidak terpengaruh dengan penambahan larutan resorsinol teknis, dan diupayakan lebih encer daripada perekat PRF, dengan tujuan agar memiliki *pot life* lebih lama, oleh karenanya parameter ini bukan merupakan besaran yang diukur melainkan target akhir reaksi. Perekat ekstrak kayu merbau relatif lebih kental (4,6 poise) daripada perekat PRF (3,4 poise). Kondisi seperti tersebut di atas menguntungkan, karena menurut Maloney (1977), resin yang berkadar padat tinggi dengan viskositas sesuai akan membuatnya mampu menembus pori kayu



**Gambar 4. Pengaruh penambahan larutan resorsinol 50% terhadap kadar formaldehida bebas perekat**

**Figure 4. Effect of 50% resorcinol addition on glue's free formaldehyde**



**Gambar 5. Pengaruh penambahan larutan resorsinol 50% terhadap waktu tergelatin perekat**

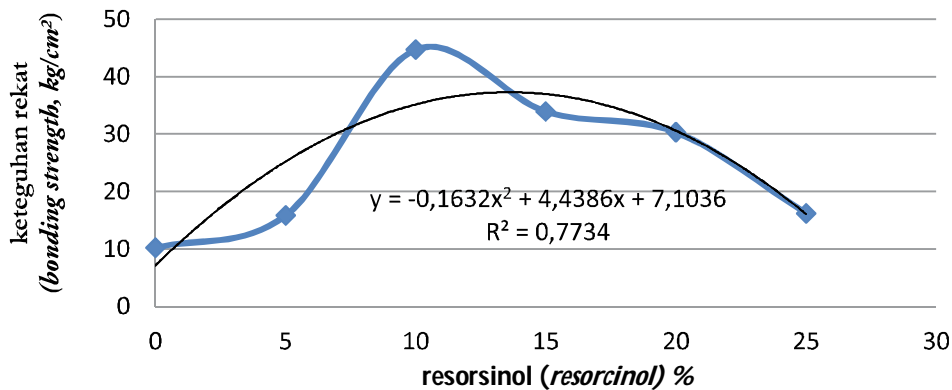
**Figure 5. Effect of 50% resorcinol addition on glue's gelatinous time**

dengan baik dan membentuk ikatan yang optimum, sehingga dihasilkan daya rekat yang memuaskan. Fakta di lapangan seringkali menunjukkan bahwa perekat yang viskositasnya tinggi, *pot life*-nya lebih singkat, dan akan lebih cepat mengeras daripada yang encer, sehingga kualitas perekatannya relatif rendah.

Seperti halnya kekentalan, pH resin juga merupakan target akhir reaksi kondensasi, yang sengaja dikondisikan basa ( $\text{pH} > 7$ ) dengan tujuan memperlambat reaksi pembentukan ikatan hidrogen, sehingga resin cair stabil dalam waktu relatif lama sewaktu penyimpanan (*pot life*).

Seluruh nilai pH pada hasil penelitian MFE menunjukkan pH sebesar 11, dan untuk PRF adalah 8. Bobot jenis resin cenderung meningkat dengan bertambahnya mol resorsinol, yang menurut Cowd (1991) peningkatan massa jenis tersebut salah satu indikasi meningkatnya kekristalan resin akibat reaksi kopolimerisasi.

Kadar formaldehida bebas menggambarkan adanya kelebihan formaldehida yang tidak bereaksi dalam pembentukan suatu polimer (SNI 06-4567, 1998). Penetapan ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui jumlah kelebihan formaldehida yang tidak bereaksi dalam



