

KUALITAS PAPAN LAMINA DENGAN PEREKAT RESORSINOL DARI EKSTRAK LIMBAH KAYU MERBAU (*Quality of Laminated Boards Glued with Resorcinol Adhesive from Merbau Wood Extracts*)

Adi Santoso, Gustan Pari & Jasni

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan,
Jl. Gunung Batu No. 5, Bogor 16610, Telp. 0251-8633378, Fax. 0251-8633413
E-mail: asanto10@yahoo.com

Diterima 1 Februari 2013, Direvisi 17 Juni 2015, Disetujui 23 Juni 2015

ABSTRACT

*Polyphenol chemical components extracted from merbau (Intsia spp.) wood exhibit a strong affinity for resorcinol and formaldehyde in alkaline conditions, forming a copolymer that could serve as an adhesive. This paper studies the use of resorcinol adhesives from merbau wood extracts containing poly phenolics which copolymerize with formaldehyde bonding wood laminates. Results show that copolymer of merbau extracts with formaldehyde could produce resin with molecular weight 49,658. The resin can be used as adhesive for laminated board manufacturing of a 3 ply-1strip flooring parquet constructed with 7 wood species, i.e: sungkai, karet, kempas, merbau, mangium, mahoni and sengon. Bonding quality and physical-mechanical properties of the products laminated meet the same product that glued using imported adhesive and included exterior quality with E₀ or F**** types of low emission formaldehyde.*

Keywords: Adhesive, merbau wood extract, resorcinol, copolymer, laminated board

ABSTRAK

Komponen kimia polifenol yang diekstrak dari kayu merbau (*Intsia spp.*) memiliki afinitas yang kuat terhadap resorsinol dan formaldehida dalam kondisi basa, membentuk suatu kopolimer yang dapat digunakan sebagai perekat. Tulisan ini mempelajari penggunaan perekat resorsinol dari ekstrak cair kayu merbau yang mengandung senyawa polifenol yang dikopolimerisasi dengan formaldehida sebagai perekat kayu lamina. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kopolimerisasi ekstrak cair limbah kayu merbau menghasilkan resin berbobot molekul 49.658, yang dapat digunakan sebagai perekat dalam pembuatan papan lamina untuk lantai berupa *3 ply-1strip flooring parquet* dengan 7 (tujuh) jenis kayu, yaitu: sungkai, karet, kempas, merbau, mangium, mahoni dan sengon. Kualitas perekatan dan sifat mekanik produk tersebut sebanding dengan produk sejenis berperekat impor serta tergolong tipe eksterior sangat rendah emisi formaldehida katagori E₀ atau F****.

Kata kunci: Perekat, ekstrak kayu merbau, resorsinol, kopolimer, papan lamina

I. PENDAHULUAN

Perekat dan perekatan semakin besar peranannya dalam industri pengolahan kayu dengan diproduksinya berbagai produk kayu komposit atau produk perekatan kayu yang dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan berupa kayu. Dalam produk komposit

seperti kayu lapis, LVL, *bare core*, papan blok, papan partikel, papan sambung, dan jenis produk komposit lainnya, tidak bisa lepas dari kebutuhan perekat. Perekat yang digunakan sebagian besar masih impor dengan harga yang semakin meningkat terutama perekat berbasis resorsinol. Oleh karena itu, berbagai upaya untuk memperoleh bahan perekat yang lebih ekonomis

dan ramah lingkungan terus dilakukan.

Kayu merupakan biomaterial yang komponen utamanya adalah lignoselulosa. Di samping bahan tersebut, dalam kayu seringkali terdapat bahan yang disebut sebagai zat ekstraktif karena dapat diekstrak dengan bantuan pelarut baik polar maupun non-polar, tanpa merusak struktur selulosa/ lignin dalam kayu. Dalam arti sempit, ekstraktif merupakan senyawa yang dapat larut dalam pelarut organik, dan dalam pengertian ini nama ekstraktif digunakan dalam analisis kayu (Fengel & Wegener, 1995). Beberapa macam zat ekstraktif dalam kayu adalah tanin dan polifenol lainnya, bahan pewarna, minyak atsiri, lemak, resin, wak, gum dan pati. Berbagai literatur menyebutkan bahwa kandungan zat ekstraktif dalam kayu mulai kurang dari 1% hingga lebih dari 30%, tergantung pada beberapa faktor di antaranya kondisi pertumbuhan pohon dan musim pada saat pohon ditebang (Donegan et al., 2007).

