

KARAKTERISTIK EKSTRAK KULIT KAYU MAHONI SEBAGAI BAHAN PEREKAT KAYU (*Characteristics of Mahogany Bark Extract as Wood Adhesive*)

Adi Santoso & Abdurachman

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan
Jl. Gunung Batu No. 5 Bogor Telp. (0251) 8633378; Fax. (0251) 8633413
E-mail: man_p3hh@yahoo.com

Diterima 15 Februari 2016, Direvisi 11 Agustus 2016, Disetujui 31 Oktober 2016

ABSTRACT

Currently, raw and supporting materials for adhesives industry such as NaOH, NH₄OH and methanol are available in the domestic market, while raw material such as phenol and resorcinol derived from petroleum are reduced significantly, then, the use of raw material from other natural resources, like tannins derived from the tree bark is potentially developed. This paper explores and characterizes adhesive raw materials from mahogany bark (*Swietenia mahagoni* Jacq.) as phenolic source and tapioca as a source of carbohydrates. This paper also studies the copolymerization reaction between mahogany tannin extract with formaldehyde, as well as their mixtures with tapioca for adhesive application and its gluing quality. Pieces of mahogany barks were cut into chips measuring of approximately 2 × 1 × 0.1 cm, then soaked in an extractor containing of hot water (70-80°C) with a ratio of bark chips : water = 1: 3. Extraction was undergone for three hours with continuous stirring before the mixture was cooled and filtered. The chip bark residue was repeatedly extracted using the same procedure for the second cycle. The obtained filtrates were then mixed with the first one and divided into two parts: crystallized in a water bath and the other part was used for adhesive manufacture. The results showed that tannin extracted from the bark of mahogany was a dark reddish brown in colour similar with that of phenolic compounds with viscosity of 1.04 poise, specific gravity of 1.02 and the degree of acidity (pH) of 4.0. Extraction of mahogany bark yielded 8.10 % extract, with an average solid content of 2.01%, phenolic compounds level of 6,9%, and distribution of molecular weights ranging from 44-658. The optimum adhesive formulation of the extract mahogany bark was the mixture using of 0.25 mol of technical resorcinol with 15% tapioca, 1 mol technical formalin and 4% catalyst (NaOH 40%) of the total adhesive weight.

Keywords: Mahogany bark, extraction, tapioca, adhesive

ABSTRAK

Sebagian kebutuhan bahan baku dan bahan pembantu untuk industri perekat seperti NaOH, NH₄OH, dan metanol saat ini sudah tersedia di pasaran dalam negeri, sementara bahan baku seperti fenol dan resorsinol yang bersumber dari minyak bumi semakin terbatas, dengan demikian sudah selayaknya untuk menggunakan bahan baku dari sumber daya alam lain, misalnya tanin yang berasal dari kulit pohon. Tulisan ini menyajikan hasil eksplorasi dan karakterisasi bahan baku perekat dari kulit kayu mahoni (*Swietenia mahagoni* Jacq.) sebagai sumber senyawa fenolik dan tapioka sebagai sumber karbohidrat. Tulisan ini juga menguraikan hasil reaksi kopolimerisasi ekstrak tanin mahoni dengan formaldehida, dan peramuannya dengan tepung tapioka untuk aplikasi perekat kayu komposit, serta uji kualitas produk perekatannya. Kulit kayu mahoni dipotong-potong menjadi serpih berukuran 2 cm x 1 cm x 0,1 cm, kemudian direndam di dalam ekstraktor berisi air panas (70-80°C) dengan perbandingan bahan : air = 1 : 3. Ekstraksi dilakukan selama tiga jam dan selama proses campuran itu selalu diaduk, kemudian campuran didinginkan dan disaring. Residu diekstraksi kembali seperti sebelumnya sampai 2 kali, filtrat yang diperoleh kemudian digabung dan dibagi 2, sebagian dikristalkan dalam penangas air dan

sebagian lagi digunakan untuk pembuatan perekat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara visual, ekstrak tanin dari kulit mahoni ini berupa cairan berwarna gelap cokelat kemerahan mirip dengan warna senyawaan fenolik dengan kekentalan 1,04 poise, bobot jenis 1,02 serta nilai derajat keasaman (pH) 4. Ekstraksi kulit kayu mahoni memiliki rendemen 8,1 %, dengan kadar padatan (*solid content*) rata-rata 2,01%, kadar senyawa fenolik 6,9%, dan distribusi bobot molekul antara 44 – 658. Formula optimum perekat dari ekstrak kulit kayu mahoni adalah yang menggunakan campuran 0,25 mol resorsinol teknis dengan tapioka 15% dan formalin teknis 1 mol, serta katalis (NaOH 40%) sebanyak 4% dari total bobot perekat.

Kata kunci: Kulit kayu mahoni, ekstraksi, tapioka, perekat

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini sebagian kebutuhan bahan baku dan bahan pembantu untuk industri perekat seperti NaOH, NH₄OH, metanol sudah tersedia di pasaran dalam negeri, sementara bahan baku seperti phenol dan resorsinol yang bersumber dari minyak bumi semakin terbatas, sehingga perlu dilakukan upaya menggunakan bahan baku dari sumber daya alam lain, seperti tanin yang berasal dari kulit kayu (Santoso, 2011).

Tanin yang terdiri atas senyawa fenolik diketahui banyak terdapat dalam kulit pohon seperti akasia (*Acacia decurrens* Willd.), mangium (*Acacia mangium* Willd.), bakau (*Rhizophora* spp.) dan tancang (*Prunilva* spp.), dan dapat dijadikan bahan pengganti fenol atau resorsinol. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan telah menghasilkan perekat substitusi berbasis tanin dari kulit pohon mangium yang setara kualitasnya dengan produk impor, sehingga pemakaian bahan baku seperti fenol atau resorsinol dalam komposisi perekat hanya sekitar 15–18% dari total formulanya (Santoso, 2011). Namun demikian, guna mencegah ketergantungan bahan baku tanin terhadap kulit dari jenis pohon tertentu perlu dilakukan penelitian terhadap tanin dari kulit pohon mahoni (*Swietenia mahagoni* Jacq.) sebagai alternatif.

Kulit kayu mahoni sebagai limbah industri pengolahan kayu memiliki potensi yang sangat besar (Mardisadora, 2010). Penelitian mengenai kulit kayu mahoni telah dilakukan oleh Falah, Suzuki, dan Katayama (2008) yang ditekankan pada isolasi senyawa *flavonoid* dari ekstrak aseton dan aktivitas antioksidan. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan kulit kayu mahoni

mengandung senyawa katekin, epikatekin, dan krofilanin. Komponen kimia tersebut merupakan karakteristik dari jenis senyawa tanin. Penelitian ini bertujuan mendapatkan formula optimum perekat berbasis tanin mahoni untuk penggunaan kayu komposit.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Peralatan

Bahan utama yang digunakan adalah limbah kulit kayu mahoni berupa potongan atau cacahan berukuran 2 cm x 2 cm x 0,5 cm dalam satuan berat (kg) yang diperoleh dari industri penggergajian kayu di Ciamis, Jawa Barat. Penelitian ini juga menggunakan bahan kimia antara lain resorsinol untuk aditif dan larutan NaOH 50%, formaldehida serta *aquades* sebagai pelarut dan untuk mengatur pH. Di samping itu juga digunakan bahan pembantu seperti kertas saring, pH universal, kertas label, dan air. Untuk uji coba perekat diaplikasikan pada lamina kayu sengon.

Peralatan gelas yang digunakan dalam proses ekstraksi antara lain: penangas air, *beaker glass*, gelas ukur, *stopwatch*, timbangan, viskometer *Ostwald*, oven, saringan 40 mesh, cawan petri, piknometer, dan kamera. Pengujian yang dilakukan adalah karakterisasi ekstrak kulit kayu mahoni dan sifat fisiko-kimia perekat. Untuk analisis komponen kimia dan kristalinitas digunakan alat Py-GCMS, spektrofotometer UV-VIS (UV-1700 Shimadzu), *Fourier transform infrared* (FTIR-1600 Shimadzu), dan XRD (XRD-7000 Shimadzu).

