

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.

0ea54bb87fdda7d5275952f31fd000c5a33bc99ed8848c338342da7f23d26258

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

## SINTESIS, KARAKTERISASI DAN APLIKASI BIO-IMPREGNAN DARI KULIT BATANG SAWIT

### *(Synthesis and Characterization on Bio-impregnant Made from Oil Palm Bark)*

Jamaludin Malik, Adi Santoso & Jamal Balfas

Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk, Badan Riset dan Inovasi Nasional

Km 36 Cibinong 16911, Telp.: (0251) 8633378

E-mail: jamaludin.malik@brin.go.id

Diterima 19 Februari 2022, direvisi 24 April 2022, disetujui 29 Juni 2022

#### ABSTRACT

*The formulation of phenolic compounds extracted from biomass not only produces adhesives but can also be used as bio-impregnant. In this study, the synthesis was carried out by copolymerization of resorcinol (R) and formaldehyde (F) into the oil palm bark extract (S) to produce SRF resin fluid. A complete characterization was carried out using FTIR, Py-GCMS, XRD and DTA. In addition, F emission was also undertaken to ensure its safety for health and the environment. The application of bio-impregnant was done on samples of the hard (edge) and soft (middle) parts of the oil palm trunk. The results show that the oil palm bark extract contains polyphenol components that have a strong affinity for resorcinol and formaldehyde in alkaline catalyst (NaOH 40%), so that it can form a copolymer that can be used as an impregnant. The application of the bio-impregnant can improve the quality of the oil palm trunk in both parts from class V to class III of wood-strength classification with an increase in density (>100%), hardness (4 times), thickness swelling in both cold and boiling water meets the requirements (<25%), as well as formaldehyde emission that meets the standard SNI 03-2105-2006.*

*Keywords: Synthesis, characterization, application, bio-impregnant, oil-palm bark*

#### ABSTRAK

Formulasi bahan fenolik yang diekstrak dari biomassa tidak hanya menghasilkan perekat tapi juga dapat dijadikan sebagai bio-impregnan. Bio-impregnan adalah bahan untuk perlakuan impregnasi yang berasal dari makhluk hidup, pada umumnya dari ekstraksi bagian tumbuhan seperti kulit, batang, dan lain-lain. Pada penelitian ini, sintesis dilakukan dengan kopolimerisasi resorsinol (R) dan formaldehida (F) terhadap ekstrak kulit batang sawit (S) sehingga menghasilkan fluida resin SRF. Karakterisasi secara lengkap dilakukan dengan menggunakan FTIR, Py-GCMS, XRD dan DTA. Selain itu emisi formaldehida juga dilakukan untuk memastikan keamanannya terhadap kesehatan dan lingkungan. Aplikasi bio-impregnan dilakukan terhadap sampel kayu sawit bagian keras (pinggir) dan bagian lunak (tengah) dari batang sawit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak kulit batang sawit mengandung komponen polifenol yang memiliki afinitas kuat terhadap resorsinol dan formaldehida dengan katalis basa (NaOH 40%), sehingga dapat membentuk kopolimer yang dapat digunakan sebagai impregnan. Aplikasi bio-impregnan tersebut dapat meningkatkan kualitas batang sawit pada semua bagian batang dari kelas V menjadi kelas kuat III dengan peningkatan kerapatan (>100%), kekerasan (4 kali), pengembangan tebal baik dalam air dingin maupun air mendidih memenuhi persyaratan (<25%), serta emisi formaldehida yang memenuhi standar SNI 03-2105-2006.

Kata kunci: Sintesis, karakterisasi, aplikasi, bio-impregnan, kulit batang sawit

#### I. PENDAHULUAN

Berbagai penelitian di Indonesia sejak 20 tahun yang lalu membuktikan bahwa bahan fenolik yang diekstrak dari biomassa baik kulit maupun kayu dapat dijadikan sebagai perekat hayati, baik yang berbasis lignin maupun tanin dan dapat diaplikasikan dalam pembuatan berbagai produk kayu komposit (Ruhendi, 1999; Santoso, 2004; Santoso, Rachman & Malik, 2005; Malik dan Santoso, 2005; Malik, Santoso & Roliadi, 2005; Sudohadi, Santoso and Malik, 2014; Rachmawati, 2018; Santoso, Basri & Balfas, 2020).

Namun ternyata, selain dapat dibuat perekat, bahan fenolik yang diekstraksi dari tumbuhan juga dapat diformulasikan sebagai bahan impregnan yang dapat meningkatkan karakteristik kayu berkualitas rendah (Malik, Santoso, Mulyana, & Ozarska, 2016; Malik, Santoso & Ozarska, 2020).

Aplikasi bahan impregnan dari ekstraksi biomassa dengan teknik impregnasi dapat meningkatkan sifat fisis dan mekanik kayu termasuk adanya peningkatan ketahanan terhadap perubahan cuaca (Malik and Ozarska, 2019; Dungani, Karliati, Hadiyane, Tanaka,

Yamada, Hartati, Dewi & Malik, 2020a; Dungani, Karliati, Hadiyane, Tanaka, Yamada, Hartati & Malik, 2020b). Adanya peningkatan karakteristik tersebut tidak hanya pada kayu konvensional, tetapi juga terjadi pada impregnasi kayu kelapa dan kelapa sawit (Dungani et al., 2020a; Malik and Santoso, 2021). Bahkan impregnasi dengan bio-impregnan dari formulasi ekstrak kayu merbau dapat menghasilkan perubahan warna kayu jabon putih (*Anthocephalus cadamba*) secara permanen dan menarik (Malik, Ozarska & Santoso, 2018; Malik, 2019).