Bahan perekat dari zat ekstraktif kayu dapat diperoleh dari limbah sehingga kayu yang mengandung bahan tersebut dapat meningkat lagi nilai tambahnya. 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, 2012), mendorong dilakukannya penelitian lain untuk mendapatkan bahan alternatif perekat alami. Bahan-bahan serupa masih banyak terdapat dalam bagian-bagian dari pohon/kayu dari berbagai jenis. Salah satu jenis kayu yang diduga mengandung bahan perekat alami adalah merbau (*Intsia* spp.). Pada saat kayu merbau direndam dalam air maka mengeluarkan ekstraktif berwarna gelap mirip dengan larutan resorsinol. Hal ini mendorong dilakukannya penelitian terhadap zat ekstraktif kayu tersebut. Tulisan ini menguraikan hasil pemanfaatan limbah kayu merbau menjadi bahan perekat yang digunakan pada produk kayu lamina dengan variasi berbagai jenis kayu.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah limbah kayu merbau berupa serbuk gergajian. Penelitian ini

menggunakan bahan kimia antara lain resorsinol, NaOH 50%, formalin 37% serta aquades. Peralatan yang digunakan antara lain: penangas air, *beaker glass*, gelas ukur, *stopwatch*, timbangan, *viscometer Ostwald*, oven, saringan 40 mesh, cawan petri, Py-GCMS, spektrofotometer UV-VIS dan IR, XRD, *picnometer*, dan TGA-DTA.

B. Metode Penelitian

1. Pembuatan/ formulasi perekat

Ekstraksi dilakukan dalam ekstraktor di mana limbah kayu merbau berupa serbuk diekstrak dengan cara dicampur air dengan perbandingan 1 : 4 (b/b) dan dipanaskan pada suhu 80°C selama 3 jam. Ekstrak yang diperoleh dipisahkan dari serbuknya melalui penyaringan. Ekstraksi dapat diulang sampai 3 (tiga) kali dengan volume air yang sama. Pembuatan perekat dilakukan dengan mereaksikan ekstrak merbau dengan resorsinol teknis dan formaldehida. Penambahan resorsinol dalam formulasi ini dimaksudkan sebagai 'pengumpan' untuk mengaktifkan senyawa fenolik dari ekstrak merbau. Formulasi ditetapkan dengan mengacu pada metode yang diterapkan oleh Santoso (2003).

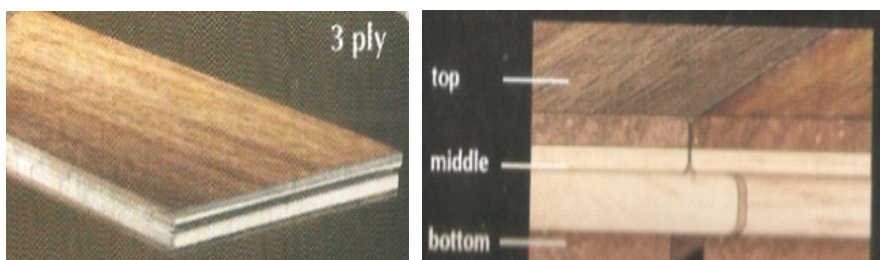
2. Pengujian sifat fisiko-kimia perekat

Hasil dari setiap formulasi tersebut diuji sifat fisiko-kimianya dengan pembanding perekat phenol-resorsinol-formadehida (PRF) (Akzonobel, 2000). Pengujian mencakup penentuan viskositas, bobot jenis, visual, benda asing, pH, dan kadar padatan (SNI, 1998).