B. Prosedur Kerja

1. Ekstraksi kulit kayu mahoni

Kulit kayu mahoni dipotong-potong menjadi serpih berukuran kira-kira 2 cm x 1 cm x 0,1 cm, kemudian direndam di dalam ekstraktor berisi air yang dipanaskan pada suhu 70-80°C dengan perbandingan bahan serpih kulit : air = 1 : 3. Ekstraksi dilakukan disertai pengadukan campuran selama 3 jam, setelah itu campuran didinginkan dan disaring. Residu diekstraksi kembali seperti sebelumnya sampai 2 kali, filtrat yang diperoleh kemudian digabung dan dibagi dua, sebagian dikristalkan dalam penangas air dan sebagian lagi digunakan untuk pembuatan perekat.

2. Karakterisasi ekstrak kulit kayu mahoni

Analisis kristal ekstrak kulit kayu mahoni ditujukan untuk mengetahui tingkat kemurnian bahan dan karakteristik fisiko-kimia lainnya. Pengujian tahap ini mencakup, gugus fungsi dengan FTIR, komponen kimia dengan Py-GCMS, dan derajat kristalinitas menggunakan XRD.

3. Penentuan rendemen ekstrak kulit kayu mahoni

Penentuan rendemen ekstrak kulit kayu mahoni dengan ekstraksi air adalah sebagai berikut:

- Menimbang serbuk kulit kayu mahoni dan memasukkan ke dalam labu ekstraktor
- Mengekstraksi serbuk kulit kayu mahoni dalam air dengan perbandingan antara berat serbuk dengan air 1 : 3
- Melakukan ekstraksi selama 2 jam dengan suhu 70-80°C
- Menyaring dengan kertas saring untuk memisahkan filtrat dari ampas
- Menambahkan air (diulang dua kali), kemudian filtratnya disatukan dengan hasil saringan pertama
- Memasukkan filtrat dalam oven dengan suhu 65-70°C sampai terbentuk padatan tanin dengan berat konstan dan sebelum ditimbang memasukkan terlebih dahulu ke dalam desikator selama 2 menit. Rendemen ekstrak kulit kayu dihitung dengan rumus:

$$\text{Rendemen tanin (\%)} = \frac{\text{Berat padatan tanin kering tanur}}{\text{Berat serbuk kulit kayu kering udara}} \times 100. \quad (1)$$

4. Penentuan kadar padatan (*solid content*) ekstrak tanin

Kadar padatan ekstrak tanin dilakukan berdasarkan JIS K 6833-1980 dengan menimbang 1,5 gram ekstrak tanin, kemudian ditempatkan dalam cawan yang telah diketahui bobot keringnya (W_1), selanjutnya cawan beserta isinya diletakkan dalam oven (103 ± 2)°C sampai kering. Cawan dikeluarkan dan didinginkan dalam desikator kemudian ditimbang (W_2). Pengeringan dan penimbangan dilakukan sampai diperoleh bobot tetap. Kadar padatan ditentukan dengan rumus:

$$\text{Kadar padatan (\%)} = \frac{W_1}{W_2} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

5. Pengukuran viskositas

Pengukuran viskositas dilakukan dengan viskometer Ostwald. Sejumlah ekstrak dimasukkan ke dalam viskometer Ostwald lalu diukur waktu saat permukaan sampel berada pada batas atas sampai tepat pada batas bawah mengacu pada SNI 06-4567 (1998). Pengukuran dilakukan tiga kali ulangan. Prosedur tersebut dilakukan juga terhadap air suling. Viskositas dihitung dengan rumus:

$$\eta_{\text{relatif}} = \frac{t_{\text{sampel}}}{t_{\text{air}}} \times \frac{\rho_{\text{sampel}}}{\rho_{\text{air}}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- η : viskositas;
- t : waktu;
- ρ : bobot jenis

6. Pengukuran bobot jenis

Bobot jenis diukur dengan menggunakan piknometer ukuran 25 mL yang sudah diketahui bobot keringnya. Contoh tanin mahoni dimasukkan ke dalam piknometer sampai penuh dan tidak ada gelembung udara, selanjutnya piknometer dan isinya ditimbang. Bobot jenis dihitung dengan membagi bobot jenis contoh dengan bobot jenis air mengacu pada SNI 06-4567 (1998). Percobaan dilakukan 3 kali. Penentuan bobot jenis ditentukan dengan rumus berikut:

$$\text{Bobot jenis} = \frac{PE - PK}{PA - PK} \times 1 \text{ g/mL} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

- PE : Bobot piknometer dengan ekstrak (g)
- PK : Bobot piknometer kosong (g)
- PA : Bobot piknometer dengan air (g)

7. Penentuan bilangan Stiasny

Kereaktifan tanin terkondensasi terhadap formaldehida dapat ditentukan dengan cara menimbang 10 gram ekstrak tanin cair, selanjutnya ditambah 1 mL HCl pekat (36%) dan 2 mL formaldehida 37%. Campuran tersebut kemudian dipanaskan dalam penangas air sampai kering, kemudian ditimbang. Pengerinan dan penimbangan dilakukan sampai diperoleh bobot tetap. Nilai bilangan Stiasny dihitung dengan cara membagi bobot endapan dengan bobot tanin kering (Yasaki, Yunlu, & Zheng, 1991).

8. Formulasi ekstrak kulit kayu mahoni sebagai perekat kayu

Penelitian formulasi dilakukan dengan mereaksikan tanin dari ekstrak kulit kayu mahoni (T) dengan resorsinol (R) dan formaldehida (F). Penambahan resorsinol dalam formulasi ini dimaksudkan sebagai 'pengumpun' untuk mengaktifkan senyawa fenolik dari tanin ekstrak kulit kayu mahoni. Formulasi ditetapkan dengan perbandingan mol T : R : F = 1 : (0,1-0,5) : 1 (Santoso, 2003). Tolok ukur pencapaian formula optimum perekat dilakukan dengan pendekatan nilai keteguhan rekat produk perekatannya. Selanjutnya pada komposisi perekat yang optimum dilakukan pencampuran dengan tepung tapioka antara 0,5–20% dari bobot perekat cair. Tolok ukur pencapaian ramuan perekat tanin mahoni dengan tepung tapioka dilakukan dengan pendekatan nilai keteguhan rekat produk perekatannya. Produk yang terakhir ini selanjutnya dianalisis sifat fisiko-kimianya.

9. Pengujian sifat fisiko-kimia perekat

Perekat yang dihasilkan dari formulasi dan ramuan optimum selanjutnya diuji sifat fisiko-kimianya dengan pembandingan perekat phenol-resorsinol-formadehida (PRF) (Akzonobel, 2000) dan perekat PF SNI 06-0060 (1998). Pengujian mencakup penentuan viskositas, densitas, visual, benda asing, pH, kadar formaldehida bebas, dan kadar padatan.

10. Visual, benda asing, dan pH

Contoh perekat dioleskan pada kaca preparat dengan spatula kaca. Olesan preparat diamati akan warna, benda asing, dan tampak butiran larutan. Warna dan butiran yang tampak dicatat. Pengujian nilai pH contoh perekat ditentukan

dengan kertas pH. Nilai pH yang diperoleh dibandingkan dengan deret nilai pH universal.

11. Uji formaldehida bebas

Pengujian formaldehida bebas mengacu pada SNI 06-4567 (1998). Sampel perekat ditimbang sekitar 1 gram dan diencerkan serta dibuat deret standar dengan menggunakan formaldehida 37% dengan konsentrasi 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 ppm kemudian sampel dan standar dipipet 5 mL ditambahkan dengan pereaksi C₅H₈O₂ 5 mL dan CH₃COONH₄ sebanyak 5 mL dipanaskan pada suhu 40°C selama 15 menit kemudian sampel dan standar yang telah diberi perlakuan dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 412 nm untuk mengidentifikasi kadar formaldehida bebas di dalam sampel perekat.