**Gambar 6. Pengaruh penambahan larutan resorsinol 50% terhadap keteguhan rekat produk lamina**

**Figure 6. Effect of 50% resorcinol addition on laminated product's bonding strength**

pembentukan resin MFE, dan tingkat emisi yang kemungkinan terjadi sebagai akibat formaldehida yang dilepaskan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa formaldehida bebas yang terjadi dalam reaksi kondensasi MFE pada berbagai komposisi (Tabel 1), lebih tinggi daripada perekat PRF. Nilai formaldehida perekat PRF adalah 0,04% sedangkan hasil ekstraksi perekat merbau (MFE) 0,37%. Nilai ini masih dalam batas aman karena kurang dari 3% seperti yang disyaratkan bagi perekat yang mengandung formaldehida (SNI 06-4567, 1998). Ada kecenderungan bahwa dengan meningkatnya resorsinol teknis yang ditambahkan, kadar formaldehida bebas resin MFE semakin berkurang, hal ini mengindikasikan bahwa reaksi berjalan semakin baik, dan penambahan larutan resorsinol 50% sampai sebanyak 25% memenuhi untuk tercapainya reaksi secara maksimal sebesar 0,05%.

Aplikasi resin tersebut pada produk komposit lamina bambu betung memperlihatkan nilai keteguhan rekat yang meningkat sampai batas tertentu penambahan larutan resorsinol 50%. Hasil uji dalam kondisi kering udara pada keteguhan geser tekan yang menggambarkan uji keteguhan rekat produk lamina berbahan baku bambu betung menunjukkan bahwa formula resin EMF yang menggunakan larutan resorsinol 50% sebanyak 10% menghasilkan nilai tertinggi sebesar 44,7 kg/cm<sup>2</sup> seperti disajikan pada Tabel 1. Dengan demikian formula terbaik adalah pada nisbah % bobot antara M : F : E = 100 : 10 : 5, dengan penambahan larutan resorsinol 50%

(MFE<sup>+R50</sup>) sebanyak 10 %. Berdasarkan hasil di atas, selanjutnya formula terbaik tersebut diujicobakan pada pembuatan produk komposit sesuai kondisi di industri.

## B. Evaluasi Perekat pada Produk Laminasi Bambu

Kualitas perekatan hasil uji coba aplikasi perekat (MFE<sup>+R50</sup>) di industri bambu komposit disajikan pada Tabel 2.

Produk yang dibuat di industri adalah dalam bentuk panel komposit lamina tiga lapis berukuran 4 m x 60 cm x 3 cm, dikelompokkan berdasarkan jenis bahan baku serta arah susunan *core* (sejajar atau tegak lurus) terhadap lapisan muka (*face*), dan lapisan belakangnya (*back*).

Aplikasi kopolimer ekstrak cair limbah kayu merbau pada produk yang menggunakan jenis bahan baku yang homogen (bambu) dengan susunan bilah searah maupun sejajar serat menghasilkan kerapatan panel (*panel density*) yang tidak berbeda nyata (Lamina Andong (AAA) maupun CLT nya (AAcA): 0,7 g/cm<sup>3</sup>, sementara produk yang sama dari jenis mayan maupun bitung: 0,9 g/cm<sup>3</sup>). Penggunaan kayu berkerapatan rendah (sengon atau jabon) sebagai *core* pada produk lamina cenderung menurunkan kerapatan produk yang bersangkutan (Tabel 2). Akan tetapi perubahan kerapatan panel ini tidak mempengaruhi nilai kadar air produk, yang secara keseluruhan memenuhi persyaratan karena nilainya < 15% (JAS, 2003).



**Tabel 2. Kualitas papan komposit<sup>3)</sup> dengan perekat ekstrak merbau**  
**Table 2. Quality of composite board<sup>3)</sup> with merbau extract adhesive**