3. Pembuatan produk

Uji coba aplikasi perekat pada pembuatan produk yang dilakukan di daerah Semarang (Jawa Tengah) ini disesuaikan dengan masa produksi yang berlangsung di industri yang bersangkutan. Proses pembuatan produk ini pada dasarnya mirip dengan pembuatan kayu lamina hanya pada bagian *core*-nya dibuat dari potongan-potongan kayu (berukuran 15 cm x 3 cm x 9 mm) yang disambung/direkat sisi dan disusun tegak lurus serat terhadap panjang bagian *face* dan *back* (berukuran 90 cm x 15 cm x 3 mm).

Aplikasi perekat resorsinol dari ekstrak limbah serbuk gergajian kayu merbau dalam pembuatan produk panel kayu lamina campuran *cross laminated timber (CLT)* pada skala industri



Gambar 1. Penampang papan lamina 3 ply-1strip flooring parquet
Figure 1. Laminated board of 3 ply-1strip flooring parquet

berupa *3 ply-1strip flooring parquet* yang *face*-nya dibuat dari 7 (tujuh) jenis kayu berbeda, yaitu: Sungkai (*Peronema canescens*), Karet (*Hevea brasiliensis*), Kempas (*Koompassia malaccensis*), Merbau (*Intsia spp.*), Mangium (*Acacia mangium*), Mahoni (*Swietenia spp.*), dan Sengon (*Falcataria molucana*), sementara *core*-nya masing-masing terbuat dari jenis kayu karet dan *back*-nya dari jenis kayu sengon. Pengempaan dilakukan selama lebih kurang 3 jam pada suhu ruangan. Produk yang dibuat berukuran tebal 18 mm, lebar 140 mm dan panjang 900 mm. Banyaknya contoh produk yang dibuat lima ulangan per jenis kayu.

C. Analisis data

Data hasil pengamatan ditabulasi dan dirataratakan. Analisis dilakukan secara deskriptif dan statistik untuk mengetahui karakteristik perekat dan mutu rekatan. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan faktor tunggal berupa jenis lapisan atas produk perekatan (Sudjana, 2002).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Formulasi dan Karakterisasi Sifat Fisiko-Kimia Perekat

Ekstrak cair limbah kayu merbau yang didominasi senyawa resorsinol dikopolimerisasi dengan formaldehida dan aditif (katalis), membentuk resin untuk aplikasi perekat kayu. Kopolimerisasi dilakukan dengan mereaksikan monomer (resorsinol) dan formaldehida 37% pada ekstrak cair limbah kayu merbau dengan nisbah bobot = 5:10:100, serta katalis basa (NaOH 50%) pada suhu kamar. Perekat ini dicampur dengan tepung tapioka sebagai

ekstender sebanyak 5% dari bobot perekat cair.

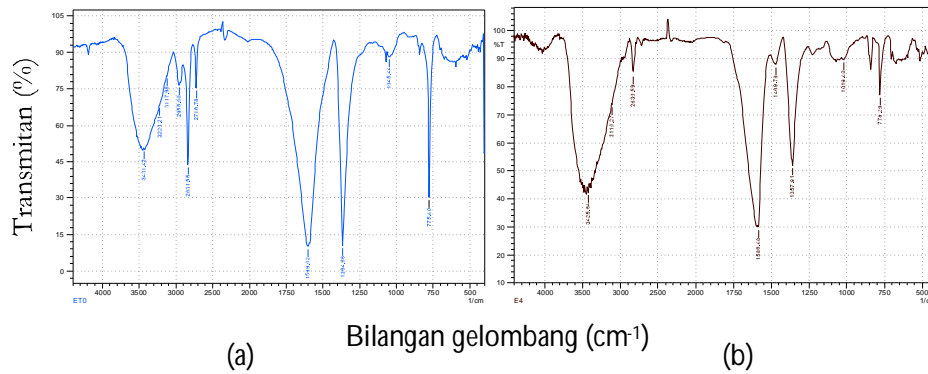
Identifikasi terbentuknya kopolimer dengan FTIR ditunjukkan dengan terbentuknya pita-pita serapan pada bilangan gelombang yang berbeda dibandingkan dengan spektrum polimer maupun monomernya, antara lain berkurangnya intensitas serapan C-H aldehida di daerah bilangan gelombang 2.831cm^{-1} dari 60% (Gambar 2a) menjadi 25% (Gambar 2b) (Field, Sternhell, & Kalman, 2008).