12. Penentuan kadar padatan perekat

Cawan kosong ditentukan bobotnya dengan neraca digital. Sebanyak 5 mL contoh perekat tanin mahoni ditentukan bobotnya pada cawan tersebut. Cawan beserta isinya dimasukkan ke dalam tanur pada suhu 135°C selama 1 jam. Cawan dan isinya didinginkan pada suhu ruang hingga hangat. Cawan dimasukkan ke dalam desikator dan ditimbang dengan neraca digital. Pengerinan tanur dan penimbangan dilakukan sampai diperoleh bobot tetap kering.

$$\text{Kadar padatan} = \frac{\text{BKT}}{\text{BA}} \times \%100 \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

BKT: bobot kering tanur (g)

BA: bobot awal (g)

C. Analisis Data

Data hasil pengamatan ditabulasi dan dirata-ratakan. Analisis dilakukan secara deskriptif sehingga menghasilkan karakteristik tanin mahoni yang diketahui dari puncak-puncak grafik hasil analisis py-GCMS. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan percobaan faktorial 2 faktor yaitu faktor pertama untuk perbandingan mol T : R : F terdiri dari 4 taraf yaitu 1 : (0, 0,10, 0,25, 0,50) : 1, dan faktor kedua untuk pencampuran dengan tepung tapioka terdiri dari 6 taraf (0, 2,5, 5, 10, 15, 20)%. Model rancangannya adalah:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

- I = 1,2,3, dan 4
- j = 1,2,3,4,5 dan 6
- k = 1,2,3
- Y_{ijk} = nilai formulasi ke k yang diberi perlakuan tanin, resorsinol dan formaldehida ke-i dengan pencampuran tepung tapioka ke-j;
- μ = rata-rata nilai formulasi sesungguhnya;
- α_i = pengaruh perlakuan level perbandingan T:R:F ke-i;
- β_j = pengaruh pencampuran tepung tapioka ke-j;
- $(\alpha\beta)_{ij}$ = pengaruh interaksi perlakuan ke-I dan ke-j
- ϵ_{ijk} = pengaruh galat perlakuan ke-I dan ke-j pada satuan percobaan ke-k

Bila perlakuan berpengaruh nyata terhadap parameter yang diuji maka dilanjutkan dengan uji beda dengan cara Turkey (Steel & Torrie, 1992).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakterisasi Ekstrak Kulit Kayu Mahoni

Hasil pengujian karakteristik ekstrak cair kulit kayu mahoni disajikan pada Tabel 1. Hasil ini sangat berbeda dibandingkan dengan penelitian serupa oleh Lestari (2015) dan Setiawan (2015) yang mendapatkan rendemen dan kadar padatan tanin dari kulit mahoni berturut-turut 78-88% dan

0,3-0,7%, sementara kekentalan, bobot jenis, dan kadar fenoliknya berturut-turut 1,03 poise; 1,00; dan 6,81%. Tingkat reaktivitas senyawa fenolik yang terkandung dalam ekstrak kulit kayu mahoni terhadap formaldehida dinyatakan dengan bilangan Stiasny. Bilangan Stiasny mengindikasikan senyawa tanin yang terkandung, dan bilangan yang mencapai seratus (100) menunjukkan ekstrak tanin mengandung polifenol yang sangat reaktif pada proses polimerisasi (FAO, 2000). Ekstrak tanin yang berasal dari kulit kayu mahoni dalam penelitian ini memiliki bilangan Stiasny rata-rata mencapai 92,12% lebih tinggi dibanding hasil penelitian serupa yang dilakukan oleh Lestari (2015) dan Akoto dan Brefoh (2014) yang masing-masing hanya mencapai 79,7% dan 87,88%.

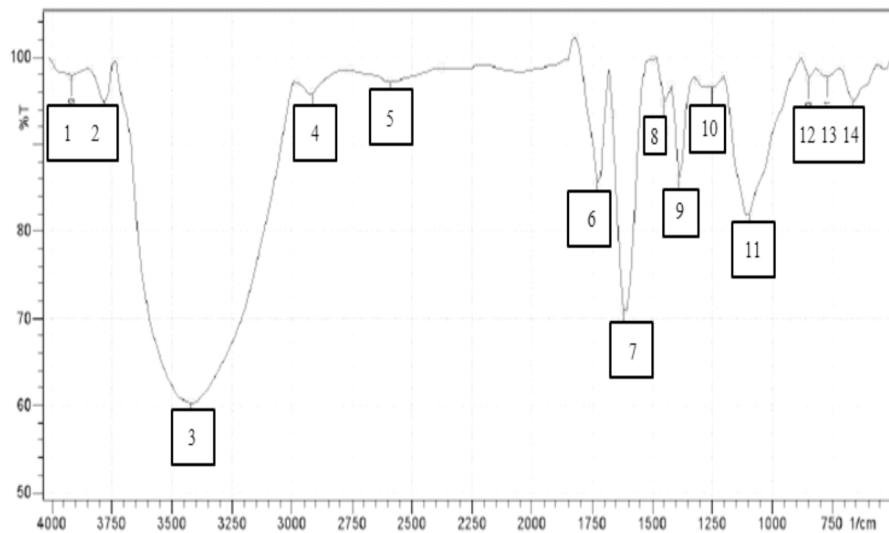
Hasil analisis gugus fungsi (Gambar 1) ekstrak kulit pohon mahoni dengan menggunakan spektrofotometer inframerah (FTIR) memperlihatkan serapan pada bilangan gelombang 3.425 cm^{-1} mengindikasikan bahwa ekstrak kulit pohon mahoni mengandung gugus fungsi hidroksil ekstrak tanin yang menurut Supratman (2010) berada pada kisaran bilangan gelombang $2.500-3.500 \text{ cm}^{-1}$.

Identifikasi dengan FTIR juga menunjukkan adanya serapan pada bilangan gelombang 1.728 cm^{-1} , yang mengindikasikan adanya gugus karbonil dengan kisaran bilangan gelombang $1.650 \text{ cm}^{-1}-1.800 \text{ cm}^{-1}$, dan bilangan gelombang 1.620 cm^{-1} merupakan vibrasi cincin aromatik

Tabel 1. Nilai rata-rata sifat fisiko-kimia ekstrak kulit mahoni*)
Table 1. Mean of physico-chemical of mahogany bark extraction

No.	Parameter uji (<i>Test of parameter</i>)	Nilai (<i>Values</i>)
1.	Visual (kenampakan, <i>Appearance</i>)	Cairan encer, berwarna gelap cokelat kemerahan (<i>Watery fluid, dark reddish brown</i>)
2.	Rendemen (<i>Recovery, %</i>)	8,10
3.	Kekentalan (<i>Viscosity, Poise</i>)	1,04
4.	Kadar padatan (<i>Solid content, %</i>)	2,01
5.	Bobot jenis (<i>Spesific gravity</i>)	1,02
6.	pH	4,00
7.	Bilangan Stiasny (<i>Stiasny Number, %</i>)	92,12
8.	Kadar fenolik (<i>Phenolic contents, %</i>)	6,90
9.	Distribusi bobot molekul (<i>Molecul weight distribution</i>)	44 - 658

Keterangan (*Remarks*): *) Rata-rata dari tiga ulangan (*Mean of three replications*)



Bilangan gelombang (<i>Wave number, ν (cm⁻¹)</i>)													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3919	3780	3425	2916	2592	1728	1620	1450	1389	1250	1095	849	771	663

Gambar 1. Spektrograf ekstrak kulit kayu mahoni
Figure 1. Spectrograph of mahogany bark extract