Jenis bambu (Bamboo type)	Jenis produk (Product type)	Parameter Uji (Tested parameter)						
		Kadar Air (Moisture content) (%)	Kerapatan (Density) (g/cm <sup>3</sup> )	Keteguhan Rekat (Bonding strength) (kg/cm <sup>2</sup> )		MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	Emisi Formaldehida (Formaldehyde emission) (mg/L)
				Kering (Dry)	Basah (Wet)			
Andong	AAA	11,34 a	0,71 c	21,46 f	11,87 h	480,06 b	105.133 c	0,17 a
	AAcA	11,18 bc	0,72 c	45,73 a	12,33 g	195,33 h	49.220 i	0,12 b
	AAcS	11,15 c	0,68 d	38,76 b	24,82 a	202,16 hi	42.660 l	0,11 b
	AJcS	10,35 h	0,67 d	33,70 cd	23,47 b	186,83 i	45.377 k	0,16 a
Bitung	BBB	11,18 bc	0,89 ab	24,85 e	14,35 e	428,97 c	134.390 a	0,16 a
	BBcB	10,15 i	0,90 a	26,41 e	11,14 i	257,79 d	46.710 j	0,17 a
	BBcS	10,55 f	0,89 ab	33,47 cd	12,64 g	245,39 de	87.350 e	0,12 b
	BJcS	11,21 b	0,89 ab	35,51 c	12,31 g	215,93 g	79.690 f	0,10 bc
Mayan	MMM	11,06 d	0,89 ab	33,52 cd	16,74 d	537,36 a	112.313 b	0,11 b
	MMcM	10,67 e	0,90 a	31,40 d	18,67 c	420,73 c	68.637 h	0,10 bc
	MMcS	10,45 g	0,90 a	33,90 cd	11,68 h	236,53 ef	73.403 g	0,06 d
	MJcS	11,35 a	0,88 b	40,41 b	13,58 f	225,06 fg	94.227 d	0,07 cd

Keterangan (Remarks) : \*) = rata-rata dari 3x ulangan (means of 3 replicates), A = andong, B = bitung, M = mayan, J = jabon, S = sengon, c = inti tegak lurus arah serat (core layer was perpendicular to grain), Huruf yang sama dalam kolom (Values followed by the same letter) = tidak berbeda nyata (not significantly different). MOR = keteguhan patah (modulus of rupture); MOE = keteguhan lentur (modulus of elasticity).

Produk yang menggunakan bahan baku homogen yang diuji dalam kondisi kering dengan *core* sejajar arah serat memiliki keteguhan rekat yang berbeda nyata lebih kecil (Andong (AAA) = 21,46 kg/cm<sup>2</sup>, bitung (BBB) = 24,85 kg/cm<sup>2</sup>, dan mayan (MMM) = 35,51 kg/cm<sup>2</sup>) dibanding produk yang *core-nya* tegak lurus arah serat (Andong (AAcA) = 45,73 kg/cm<sup>2</sup>, dan bitung (BBcB) = 26,41 kg/cm<sup>2</sup>, kecuali mayan (MMcM) = 31,40 kg/cm<sup>2</sup> yang tidak berbeda nyata). Fenomena serupa terlihat pula bila dibandingkan dengan produk yang berbahan baku heterogen (andong-sengon-andong (AAcS) = 38,76 kg/cm<sup>2</sup>, andong-jabon-sengon (AJcS) = 33,70 kg/cm<sup>2</sup>, bitung-sengon-bitung (BBcS) = 33,47 kg/cm<sup>2</sup>, bitung-jabon-sengon (BJcS) = 35,51 kg/cm<sup>2</sup>, mayan-sengon-mayan (MMcS) = 33,90 kg/cm<sup>2</sup> dan mayan-jabon-sengon (MJcS) = 40,41 kg/cm<sup>2</sup>) (Tabel 2), hal ini berkaitan dengan kerapatan produk yang bersangkutan.