Identifikasi terjadinya reaksi di atas dipertegas dengan hasil analisis py-GCMS (Gambar 3b) yang memperlihatkan puncak-puncak pita yang berbeda, yang didominasi oleh turunan kopolimer senyawa resorsinol, yaitu: *1,3-benzenediol*, *4,5-dimethyl-(CAS)-4,5-dimethylresorcinol* dengan waktu retensi 24,378 menit yang berbeda dengan puncak-puncak pita turunan polimer fenolik yang dominan mengandung *5-methoxy-2,3-dimethyl (CAS)-3-methoxy-5,8-dimethylphenol*, dengan waktu retensi 24,747 menit (Gambar 3a).

Identifikasi lebih lanjut dengan difraksi sinar-X menunjukkan senyawa yang terkandung dalam produk kopolimerisasi ekstrak cair limbah kayu merbau ini memiliki derajat kristalinitas 23,32 % (Gambar 4), lebih mendekati nilai derajat kristalinitas ekstrak cair limbah kayu merbau (20,86%), yang mengindikasikan terbentuknya kopolimer.

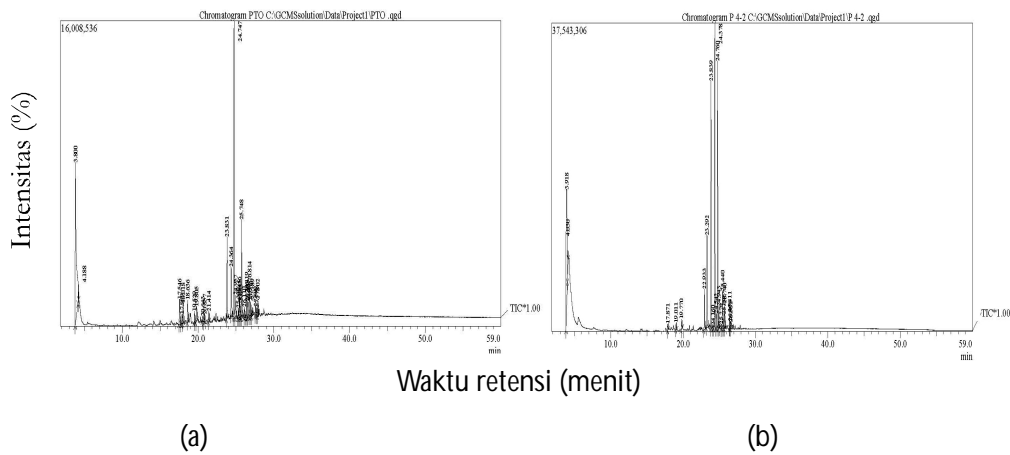
Hasil analisis dengan *Differential Thermal Analysis* (Gambar 5) menunjukkan suhu transisi fase pelelehan produk kopolimerisasi ekstrak cair limbah kayu merbau ini: $115,31^\circ\text{C}$ dengan suhu dekomposisi/disosiasi: $468,77^\circ\text{C}$.

Suhu transisi fase pelelehan ekstrak kayu merbau ini lebih tinggi dibandingkan dengan suhu transisi fase pelelehan produk polimerisasi ekstrak cair limbah kayu merbau ($111,08^\circ\text{C}$) yang suhu dekomposisi/disosiasi $299,65^\circ\text{C}$.