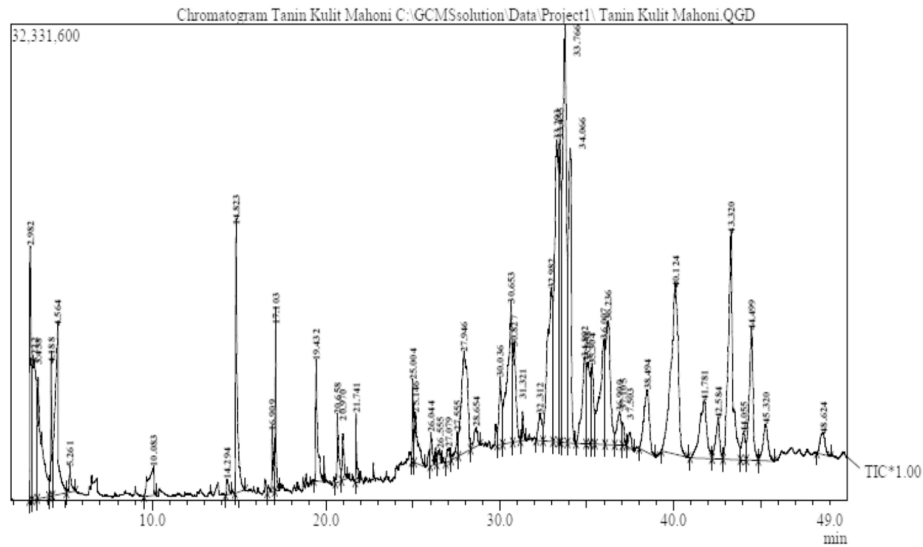
dengan kisaran gelombang 1.500 cm^{-1} -1675 cm^{-1} . Selanjutnya, pada bilangan gelombang 1.450 cm^{-1} merupakan gugus aldehida aromatik dengan kisaran gelombang 1.300 cm^{-1} -1.475 cm^{-1} , dan pada bilangan gelombang 1.250 cm^{-1} merupakan gugus eter (Supratman, 2010). Berdasarkan hasil tersebut, dapat dikemukakan bahwa gugus fungsi yang teridentifikasi pada ekstrak cair kulit kayu mahoni menggunakan FTIR adalah gugus hidroksil, karbonil, vibrasi cincin aromatik, aldehida aromatik dan eter. Hasil yang didapatkan ini mirip dengan gugus fungsi yang terdapat pada asam tanat (Hindriani, Pradono, & Santoso, 2005). Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak kulit kayu mahoni mengandung senyawaan tanin.

Hasil analisis lebih lanjut dengan Py-GCMS (Gambar 2) menunjukkan ekstrak kulit kayu mahoni mengandung komponen senyawa fenolik yang terdiri atas: phenol yang muncul pada waktu retensi (t_r) 14,82 menit dengan konsentrasi 2,59% (dominan), dan pada t_r 16,91 menit merupakan senyawa p-Cresol dengan konsentrasi 0,63%, pada t_r 17,10 menit merupakan Guaiacol dengan konsentrasi 0,85%, serta pada t_r 19,43 menit

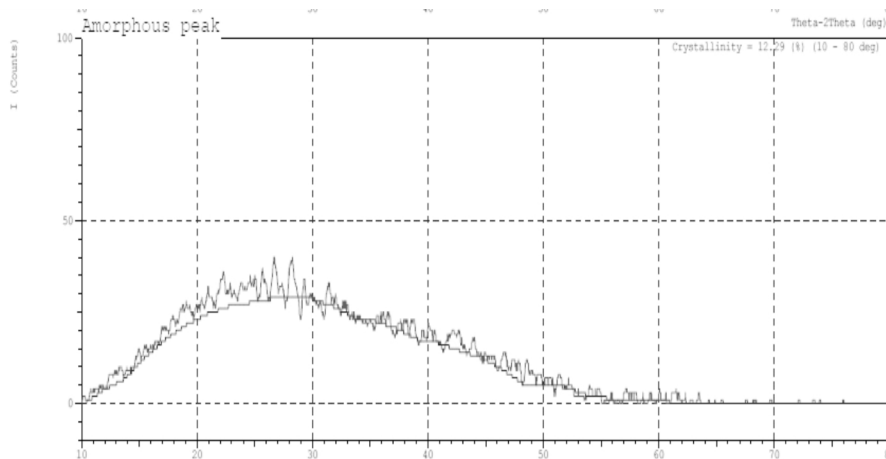
merupakan senyawa Pyrocatechol dengan konsentrasi 1,25%, Hydroquinone pada t_r 20,66 menit dengan konsentrasi 0,76%, 4 Methyl catechol pada t_r 20,97 menit dengan konsentrasi 0,45%, dan 2,6-Dimethoxyphenol pada t_r 21,74 menit dengan konsentrasi 0,37%.

Senyawa Pyrocatechol dan Methyl catechol merupakan derivat katekin, yang dari hasil penelitian Suhesti, Dhadhang, dan Nuryanti (2007) terdeteksi keberadaannya dalam kulit kayu mahoni yakni katekin, epikatekin, dan swietemakrofilanin. Ketiga senyawa tersebut memiliki kemampuan aktivitas antioksidan dan antikanker.

Selanjutnya berdasarkan hasil analisis dengan difraksi sinar-X diketahui derajat kristalinitas senyawa yang terkandung dalam ekstrak kulit kayu mahoni 12,29% (Gambar 3), mengindikasikan bahwa susunan rantai senyawa tersebut didominasi bentuk amorf (tidak beraturan), dan hal ini serupa dengan ekstrak tanin mangium yang memiliki derajat kristalinitas 10,71 – 16,40 % (Hagerman, 2002; Hindriani, Pradono, & Santoso, 2005).



Gambar 2. Khromatogram ekstrak kulit kayu mahoni
Figure 2. Chromatogram of mahogany bark extract



Gambar 3. Difraktogram ekstrak kulit kayu mahoni
Figure 3. Diffractogram of mahogany bark extract

B. Formulasi dan Karakterisasi Sifat Fisiko-Kimia Perekat

Ekstrak kulit kayu mahoni yang mengandung senyawa tanin (derivat katekin) dapat direaksikan dengan formaldehida dan aditif (katalis dan ekstender) membentuk kopolimer untuk aplikasi perekat kayu. Tolok ukur pencapaian formula optimum ramuan perekat tanin mahoni dengan tepung tapioka dilakukan terutama dengan pendekatan nilai *solid content*, formaldehida bebas dari ramuan perekat, dan keteguhan rekat produk perekatannya, yang hasilnya disajikan pada Tabel 2. Untuk mengetahui pengaruh dari setiap

perlakuan dan interaksi antar perlakuan terhadap parameter yang diuji dilakukan analisis keragaman, yang hasilnya dicantumkan dalam Tabel 3.

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa kadar resorsinol dan ekstender memberikan pengaruh nyata terhadap parameter uji (keteguhan geser rekat, kadar air, kerapatan, *solid content* dan formaldehida bebas).