Produk yang kerapatan panelnya rendah (kombinasi dengan jenis kayu sengon maupun

jabon cenderung menghasilkan keteguhan rekat yang lebih tinggi hal ini kemungkinan karena kombinasi dengan jenis kayu berkerapatan rendah diduga mengakibatkan perekat lebih banyak berpenetrasi dan membentuk rantai ikatan yang lebih kuat dibanding dengan produk yang berkerapatan lebih tinggi. Pola serupa sebagian besar berlaku pula pada keteguhan rekat produk yang sama yang diuji dalam keadaan basah, namun nilainya secara keseluruhan lebih kecil (andong-sengon-andong (AAcS) = 24,82 kg/cm<sup>2</sup>, andong-jabon-sengon (AJcS) = 23,47 kg/cm<sup>2</sup>, bitung-sengon-bitung (BBcS) = 12,64 kg/cm<sup>2</sup>, bitung-jabon-sengon (BJcS) = 12,31 kg/cm<sup>2</sup>, mayan-sengon-mayan (MMcS) = 11,68 kg/cm<sup>2</sup> dan mayan-jabon-sengon (MJcS) = 13,58 kg/cm<sup>2</sup>) dibandingkan dengan hasil uji dalam kondisi kering, hal ini dikarenakan dalam kondisi basah bahan baku (bambu maupun kayu) menyerap air dan perlakuan panas mengakibatkan perubahan dimensi pada bilah komponen penyusun tersebut sehingga ikatan perekat dengan bahan yang direkat menjadi lebih lemah.

Secara statistik, faktor jenis bambu (A) dan jenis produk (B) yang dihasilkan serta interaksi kedua faktor (AB) masing-masing berpengaruh sangat nyata terhadap keteguhan rekat, baik yang diuji dalam kondisi kering maupun basah. Berdasarkan uji beda (Tabel 2), diketahui bahwa nilai keteguhan rekat produk (uji kering) yang *face*-nya dari bambu mayan dengan *core* silang jabon dan *back*-nya sengon (MJcS) adalah yang tertinggi ( $40,41 \text{ kg/cm}^2$ ), yang tidak berbeda nyata dengan produk serupa yang *face* dan *core* silangnya dari bambu andong namun *back*-nya dari kayu sengon (AAcS) ( $38,76 \text{ kg/cm}^2$ ), sementara yang paling rendah diperoleh pada produk lamina dengan arah serat sejajar dan seluruh komponen penyusunnya dari jenis bambu bitung (BBB) ( $24,85 \text{ kg/cm}^2$ ). Pada kondisi uji basah, nilai keteguhan rekat tertinggi dicapai oleh produk yang *face* dan *core* silangnya dari bambu andong tapi *back*-nya dari kayu sengon (AAcS) ( $24,82 \text{ kg/cm}^2$ ), sementara yang terendah diperoleh pada produk yang *face*-nya dari bambu bitung dengan *core* silang jabon dan *back*-nya sengon (BJcS) ( $12,31 \text{ kg/cm}^2$ ).

Bila dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu dengan produk balok CLT 3 lapis pada jenis kayu campuran kecap dan sengon yang menggunakan perekat komersial isosianat (P.I. Bond), nilai keteguhan rekat hasil uji coba ini lebih besar (keteguhan rekat uji kering:  $18,99 \text{ kg/cm}^2$ ) (Muthmainnah, 2011). Sementara bila dibandingkan dengan hasil penelitian produk sejenis berkerapatan sedang (sungkai, mangium, karet, dan mahoni) yang menghasilkan keteguhan rekat rata-rata:  $20,92 \text{ kg/cm}^2$  (uji basah), dan  $44,09 \text{ kg/cm}^2$  (uji kering), nilai keteguhan rekat produk kayu komposit ini relatif lebih rendah, demikian pula bila dibandingkan dengan produk berkerapatan tinggi (kempas dan merbau) yang menghasilkan keteguhan rekat rata-rata:  $20,57 \text{ kg/cm}^2$  (uji basah) dan  $36,24 \text{ kg/cm}^2$  (uji kering) (Santoso et al., 2014). Hasil penelitian lain untuk produk sejenis yang berkerapatan sedang  $14,40 \text{ kg/cm}^2$  (uji basah) –  $67,79 \text{ kg/cm}^2$  (uji kering), dan produk berkerapatan tinggi:  $17,84 \text{ kg/cm}^2$  (uji basah) –  $77,15 \text{ kg/cm}^2$  (uji kering) (Santoso, 2011).