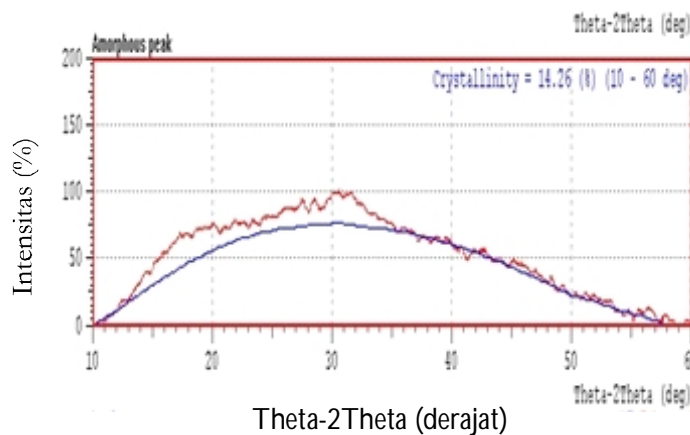
Gambar 2. Spektrograf produk polimerisasi (a) dan kopolimerisasi (b) resorsinol dari ekstrak kayu merbau

Figure 2. Spectrograph of polymerization (a) and copolymerization products of resorcinol (b) from Merbau wood extracts



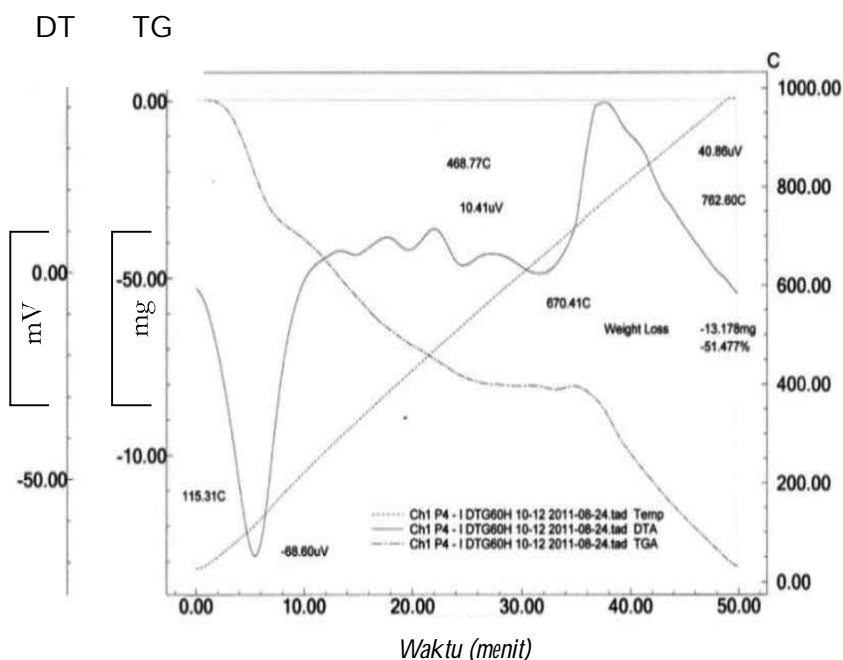
Gambar 3. Kromatogram produk polimerisasi (a) dan kopolimerisasi (b) resorsinol dari ekstrak kayu merbau

Figure 3. Chromatogram of polymerization (a) and copolymerization products of resorcinol (b) from Merbau wood extracts



Gambar 4. Difraktogram produk kopolimerisasi resorsinol dari ekstrak kayu merbau

Figure 4. Diffractogram of resorcinol copolymerization extracted from Merbau wood



Gambar 5. Termograf produk kopolimerisasi resorsinol dari ekstrak kayu merbau
Figure 5. Thermograph of resorcinol copolymerization extracted from Merbau wood

Tabel 1. Karakteristik produk kopolimerisasi ekstrak kayu merbau
Table 1. Characteristic of copolymerization extracted from Merbau wood