Hasil pengujian produk perekatan dalam bentuk kayu lamina sengon menunjukkan bahwa kadar air keseluruhan produk berada di kisaran 10,89 - 14,18 %. Kadar air tersebut memenuhi standar JAS (2003) nilainya < 15%. Menurut

Tabel 2. Optimasi formula perekat tannin dari ekstrak kulit kayu mahoni berdasarkan *solid content*, formaldehida bebas ramuan perekat, dan keteguhan rekat produk perekatannya

Table 2. Optimizing adhesive formula of mahogany bark tannin extract in accord with *solid content*, zero-formaldehyde of adhesive portions, and bonding strength of its constituted product

Parameter uji		Kadar resorsinol (<i>Resorcinol content</i> , mol, A)	Kadar ekstender (<i>Extender content</i> , %, B)					
			0 (b1)	2,5 (b2)	5,0 (b3)	10 (b4)	15 (b5)	20 (b6)
Keteguhan geser rekat (<i>Bonding strength</i> , kg/cm ²)	Uji kering (<i>Dry test</i>)	0,00 (a ₁)	31,04	43,40	102,13	77,95	66,84	50,45
		0,10 (a ₂)	33,86	39,03	40,29	41,93	68,78	47,00
		0,25 (a ₃)	34,69	36,55	43,91	47,61	94,63	46,73
		0,50 (a ₄)	40,05	43,11	54,94	57,07	38,94	27,44
	Uji basah (<i>Wet test</i>)	0,00 (a ₁)	7,04	7,72	8,65	10,98	16,99	21,66
		0,10 (a ₂)	8,71	9,84	16,81	22,07	9,29	6,72
		0,25 (a ₃)	10,62	15,60	12,63	11,71	10,55	9,83
		0,50 (a ₄)	15,64	16,16	16,78	17,40	21,65	23,78
Kadar air (<i>Moisture content</i> , %)	0,00 (a ₁)	14,18	13,75	13,15	13,54	12,98	10,89	
	0,10 (a ₂)	11,41	11,35	11,46	12,59	13,43	11,57	
	0,25 (a ₃)	11,13	11,26	11,57	12,47	12,60	12,22	
	0,50 (a ₄)	13,23	12,47	11,95	13,05	13,68	13,07	
Kerapatan (<i>Density</i> , g/cm ³)	0,00 (a ₁)	0,41	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	
	0,10 (a ₂)	0,41	0,41	0,38	0,38	0,37	0,37	
	0,25 (a ₃)	0,35	0,38	0,42	0,39	0,39	0,35	
	0,50 (a ₄)	0,37	0,39	0,41	0,42	0,45	0,41	
<i>Solid content</i> (%)	0,00 (a ₁)	6,00	6,71	7,81	11,37	16,57	21,83	
	0,10 (a ₂)	7,86	8,46	8,83	9,91	12,84	19,86	
	0,25 (a ₃)	11,03	12,61	14,79	15,49	22,44	37,96	
	0,50 (a ₄)	15,68	16,13	16,98	18,03	21,76	23,83	
Formaldehida bebas (<i>Zero formaldehyde</i> , %)	0,00 (a ₁)	0,0047	0,0053	0,0072	0,0083	0,0073	0,0064	
	0,10 (a ₂)	0,0044	0,0045	0,0057	0,0069	0,0055	0,0049	
	0,25 (a ₃)	0,0041	0,0043	0,0052	0,0068	0,0053	0,0047	
	0,50 (a ₄)	0,0038	0,0041	0,0044	0,0047	0,0045	0,0040	

Keterangan (*Remarks*) : ** berbeda sangat nyata (*Very significant difference*)

analisis keragaman kerapatan produk perekatan ini dipengaruhi oleh formula perekat dan kadar ekstender yang digunakan. Kerapatan produk perekat berkisar 0,35–0,42 g/cm³ (Tabel 2), yang merupakan nilai kisaran yang umum dari produk dan kayu sejenis (Santoso et al. 2014; Lestari, 2015).

Ada kecenderungan bahwa semakin tinggi jumlah mol resorsinol, kadar *solid content* semakin meningkat (Tabel 2). Meningkatnya kadar *solid*

content, mengindikasikan bahwa penambahan resorsinol semakin menambah sempurnanya reaksi kopolimerisasi, 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 tercapai jika perekat membasahi

Tabel 3. Analisis keragaman pengaruh komposisi resorsinol dan ekstender terhadap keteguhan geser rekat, kadar air, kerapatan, kadar padatan dan formaldehida bebas
Table 3. Analysis of variance on the effect of resorcinol and extenders compositions to internal bond, moisture content, density, solid content and zero-formaldehyde

Sumber (Sources)	Df	Ket. Geser Rekat (Bonding strength)		Kadar air (Moisture Content)	Kerapatan (Density)	Kadar padatan (Solid Content)	Form.bebas (Zero-formaldehyde)
		Kering (Dry)	Basah (Wet)				
Jumlah Kuadrat (Sum Square)							
Resorsinol (Resorcinol)	3	4986,7**	767,07**	28,0479**	0,0173531**	1314,42**	0,0000639**
Pengeras (Extender)	5	12966,3**	315,76**	19,7413**	0,0077677**	2870,41**	0,0000622**
Interaksi (Interaction)	15	15634,3**	1385,63**	37,0812**	0,0275531**	582,31**	0,0000130**
Galat (Error)	72	12,5	12,34	3,1934	0,0134750	5,59	0,0000011
Total (Total)	95	33599,9	2428,81	88,0639	0,0661490	4772,73	0,0001402

Keterangan (Remarks) : ** berbeda sangat nyata (Very significant difference)

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. Jadi peningkatan kadar resin padat cenderung meningkatkan kualitas perekatan.

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa kadar resorsinol dan ekstender memberikan pengaruh nyata terhadap *solid content* (Tabel 3). 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 pembentukan resin dari ekstrak kulit kayu mahoni, dan tingkat emisi yang kemungkinan terjadi sebagai akibat formaldehida yang dilepaskan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa formaldehida bebas dari reaksi kondensasi ekstrak kulit kayu mahoni dengan resorsinol dan formaldehida pada kondisi basa pada berbagai komposisi, seluruhnya tergolong dalam batas aman karena kurang dari 3% seperti yang disyaratkan bagi perekat yang mengandung formaldehida (SNI 06-4567, 1998b). Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa kadar resorsinol dan ekstender memberikan pengaruh nyata terhadap kadar formaldehida bebas (Tabel 3).

Meningkatnya penggunaan resorsinol dalam formulasi menyebabkan kadar formaldehida bebas resin semakin berkurang (Tabel 2), sementara penggunaan kadar tapioka yang semakin meningkat sampai pada batas tertentu mempertinggi kadar formaldehida bebas resin untuk selanjutnya semakin berkurang, namun demikian interaksi dari kedua hal tersebut untuk seluruh formula menghasilkan nilai formaldehida bebas yang jauh di bawah ambang batas maksimal, sementara kadar formaldehida bebas dalam perekat komersial (PRF) adalah 0,04% (Santoso, Hadi, & Malik, 2014). Peningkatan kadar formaldehida bebas sampai batas tertentu seiring dengan penambahan tapioka mengisyaratkan berkurangnya kadar komponen resin, hal ini berakibat meningkatnya kepolaran ramuan perekat karena tapioka terdiri atas karbohidrat yang banyak mengandung gugus -OH yang bersifat higroskopis sehingga formaldehida dalam resin terhidrolisis.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, dapat diperkirakan bahwa bila perekat ini digunakan pada kayu olahan, maka emisi formaldehida dari produk perekatan tersebut akan rendah.

Ikhtisar hasil pengujian keteguhan geser tekan dalam keadaan kering, maupun dalam keadaan basah, yang dalam hal ini mewakili sifat keteguhan rekat produk lamina tercantum pada Tabel 3 serta Gambar 6 dan Gambar 7. Sebagian nilai

keteguhan rekat kayu lamina sengon yang diuji pada keadaan kering rata-rata berkisar 27,44 - 102,13 kg/cm² memenuhi standar Jepang (JAS, 2003), karena nilainya berada dalam kisaran 54-96 kg/cm². Hasil penelitian Lestari, Hadi, Hermawan, dan Santoso (2015) terhadap produk glulam dengan jenis perekat dan jenis kayu yang sama menghasilkan keteguhan rekat rata-rata 55,10 kg/cm² dan yang menggunakan perekat isosianat (impor) 47,2 kg/cm², sementara Santoso, et al. (2014) yang meneliti produk sejenis dari kayu sengon dengan perekat dari ekstrak kayu merbau mendapatkan nilai keteguhan rekat 65,30 kg/cm², sedangkan yang menggunakan perekat impor (PRF) 54,97 kg/cm².