Nilai keteguhan patah *Modulus of Rupture* (MOR) produk perekatan ini berkisar  $186,83 - 537,36 \text{ kg/cm}^2$  (Tabel 2), di mana nilai tertinggi rata-rata diperoleh dari produk lamina yang bahan bakunya homogen bambu yaitu AAA, BBB,

MMM, sementara produk yang berbahan baku heterogen karena menggunakan jenis kayu berkerapatan rendah MOR nya lebih rendah.

Secara statistik, faktor jenis bambu (A) dan jenis produk (B) yang dihasilkan serta interaksi kedua faktor (AB) masing-masing berpengaruh sangat nyata terhadap keteguhan patah. Hasil uji beda (Tabel 2), menunjukkan produk yang komponen penyusunnya menggunakan jenis kayu berkerapatan rendah dengan *face*-nya dari jenis bambu yang sama, nilai MOR-nya cenderung tidak berbeda nyata. Produk ini relatif sebanding dengan *flooring composite* yang *face*-nya menggunakan jenis kayu mangium, *core*-nya kayu karet dan *back*-nya kayu sengon ( $179,09 \text{ kg/cm}^2$ ) yang diproduksi di Semarang-Jawa Tengah dengan perekat sejenis (Santoso, Hadi, & Malik, 2012), demikian pula bila dibandingkan dengan hasil penelitian Supartini (2012) pada produk CLT 3 lapis berperekat isosianat, dengan jenis kayu campuran manii (*Maesopsis eminii*), jabon (*Anthocephalus cadamba*) dan mangium (MOR rata-rata  $456 \text{ kg/cm}^2$ ).

Nilai keteguhan lentur (MOE) produk penelitian ini berkisar  $42.660 - 134.390 \text{ kg/cm}^2$  (Tabel 2). Faktor jenis bambu (A) dan jenis produk (B) yang dihasilkan serta interaksi kedua faktor (AB) masing-masing berpengaruh sangat nyata terhadap keteguhan lentur. Nilai MOE tertinggi diperoleh dari produk yang menggunakan bahan baku homogen (bambu), sementara produk yang berbahan baku heterogen karena menggunakan jenis kayu berkerapatan rendah MOE-nya lebih rendah. Hasil uji beda (Tabel 2) menunjukkan nilai MOE produk ini sangat nyata dipengaruhi oleh jenis dan arah serat komponen penyusunnya (sejajar atau tegak lurus).

Produk di atas relatif lebih baik bila dibandingkan dengan hasil penelitian Santoso et al. (2014) yang menggunakan perekat sejenis pada produk berupa CLT 5 lapis dari empat jenis kayu, yaitu: pangsor, mindi, pinus, dan mangium (MOE:  $20.843 - 54.233 \text{ kg/cm}^2$ ), demikian pula bila dibandingkan dengan hasil penelitian Supartini (2012), berupa produk CLT 3 lapis berperekat isosianat dari jenis kayu campuran manii, jabon dan mangium (MOE rata-rata  $61.490 \text{ kg/cm}^2$ ), dan produk CLT 5 lapis dari jenis kayu yang sama dengan kombinasi penyusunannya terdiri atas 2 lapisan sejajar bagian luar, 2 lapisan

silang dan 1 lapisan sejajar bagian dalam (MOE: 49.000 – 74.000 kg/cm<sup>2</sup>).

Emisi formaldehida pada produk uji coba ini rata-rata berkisar antara 0,06 - 0,17 mg/l yang berarti tergolong pada klasifikasi produk paling rendah emisi (F\*\*\*\*). Secara statistik, faktor jenis bambu (A) dan jenis produk (B) yang dihasilkan serta interaksi kedua faktor (AB) masing-masing berpengaruh sangat nyata terhadap emisi formaldehida. Hasil uji beda (Tabel 2) menunjukkan emisi formaldehida dari produk yang *core*-nya menggunakan jenis kayu berkerapatan rendah dengan arah serat tegak lurus dengan *face* dan *back*-nya tidak berbeda nyata dengan produk sejenis dengan jenis bambu yang berbeda (0,10 – 0,12 mg/l), sementara produk yang terbuat dari komponen penyusunnya yang sama tetapi berlainan jenis menghasilkan emisi formaldehida yang berbeda dan lebih tinggi dibanding produk sejenis yang komponen penyusunnya heterogen (0,12 – 0,17 mg/l), kecuali pada panel komposit mayan.