No.	Sifat (Properties)	Kopolimer (Copolymer)	Pembanding (Standard), PRF
1.	Kenampakan: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bentuk ▪ Warna ▪ Bau 	Cair Merah-cokelat Fenol	Cair Merah-cokelat Fenol
2.	Kekentalan, poise	5,6	3,40
3.	Kemasaman (pH)	11	8
4.	Bobot molekul	49.658	-
5.	Suhu Depolimerisasi, °C: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Titik gelas ▪ Dekomposisi/disosiasi 	115,31 468,77	161 -
6.	Derajat kristalinitas, %	23,32	51,53
7.	Waktu retensi, menit	24,38	-
8.	Bobot jenis	1,14	1,15
9.	Solid content, %	19,05	57,03
10.	Formaldehida bebas, %	0,011	0,04

Terbentuknya kopolimer lebih teridentifikasi lagi dengan alat *IV-meter intrinsic viscosity* yang menetapkan bobot molekul produk tersebut: 49.658, jauh lebih besar dibanding dengan bobot molekul produk polimerisasi ekstrak cair limbah kayu merbau (9.308). Ikhtisar karakteristik kopolimer dari ekstrak cair limbah kayu tercantum pada Tabel 1.

B. Uji Coba Aplikasi Perak pada Pembuatan Kayu Lamina

Produk kayu lamina dibuat dalam bentuk *3 ply-1strip flooring parquet* dalam tiga kelompok kerapatan, berdasarkan jenis kayu lapisan muka (*face*), yaitu rendah (< 0,45 g/cm³), sedang (0,46 - 0,55 g/cm³), dan tinggi (> 0,56 g/cm³). Hasil

Tabel 2. Kualitas papan lamina 3 ply-1strip flooring parquet
Table 2. Quality of 3 ply-1strip flooring parquet laminated board

Jenis kayu Lapisan muka (species of the face laminated)	Sifat (Properties)						
	Kadar Air (Moisture content), %	Kerapatan (Density), g/cm ³	Keteguhan Rekat (Bonding strength), kg/cm ²		MOR (kg/cm ²)	MOE (kg/cm ²)	Emisi Formaldehid ida (Formaldehyde emission), mg/L
			Uji kering (Dry test)	Uji basah (Wet test)			
Sengon	6,11 ^c	0,37 ^d	65,30 ^a	32,32 ^a	437,90 ^{ab}	51.393 ^c	0,08 ^{cd}
Sungkai	13,40 ^a	0,50 ^c	35,23 ^d	17,62 ^d	371,69 ^b	65.003 ^a	0,35 ^a
Mangium	13,18 ^a	0,51 ^c	55,79 ^b	29,48 ^b	179,09 ^d	61.277 ^{ab}	0,26 ^b
Karet	12,48 ^b	0,52 ^c	32,40 ^{de}	12,37 ^e	380,23 ^{ab}	56.673 ^{bc}	0,09 ^{cd}
Mahoni	13,41 ^a	0,53 ^c	44,42 ^c	15,70 ^d	400,46 ^{ab}	56.540 ^{bc}	0,10 ^c
Kempas	12,74 ^b	0,60 ^b	43,58 ^c	25,41 ^c	416,67 ^{ab}	61.200 ^{ab}	0,04 ^d
Merbau	13,16 ^a	0,64 ^a	28,90 ^e	15,74 ^d	253,99 ^c	60.170 ^{ab}	0,22 ^b

Keterangan (Remarks): Delaminasi untuk semua contoh uji = 0 % (Delamination for all samples = 0%), Huruf yang sama di belakang angka menyatakan tidak berbeda (Same letter after number is not different), MOR = modulus of rupture, MOE = modulus of elasticity

pengujian kualitas perekatan pada aplikasi produk kopolimerisasi ekstrak cair limbah kayu merbau disajikan pada Tabel 2.

Aplikasi kopolimer ekstrak cair limbah kayu merbau pada produk berkerapatan rendah (sengon) menghasilkan keteguhan rekat: 32,32 kg/cm² (uji basah) – 65,30 kg/cm² (uji kering) sedangkan yang menggunakan perekat impor (PRF): 24,40 kg/cm² (uji basah) – 54,97 kg/cm² (uji kering). Produk berkerapatan sedang (sungkai, mangium, karet, dan mahoni) menghasilkan keteguhan rekat rata-rata: 20,92 kg/cm² (uji basah), dan 44,09 kg/cm² (kering), sementara yang menggunakan perekat impor 14,40 kg/cm² (uji basah) – 67,79 kg/cm² (uji kering). Produk berkerapatan tinggi (kempas dan merbau) menghasilkan keteguhan rekat rata-rata: 20,57 kg/cm² (uji basah) dan 36,24 kg/cm² (uji kering), sedangkan yang menggunakan perekat impor 17,84 kg/cm² (uji basah) – 77,15 kg/cm² (uji kering).