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa kadar resorsinol dan ekstender memberikan pengaruh nyata terhadap keteguhan rekat produk perekatannya (Tabel 3). Ada kecenderungan bahwa kenaikan keteguhan rekat kayu lamina sengon yang diuji dalam keadaan kering, terjadi sampai batas tertentu dengan meningkatnya kadar resorsinol dalam resin dan aditif yang dipakai dalam formulasi perekat. Penggunaan resorsinol yang semakin banyak dalam formulasi menyebabkan keteguhan rekat produk perekatan semakin meningkat (Tabel 2), mengindikasikan bahwa penambahan resorsinol semakin menambah sempurnanya reaksi kopolimerisasi, hal ini akan meningkatkan terjadinya kontak antara molekul perekat dan molekul kayu, sehingga daya tarik intermolekul antara kayu dengan perekat lebih sempurna. Dengan demikian peningkatan kualitas perekatan akan semakin baik (Vick, 1999), namun penggunaan kadar tapioka yang semakin meningkat sampai pada batas tertentu mampu memperbaiki keteguhan rekat kayu.

Aplikasi resin dari ekstrak kayu mahoni pada kayu lamina sengon yang diuji dalam keadaan basah menghasilkan keteguhan rekat 6,72 - 23,78 kg/cm² sementara hasil penelitian serupa pada jenis kayu yang sama dengan menggunakan perekat dari ekstrak kayu merbau rata-rata 32,32 kg/cm² dan yang menggunakan perekat impor (PRF) 24,40 kg/cm² (Santoso et al., 2014). Hasil pengujian dalam keadaan basah menunjukkan bahwa kenaikan keteguhan rekat kayu lamina tidak selalu seiring dengan meningkatnya kadar resorsinol dalam formula resinnya (Gambar 7), namun sampai pada batas tertentu sejalan dengan

penambahan aditif yang dalam hal ini berupa tepung tapioka sebagai ekstender, hal ini sesuai dengan sinyalemen yang dikemukakan Mahittikul (1981) dan Pizzi (1994).

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa kadar resorsinol dan ekstender memberikan pengaruh nyata terhadap keteguhan rekat kayu lamina (Tabel 3). Penggunaan resorsinol teknis 0,10 mol menghasilkan keteguhan rekat relatif tinggi, yang tidak berbeda nyata dengan penggunaan resorsinol sebanyak 0,5 mol pada kadar tapioka 5% (Tabel 2).

Bila berpedoman pada Tabel 2, di mana nilai keteguhan rekat produk perekatan yang diuji dalam kondisi kering (94,63 kg/cm²) maupun basah (10,55 kg/cm²), serta dikaitkan dengan *solid content* (22,44%) dan formaldehida bebas (0,005%) perekat, komposisi optimum yang dicapai adalah pada formulasi ekstrak kulit kayu mahoni (1 mol) yang menggunakan campuran 0,25 mol resorsinol teknis dengan tapioka 15% dan formalin teknis 1 mol, serta katalis (NaOH 40%) sebanyak 4% dari total bobot perekat.

C. Karakteristik Perekat Hasil Formulasi

Karakteristik perekat hasil formulasi dari ekstrak kulit kayu mahoni disajikan pada Tabel 4. Kopolimerisasi dilakukan dengan mereaksikan sejumlah kecil monomer (resorsinol) dan formaldehida 37% pada ekstrak kulit kayu mahoni dengan katalis basa pada suhu kamar. Secara visual, resin hasil kopolimerisasi tanin dari ekstrak cair kulit kayu mahoni dengan resorsinol dan formaldehida dalam berbagai komposisi, yang selanjutnya disebut resin TMF, menyerupai resin fenol resorsinol formaldehida. Resin TMF yang diperoleh berupa cairan kental berwarna coklat kehitaman dan berbau khas fenol.

Identifikasi terbentuknya kopolimer dengan FTIR ditunjukkan dengan terbentuknya pita-pita serapan pada bilangan gelombang yang berbeda dibandingkan dengan spektrum bahan baku (tanin dari kulit kayu mahoni), antara lain menunjukkan perubahan bilangan gelombang pada perekat tanin jika dibandingkan dengan ekstraknya sendiri. Pada perekat tanin, menunjukkan serapan gugus hidroksil yang sama dengan ekstrak tanin. Intensitas vibrasi cincin aromatik dan aldehida aromatik mengalami penurunan menyebabkan pergeseran gelombang ke arah

Tabel 4. Karakteristik fisiko-kimia perekat ekstrak kulit kayu mahoni pada komposisi formula optimum

Table 4. Physicochemical characteristics of mahogany bark extract adhesive made with the optimum formula.

No.	Sifat (<i>Characteristic</i>)	Perekat tanin mahoni (<i>The adhesive of mahogany tannin</i>)	Pembanding (PRF) (<i>Comparison</i>)
1.	Kenampakan (<i>Appearance</i>): - Bentuk (<i>Shape</i>) - Warna (<i>Color</i>) - Bau (<i>Aromatic</i>)	Cair (<i>Fluid</i>) Merah (<i>Red</i>)-cokelat (<i>Brown</i>) Fenol (<i>Phenol</i>)	Cairan kental (<i>viscous liquid</i>) Merah (<i>Red</i>)-cokelat (<i>brown</i>) Fenol (<i>Phenol</i>)
2.	Kekentalan (<i>Viscosity</i> , poise)	29,20	3,40
3.	Kemasaman (<i>Acidity</i> , pH)	11	8
4.	Bobot molekul (<i>Molecul weight</i>)	14,688	-
5.	Derajat kristalinitas (<i>Degree of crystallinity</i> , %)	13,89	51,53
6.	Bobot jenis (<i>Specific gravity</i>)	1,08	1,15
7.	Kadar padatan (<i>Solid content</i> , %)	22,44	57,03
8.	Formaldehida bebas (<i>Zero-formaldehyde</i> , %)	0,005	0,04

Keterangan (*Remarks*): (-) = tidak ada data (*No data*); PRF = phenol resorsinol formaldehida (*Phenol Resorcinol Formaldehyde*)

bilangan gelombang yang lebih kecil yakni 1589 cm^{-1} untuk vibrasi cincin aromatik. Sementara, untuk aldehida aromatik berada pada bilangan gelombang 1358 cm^{-1} .

Selain itu, pada perekat tanin terdapat gugus $-\text{CH}_2-$ (metilena) yang terbentuk setelah penambahan formaldehida. Menurut Achmadi (1990) reaksi kopolimerisasi antara tanin dan formaldehida menghasilkan jembatan metilen yang lebih stabil, yang teridentifikasi pada bilangan gelombang 2932 cm^{-1} , sementara menurut Supratman (2002) muncul pada bilangan gelombang 2850 cm^{-1} (Gambar 4).

Identifikasi terjadinya reaksi di atas dipertegas dengan hasil analisis py-GCMS (Gambar 5) yang memperlihatkan puncak-puncak pita yang berbeda, yang didominasi turunan kopolimer senyawa derivat fenolik seperti 1,4-Benzenediol, 2-methyl- (CAS) THQ, 1,3-Benzenediol, 5-methyl- (CAS) Orcinol, 1,4-Benzenediol, 2,6-dimethyl- (CAS) m-XHQ, 1,3-Benzenediol, 4,5-dimethyl- (CAS) 4,5-Dimethylresorcinol, 1,4-Benzenediol, 2,3,5-trimethyl- (CAS) psi.-Cumohydroquinone, yang muncul pada daerah waktu retensi sekitar 21,60 – 23,86 menit.dengan

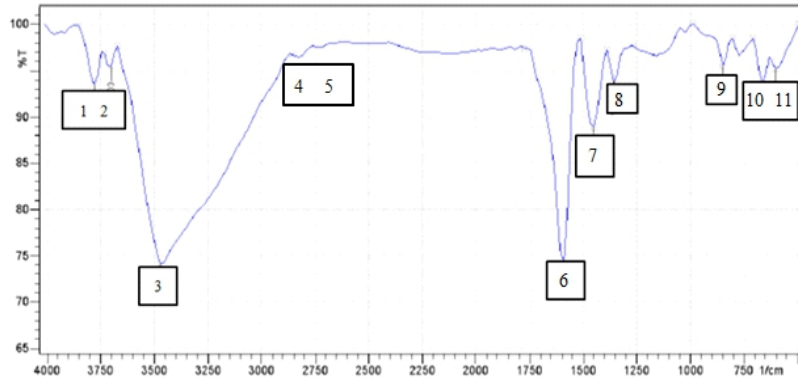
konsentrasi antara 1,1–25,62 %. Selain itu juga terbentuk senyawa 1,4-Benzenedicarboxaldehyde, 2,5-dimethyl- (CAS) 2,5-Dimethylterep pada waktu retensi 24,11 menit dengan konsentrasi 3,87% dan (O-D) etanol dengan konsentrasi 24,06% pada waktu retensi 2,96 menit.