Berdasarkan hasil uji diketahui bahwa produk yang paling rendah emisi formaldehidanya adalah panel komposit yang komponen penyusun-nya terdiri atas bambu mayan dengan *core* silang dari kayu jabon dan *back*-nya dari jenis kayu sengon (0,06 mg/l).

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan perekat dengan formula (perbandingan % bobot) ekstrak Merbau : Resorsinol 50% : Formaldehida 37% : Ekstender tapioka = 100 : 10 : 10 : 5) dengan pH akhir reaksi 10, mampu merekat produk lamina jenis bambu (homogen) yaitu bambu andong (AAA), bitung (BBB) dan mayan (MMM) maupun kombinasi dengan lamina bambu - kayu jabon dan sengon (heterogen) dengan kualitas rekat yang memenuhi persyaratan tipe eksterior standar Jepang.

##### B. Saran

Pemanfaatan perekat ekstrak cair kayu merbau secara teknis layak dipertimbangkan untuk pembuatan produk eksterior yang mensyaratkan emisi formaldehida rendah, baik dengan bahan baku bambu maupun kombinasi dengan bilah kayu.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Akzonobel. (2001). *Synteko phenol-resorcinol adhesive 1711 with hardeners 2620, 2622, 2623*. Jakarta: Casco Adhesive (Asia).
- Brandt, T.B. (1953). Mangrove tannin-formaldehyde resins as hot-press plywood adhesive. *Pengumuman No. 37*. Bogor: Balai Penyelidikan Kehutanan.
- Cowd, M.A. (1991). *Kimia polimer*. Bandung: Penerbit ITB.
- Fradinho, D.M., Neto, C.P., Evtuguin, D., Jorge, F.C., Irle, M.A., Gil, M.H., & Pedrosa de Jesus, J., (2002). Chemical characterisation of bark and of alkaline bark extracts from maritime pine grown in Portugal. *Ind. Crops Prod.* 16, 23–32.
- Japanese Agricultural Standard [JAS]. (2003). *Japanese Agricultural Standard for Structural Glued Laminated Timber. Notification No. 1152*. Tokyo: Japanese Plywood Inspection Corporation (JPIC).
- Kim, S., Lee, Y.K., & Kim, H.J., (2003). Physico-mechanical properties of particleboards bonded with pine and wattle tannin-based adhesives. *J. Adhes. Sci. Technol.* 17 (14), 1863–1875.
- Lei, H., Pizzi, A., & Du, G.B., (2008). Environmentally friendly mixed tannin/lignin wood resins. *J. Appl. Polym. Sci.* 107(1), 203–209.
- Malik, J. & A. Santoso. (2010). Teknik produksi resorsinol alami untuk bahan perekat produk kayu komposit. *Laporan Hasil Penelitian Tahun 2009*. Pustekolah, Bogor.
- Maloney, T.M. (1977). *Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing*. San Fransisco: Miller-freeman publication.
- Muthmainnah. (2011). *Pembuatan cross laminated timber (CLT) dari kayu sengon dan kecapi*. [Thesis]. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Pichelin, F., Nakatani, M., Pizzi, A., Wieland, S., Despres, A., & Rigolet, S., (2006). Structural beams from thick wood panels bonded industrially with formaldehyde-free tannin adhesives. *Forest Prod. J.* 56(5), 31–36.