Nilai keteguhan rekat hasil uji coba ini lebih besar bila dibandingkan dengan produk sejenis yang direkat dengan perekat komersial fenol formaldehida, resorsinol formaldehida, maupun fenol resorsinol formaldehida, seperti Aerodux 500, Cony bond KR 15Y dan PA 302, yang

menghasilkan nilai keteguhan rekat (uji kering) antara 21,77 – 25,87 kg/cm² untuk produk lamina dari kayu campuran meranti merah (*Shorea* spp.), jati (*Tectona grandis*), merawan (*Hopea* spp.) kamper (*Dryobalanops* spp.) dan matoa (*Pometia* spp.) (Sadiyo, 1989), demikian pula bila dibandingkan dengan hasil penelitian Supartini (2012) yang menggunakan perekat isosianat (*P.I. Bond*) menghasilkan nilai keteguhan rekat (uji kering) rata-rata 42 kg/cm² untuk produk CLT tiga lapis dari jenis kayu campuran manii, jabon, dan mangium, maupun dengan hasil penelitian Muthmainnah (2011) pada balok CLT 3 lapis dengan perekat isosianat pada jenis kayu campuran kecap dan sengon menghasilkan nilai keteguhan rekat (uji kering) rata-rata 18,99 kg/cm².

Secara statistik (Tabel 2), nilai keteguhan rekat produk yang *face*-nya terbuat dari jenis kayu sengon adalah yang tertinggi, sementara yang terendah diperoleh pada produk yang *face*-nya masing-masing terbuat dari jenis kayu karet dan merbau. Rendahnya nilai keteguhan rekat pada produk tersebut mengindikasikan tingginya kadar zat ekstraktif non polar pada kayu karet dan merbau yang menghambat ikatan molekul perekat dengan kayu.

Nilai keteguhan patah (*Modulus of Rupture, MOR*) produk perekat-an ini berkisar 179,09 - 437,90 kg/cm² (Tabel 2), di mana yang tertinggi diperoleh dari produk yang *face*-nya menggunakan jenis kayu sengon, yang secara statistik tidak berbeda nyata dengan produk serupa yang *face*-nya masing-masing terbuat dari jenis kayu karet (380,23 kg/cm²), mahoni (400,46 kg/cm²), dan kempas (416,67 kg/cm²). Sementara nilai MOR-nya paling rendah diperoleh dari produk yang *face*-nya menggunakan jenis kayu mangium (179,09 kg/cm²). Produk di atas relatif sebanding dengan hasil penelitian Supartini (2012) pada produk kayu lamina 3 lapis dari jenis kayu campuran manii (*Maesopsis eminii*), jabon (*Anthocephalus cadamba*) dan mangium dengan nilai MOR 345 - 534 kg/cm² dengan rata-rata 456 kg/cm².

Nilai keteguhan lentur (*Modulus of Elasticity, MOE*) produk penelitian ini berkisar 51.393 - 65.003 kg/cm² (Tabel 2). Secara statistik produk yang *face*-nya menggunakan jenis kayu sungkai (65.003 kg/cm²) tidak berbeda nyata dengan produk sejenis yang *face*-nya dari kayu mangium (61.277 kg/cm²), kempas (61.200 kg/cm²) dan merbau (60.170 kg/cm²). Sementara produk yang *face*-nya menggunakan jenis kayu karet (56.673 kg/cm²) setara dengan produk sejenis yang *face*-nya dari kayu mahoni (56.540 kg/cm²), kempas (61.200 kg/cm²), mangium (61.277 kg/cm²), dan merbau (60.170 kg/cm²). Produk di atas relatif sebanding dengan hasil penelitian Supartini (2012) pada produk kayu lamina 3 lapis dari jenis kayu campuran manii, jabon dan mangium (MOE 49.100 - 750.51 kg/cm²) dengan nilai MOE rata-rata 61.490 kg/cm².