Identifikasi lebih lanjut dengan difraksi sinar-X menunjukkan senyawa yang terkandung dalam produk kopolimerisasi ekstrak kulit kayu mahoni ini memiliki derajat kristalinitas 13,89% (Gambar 6) meningkat 13% dari ekstrak taninnya. Pola ini serupa dengan hasil penelitian sebelumnya pada formulasi perekat berbasis fenolik dari tanin mangium dan isolat lignin (Santoso, 2005) maupun ekstrak kayu merbau (Santoso et al., 2014).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

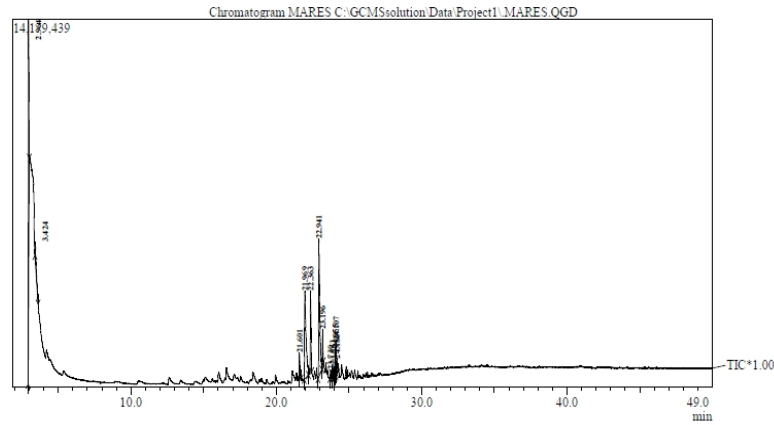
A. Kesimpulan

Secara visual, ekstrak kulit kayu mahoni berupa cairan berwarna gelap cokelat kemerahan, terdiri atas berbagai golongan senyawa fenolik berupa senyawa tanin kondensat (katekin dan derivatnya),

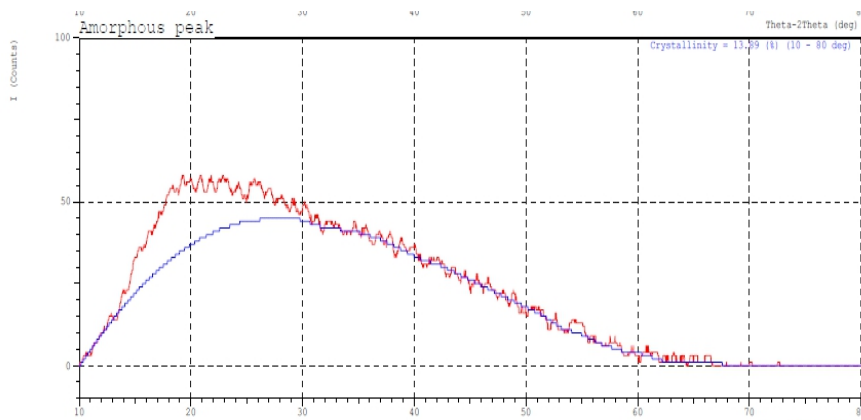


Bilangan gelombang (<i>wave number, v cm-1</i>)										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3780	3703	3472	2850	2700	1589	1450	1358	849	663	602

Gambar 4. Spektrograf perekat dari ekstrak kulit kayu mahoni
Figure 4. Spectroph of adhesive from the extracted mahogany bark



Gambar 5. Khromatogram perekat tanin dari ekstrak kulit kayu mahoni
Figure 5. Chromatogram of tannin adhesive from the extracted mahogany bark



Gambar 6. Difraktogram perekat tanin dari ekstrak kulit kayu mahoni
Figure 6. Diffractogram of tannin adhesive from the extracted mahogany bark

dengan kadar fenolik 6,90% dan tingkat reaktivitas (Bilangan Stiasny) terhadap formaldehida mencapai 92,12%. Rendemen ekstrak 8,10%, kadar padatan 2,01% pada kekentalan 1,04 poise dan bobot jenis 1,02.

Ekstrak cair kulit pohon mahoni ini dapat dikopolimerisasi membentuk resin yang dapat diaplikasikan sebagai perekat kayu dengan proses kempa dingin. Karakteristik perekat ini berbeda dengan bahan bakunya baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Formula optimum perekat dari ekstrak kulit kayu mahoni adalah menggunakan campuran 0,25 mol resorsinol teknis dengan tapioka 15% dan formalin teknis 1 mol, serta katalis (NaOH 40%) sebanyak 4% dari total bobot perekat.

B. Saran

Berdasarkan hasil ekstraksi kulit kayu mahoni yang bersifat fenolik dan dapat dikopolimerisasi membentuk resin bisa diaplikasikan sebagai perekat kayu dengan proses kempa dingin. Perbandingan resorsinol teknis:formalin teknis adalah 1:0,25 mol dengan katalis NaOH 40% sebanyak 4% ditambah tepung tapioka sebesar 15% dari total bobot perekat.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Ir. Nurwati Nadjib, MS yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Achmadi S.S. (1990). *Kimia kayu*. Bogor. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, PAU Ilmu Hayat, IPB.

Akzonobel (2001). *Synteko phenol-resorcinol adhesive 1711 with hardeners 2620, 2622, 2623*. Jakarta: Casco Adhesive (Asia).

Akoto, O. & Brefoh, A.O. (2014). Quality of oleoresinous wood varnish prepared using resin synthesized from tannin extracted from stem bark of *Khaya senegalensis*. *Asian Journal of Applied Sciences*, (2), 61–66.

Comyn, J. (2004). *Theory of adhesion*. Dalam P. Cognard (Ed.) *General Knowledge, Application Techniques, New Curing Techniques*. Handbook of Adhesive and Sealant. Versailles, France. 1(2), 1-47.

Food and Agriculture Organization (FAO)/ IAEA. (2000). *Working document (lab manual), Quantification of tannins in tree foliage*. Vienna. IAEA, 1-3.

Fadillah A.M., Hadi Y.S., Massijaya M.Y. & Ozarska B. (2014). Resistance of preservative treated mahogany wood to subterranean termite attack. *Journal Indian Academy of Wood Science*, 11(2), 140-143, doi. 10.1007/s13196-014-0130-2.

Falah, S., Suzuki T. & Katayama T. (2008). Chemical constituents from *Swietenia macrophylla* bark and their antioxidant activity. *Pakistan Journal of Biological Science*. 11(16) 2007-2012.

Hagerman, A.E. (2002). *Tannin chemistry*. Miami, USA: Department of Chemistry and Biochemistry, Miami University

Hindriani, H., Pradono, D.I. & Santoso A. (2005). Sintesis dan pencirian kopolimer tanin fenol formaldehida dari ekstrak kulit pohon mangium (*Acacia mangium*) untuk perekat papan partikel. *Prosiding Simposium Nasional Polimer V*. Bandung. hal. 56–63.

Japanese Agricultural Standard [JAS]. (2003). *Japanese agricultural standard for structural glued laminated timber*. Tokyo: Japanese Plywood Inspection Corporation (JPIC).