- Panamgama, L.A., (2007). Polyphenolic extracts of *Pinus radiata* bark and networking mechanisms of additive-accelerated polycondensates. *J. Appl. Polym. Sci*, 103, 2487–2493.
- Pizzi A. (1994). *Tannin base wood adhesive and preservative chemistri and tecnology*. New York: Marcel Dekker.
- Pizzi, A., (2003). Natural phenolic adhesives I: Tannin. *Handbook of adhesive technology*, 2<sup>nd</sup> ed. (revised and expanded), pp. 573–587.
- Pizzi, A., (2006). Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding: opportunities and issues. *J. Adhes. Sci. Technol*, 20(8), 829–846.
- Roffael, E. (1993). *Formaldehyde release from particle board and other wood-based panels*. Forest Research Institute Malaysia (FRIM) with technical assistance from Malaysia-German Forestry Research Project (GTZ), Kuala Lumpur, Malaysia.
- Santoso, A. (2003). *Sintesis dan pencirian resin lignin resorsinol formaldehida untuk perekat kayu lamina*. [Disertasi]. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Santoso, A. (2005). Pemanfaatan lignin dan tanin sebagai alternatif substitusi bahan perekat kayu komposit. *Prosiding Simposium Nasional Polimer V*, 22 November 2005 Bandung: 155–164.
- Santoso, A. (2011). Tanin dan lignin dari *Acacia mangium* Willd. sebagai bahan perekat kayu majemuk masa depan. *Orasi Pengukuhan Profesor Riset Bidang Pengolahan Hasil Hutan*, 25 Oktober 2011 Jakarta: Badan Litbang Kehutanan, Kementerian Kehutanan.
- Santoso, A & Malik, J. (2011a). State of the art penelitian perekat dan perekatan kayu di Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan. Makalah pada Diskusi Perekatan, 30 Juni 2011, Bogor.
- Santoso, A & Malik, J. (2011b). Perekat berbasis resorsinol dari ekstrak kayu merbau. *Prosiding Seminar Nasional: Teknologi Mendukung Industri Hijau Kehutanan*, 9 November 2011. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan.
- Santoso, A & Malik, J. (2011c). *Teknik produksi resorsinol alami untuk bahan perekat produk kayu komposit. Laporan Hasil Penelitian Tahun 2011*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan.
- Santoso, A., Hadi, Y. S. & Malik, J. (2012). Tannin resorcinol formaldehyde as potential glue for the manufacture of ply-bamboo. *J. Forestry Res*, 9(1) 10–15.
- Santoso A, Hadi, Y.S. & Malik, J. (2014). Composite flooring quality of combined wood species using adhesive from merbau wood extract. *Forest Products Journal*, 64(5/6): 179 -186.
- Sowunmi, S., Ebebele, R.O., Conner, A.H., & River, B.H., (1996). Fortified mangrove tannin-based plywood adhesive. *J. Appl. Polym. Sci*, 62, 577–584.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-4567-1998. (1998). *Fenol formaldehida cair untuk perekat kayu lapis*. (SNI 06-4567-1998). Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2005). *Venir Lamina*. SNI 01-7147-2005. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Sudjana. (2006). *Desain dan analisis eksperimen*. Bandung: Tarsito.
- Supartini. (2012). Karakteristik *Cross laminated timber* dari kayu cepat tumbuh dengan jumlah lapisan yang berbeda. [Thesis]. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Tondi, G. & Pizzi, A. (2009). Tannin-based rigid foams: characterization and modification. *Ind. Crops Prod*, 29 (2–3), 356–363.
- Underwood, A.L. & Day, Jr. R.A. (1987). *Analisa kimia kuantitatif*. Edisi Ke-4. Terjemahan oleh R. Soendoro, Widaningsih W., & Sri Rahadjeng, Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga. Surabaya: Penerbit Erlangga.

- Vazquez, G., Freire, S., Gonzalez, J., & Antorrena, G., (2000). Characterization of Pinus pinaster bark and its alkaline extracts by diffuse reflectance Fourier transform infrared (DRIFT) spectroscopy. *Holz Roh Werkst*, 58, 57–61.
- Vick, C.B. (1999). *Adhesive bonding of wood material*. Chapter IX. *Wood Handbook, Wood as an engineering material*. New York: Forest Product Society.