Emisi formaldehida pada produk uji coba ini rata-rata berkisar antara 0,04 - 0,35 mg/L yang berarti tergolong pada klasifikasi produk paling rendah emisi (F****). Secara statistik produk yang *face*-nya menggunakan jenis kayu sengon (0,08 mg/L) tidak berbeda nyata dengan produk sejenis yang *face*-nya dari kayu karet (0,09 mg/L), sementara yang *face*-nya terbuat dari jenis kayu mangium (0,26 mg/L) setara dengan produk yang *face*-nya dari jenis kayu merbau (0,22 mg/L).

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Produk kopolimer dari ekstrak cair limbah kayu merbau yang menghasilkan resin berbobot molekul 49.658, dapat dimanfaatkan dan diaplikasikan sebagai perekat dalam pembuatan papan lamina pada kondisi industri berupa *3 ply-1strip flooring parquet* pada tujuh jenis kayu, yaitu: Sungkai, Karet, Kempas, Merbau, Mangium, Mahoni, dan Sengon.

Kualitas perekatan dan sifat mekanik semua produk papan lamina berupa *3 ply-1strip flooring parquet* tersebut sebanding dengan produk sejenis berperekat Phenol Resorsinol Formaldehida impor. Semua produk uji coba ini tergolong tipe eksterior rendah emisi formaldehida.

B. Saran

Perekat ekstrak cair limbah kayu merbau dapat digunakan untuk pembuatan produk eksterior yang mensyaratkan emisi formaldehida rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Akzonobel. (2001). *Synteko phenol-resorcinol adhesive 1711 with hardeners 2620, 2622, 2623*. Jakarta: Casco Adhesive (Asia).
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (1998). *Kumpulan SNI perekat*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2000). *Standar Nasional Indonesia: Venir Lamina SNI-5008.9-2000*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Brandt, T.B. (1953). *Mangrove tannin-formaldehyde resins as hot-press plywood Adhesive*. *Pengumuman No. 37*. Bogor: Balai Penyelidikan Kehutanan.
- Donegan, V., Fantozzi J., Jourdain C., Kersell K., Migdal A., Springate R. & Tooley J. (2007). *Understanding extractive bleeding*. Diakses

- dari <http://www.calredwood.org/ref/pdf/extract.pdf>.
- Fengel, D. & Wegener, G. (1995). *Kayu: Kimia, ultrastruktur dan reaksi-reaksi*. Terjemahan oleh H. Sastrohamidjojo. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Field L.D., Sternhell, S., & Kalman, J.R. (2008). *Organic structures from spectra. (4th Ed.)* West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd.
- Japanese Agricultural Standard [JAS]. (2003). *Japanese agricultural standard for structural glued laminated timber*. Tokyo: Japanese Plywood Inspection Corporation (JPIC).
- Muthmainnah. (2011). Pembuatan cross laminated timber (CLT) dari kayu sengon dan kecap. (Master Tesis). Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Sadiyo, S. (1989). Pengaruh kombinasi jenis kayu dan jenis perekat terhadap sifat fisis dan mekanis panel diagonal lambung kapal. (Master Tesis). Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Santoso, A. (2003). Sintesis dan pencirian resin lignin resorsinol formaldehida untuk perekat kayu lamina. (Disertasi). Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- 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, Hadi YS & Malik J. (2012). Tannin resorcinol formaldehyde as potential glue for manufacturing plybamboo. *Journal of Forestry Research*, 9(1), 1-6.
- Sudjana. (2002). *Desain dan analisis eksperimen*. Bandung: Tarsito.
- Supartini. (2012). Karakteristik cross laminated timber dari kayu cepat tumbuh dengan jumlah lapisan yang berbeda. (Master Tesis). Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.