Japanese Industrial Standard [JIS]. (1980). *General testing method for adhesives*. (JIS K 6833-1980). Tokyo. Japanese Industrial Standard (JIS).

Kasmudjo. (2010). *Teknologi hasil hutan*. Yogyakarta: Cakrawala Media.

Lestari A.S.R.D., Hadi Y.S., Hermawan D, & Santoso A. (2015). Glulam properties of fast-growing species using mahogany tannin adhesive. *Bio Resources* 10(4), 7419-7433. DOI. 10.13576/biores. 10.4.7419-7433.

Mardisadora O. (2010). *Identifikasi dan potensi antioksidan flavonoid kulit kayu mahoni*

- (*Swietenia macrophylla* King). (Skripsi). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Mahittikul, C. (1981). *Properties of tannin extract from tree bark as adhesive for plywood and particleboard*. (Disertasi). Los Banos. University of The Philippines.
- Martawijaya, A & Kartasujana, I. (1977). *Ciri umum, sifat dan kegunaan jenis-jenis kayu Indonesia*. Bogor: Lembaga Penelitian Hasil Hutan.
- Pari G, Hastoeti, P., & Lestari, S.B. (1992). Kualitas dan sifat ekstrak tanin dari kulit kayu *Acacia mangium*. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 10 (4), 113-121.
- Perum Perhutani. (2014). *Kolaboratif sumber manajemen hutan*. Jakarta.
- Pizzi A. (1982). Pine tannin adhesive for particleboard. *Holz als Roh- und Werkstoff* 40(1982), 293-291.
- Pizzi, A. (1994). *Advanced wood adhesives technology*. New York: Marcel Dekker.
- Santoso A, Priyono, F.D.J. & Karliati, T. (2002). Pengaruh penambahan ekstender dalam perekat lignin formaldehida terhadap keteguhan rekat kayu lapis tusam. *Buletin Loupe*, 6(4), 11 – 18.
- Santoso A. (2005). Kulit mangium sebagai sumber tanin untuk perekat. *Prosiding Seminar Hasil Litbang Hasil Hutan*, 30 November, Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan. (hal. 165-175).
- Santoso, A. & Hadi, Y.S.(2009). Tannin resorcinol formaldehyde as potential glue for plybamboo manufacture. *Asia and the Pacific Forest Products Workshop "Green Technologies and Products for Climate Change Mitigation and Adaptation"*, 14-16 Desember, Sri Lanka.
- Santoso A, Hadi Y.S. & Malik J. (2014). Composite flooring quality of combined wood species using adhesive from merbau wood extract. *Forest Products Journal*, 5(64), 179-186.
- Setiawan, (2015). *Penggunaan ekstrak kulit mahoni dalam ramuan perekat urea formaldehida sebagai pereduksi emisi formaldehida kayu lapis*. (Skripsi). Program Studi Kimia, FMIPA, Universitas Pakuan, Bogor.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (1998a). *Urea formaldehida cair untuk perekat kayu lapis*. (SNI 06-0060-1998). Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (1998b). (1998). *Fenol formaldehida cair untuk perekat kayu lapis*. (SNI 06-4567-1998). Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2000). *Venir lamina*. (SNI 5008.9-2000). Jakarta. Badan Standardisasi Nasional.
- Steel R.G.D., & Torrie J.H. (1992). *Principles and procedure of Statistic*. New York: Mc. Graw Hill Book Company.
- Suhesti T.S., Dhadhang W.K., & Nuryanti. (2007). Penjaringan senyawa anti kanker pada kulit batang kayu mahoni (*Swietenia mahagoni* Jack.) dan uji aktivitasnya terhadap larva udang *Arthemiasalina* Leach. *Jurnal Ilmiah Keperawatan*, 3, 155-162.
- Supratman U. (2010). *Struktur elusidasi senyawa organik*. Bandung (ID): Widya Padjadjaran.
- Suseno, N. Tokok A., Karsono S.P., Felinda A. & Daniel P. (2013). Optimasi proses ekstraksi tanin dari kulit kayu merbau sebagai bahan perekat briket. *Prosiding seminar nasional teknik kimia Brotobardjono X*. Tahun 2013. Surabaya: Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Surabaya.
- Tsoumis G. (1991). *Science and technology of wood structure, properties, utilization*. New York (NY): Van Nostrand Reinhold.
- Vick, C.B. (1999). Adhesive bonding of wood material. Chapter IX. *Wood handbook, Wood as an engineering material*. Madison: Forest Product Society.
- Yasaki Y., Yunlu L., & Zheng G. (1991). extractives yields, stiasny values, and polyplavonoids contents in barks from six acacia species in australia. *Australian Forestry*, 54, 154-156.

Lampiran 1. Analisis keragaman pengaruh komposisi resorsinol dan kadar ekstender terhadap parameter yang diuji
Appendix 1. Variation analysis on the effect of resorcinol composition and extender content on the tested parameters

Sifat	Resorsinol	Ekstender
Ket Rekat kering	Mean 61,96 (-----*) 45,15 (-----*) 50,69 (-----*) 43,59 (-----*) 40 50 60 70	Mean 34,91 (-----*) 40,52 (-----*) 60,31 (-----*) 56,14 (-----*) 67,29 (-----*) 42,90 (-----*) 36 48 60 72
	Mean 12,173 (-----*) 12,241 (-----*) 11,824 (-----*) 18,597 (-----*) 12,0 15,0 18,0 21,0	Mean 10,503 (-----*) 12,331 (-----*) 13,714 (-----*) 15,584 (-----*) 14,622 (-----*) 15,499 (-----*) 10,0 12,5 15,0 17,5
Ket, Rekat basah	Mean 13,0796 (---*) 11,9671 (---*) 11,8746 (---*) 12,9063 (---*) 11,90 12,25 12,60 12,95	Mean 12,4850 (---*) 12,2069 (---*) 12,0325 (---*) 12,9100 (---*) 13,1725 (---*) 11,9344 (---*) 12,00 12,40 12,80 13,20
	Mean 0,411250 (---*) 0,385000 (---*) 0,380000 (---*) 0,406667 (---*)	Mean 0,383125 (---*) 0,398750 (---*) 0,406250 (---*) 0,397500 (---*) 0,404375 (---*)
Kadar air	Mean 11,90 12,25 12,60 12,95	Mean 12,00 12,40 12,80 13,20
Kerapatan	Mean 0,411250 (---*) 0,385000 (---*) 0,380000 (---*) 0,406667 (---*)	Mean 0,383125 (---*) 0,398750 (---*) 0,406250 (---*) 0,397500 (---*) 0,404375 (---*)

Lampiran 1. Lanjutan
Appendix 1. Continued

	0,384 0,396 0,408 0,420	0,384375 (-----*) -----+-----+-----+-----+-----+ 0,380 0,390 0,400 0,410
Solid content	Mean -----+-----+-----+-----+-----+ 11,712 (-----*) 11,292 (-----*) 19,054 (-----*) 18,732 (-----*) -----+-----+-----+-----+-----+ 10,5 14,0 17,5 21,0	Mean -----+-----+-----+-----+-----+ 10,141 (-----*) 10,974 (-----*) 12,101 (-----*) 13,699 (-----*) 18,400 (-----*) 25,870 (-----*) -----+-----+-----+-----+-----+ 12,0 18,0 24,0 30,0
Formaldehida bebas	Mean -----+-----+-----+-----+-----+ 0,411250 (-----*) 0,385000 (-----*) 0,380000 (-----*) 0,406667 (-----*) -----+-----+-----+-----+-----+ 0,384 0,396 0,408 0,420	Mean -----+-----+-----+-----+-----+ 0,383125 (-----*) 0,398750 (-----*) 0,406250 (-----*) 0,397500 (-----*) 0,404375 (-----*) 0,384375 (-----*) -----+-----+-----+-----+-----+ 0,380 0,390 0,400 0,410