Adanya kemampuan untuk meningkatkan karakteristik dan kualitas kayu dari impregnan yang diformulasi dari ekstrak biomassa karena perubahan sifat kopolimer resin fenolik dari hidrofilik atau sangat mudah larut dalam air pada proses polimerisasi menjadi hidropobik pada akhir proses polimerisasi (Malik et al. 2020). Hal ini hanya akan terjadi pada proporsi dari bahan penyusunnya atau pada modifikasi resin fenolik dimana komponen utama penyusunnya adalah senyawa fenolik (P) dan formaldehida (F) (Dunky and Pizzi, 2002). Rasio P terhadap F ini sangat menentukan karakteristik resin yang terbentuk. Rekayasa atau modifikasi baik pada saat pembuatannya maupun saat penerapannya yang rendah energi sangat diharapkan. Menurut Durairaj (2003) dan Detlefsen (2002) untuk membuat campuran terpolimerisasi pada suhu kamar (tanpa perlakuan panas), rasio mol P/F harus  $<1$  atau  $F/P \geq 1$ . Resin ini diklasifikasikan sebagai *resole* (Detlefsen, 2002; Durairaj, 2003; Akay, 2012; Gardziella, Pilato, & Knop, 2000). Karakterisasi terhadap resin bio-impregnan diperlukan untuk memperkirakan efektivitas penggunaannya.

Tulisan ini membahas sintesis, karakterisasi dan aplikasi bio-impregnan dari ekstrak kulit batang sawit yang diaplikasikan pada kayu sawit itu sendiri untuk tujuan peningkatan karakteristik kayu sawitnya.

## I. BAHAN DAN METODE

### A. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan adalah 7 kg kulit batang sawit, bagian tengah batang sawit umur 32 tahun berasal dari Malingping (Banten), tepung tapioka, formaldehida 37% (b/v), natrium hidroksida (NaOH) 40% (b/v), resorsinol 50% (b/v), amonium asetat, asam asetat glasial, asetil aseton, natrium tiosulfat ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) 0,1 N, kalium iodida 10% b/b, kalium dikromat 0,1 N, asam sulfat 1 M, asam klorida (HCl) pekat, iodin 0,05 M, kalium hidroksida 0,1 N, indikator kanji 1% dan akuades.

Alat-alat yang digunakan antara lain peralatan gelas, neraca analitik, piknometer, viskometer VT-04E, oven Memmert, *Universal Testing Machine* Model

Becker & Hullen, *press* panas, *press* dingin, spektrofotometer UV-Vis SHIMAZDU UV-1700, penangas air, *Digital Caliper* 150-Nankai, *Fourier Transform Infra Red Spectrometer* (FTIR) Alpha Platinum-ATR Bruker, *Diferensial Thermal Analysis* (DTA) “Shimadzu DT-30”, PY-GCMS dan XRD (XRD-7000 Shimadzu).

### B. Prosedur Kerja

#### 1. Ekstraksi dan karakterisasi komponen kimia kulit batang sawit

Potongan kulit batang sawit berukuran panjang 5 cm, lebar 1–5 cm dan tebal 0,5–1 cm dikeringudarkan kemudian dicampur dengan air dengan perbandingan potongan kulit batang sawit dan air 1:4 (b/b), lalu direbus pada 80°C selama 3 jam disertai pengadukan. Campuran yang telah mencapai suhu ruang selanjutnya disaring. Proses ekstraksi dilakukan sebanyak 2 kali ulangan. Filtrat dari kedua ulangan digabung menjadi satu dan disaring kemudian diambil sebanyak 21 liter filtrat untuk dibuat menjadi bahan impregnan dengan reaksi kopolimersasi kondensasi.

#### 2. Sintesis bio-impregnan dan pencirian komponen kimianya

Bahan impregnan dibuat dengan mereaksikan cairan ekstrak kulit batang sawit (S) dengan resorsinol (R) dan formaldehida (F) dengan perbandingan bobot S:R:F = 100:2,5:10. Sebanyak 0,5 bagian tepung tapioka ditambahkan ke dalam campuran di atas, dan diaduk hingga homogen. Kondisi reaksi dilakukan pada suhu kamar dan pH basa (10–11) dengan penambahan NaOH 40%. Pencirian ekstrak kulit batang sawit sebagai bahan impregnan dan produk reaksi polimerisasi kondensasinya dianalisis dengan spektroskopi inframerah (FTIR), Py-GCMS, dan DTA.

##### a. Analisis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR)

Sebanyak 15 mg bio-impregnan ukuran 120 mesh dari sampel terpilih langsung digunakan dalam pengukuran spektroskopi FTIR. Sampel berupa serbuk kering ditanam dalam pellet kalium bromida (KBr) dan dianalisis menggunakan spektrometer Alpha Platinum-ATR Bruker. Material tersebut dipindai dalam mode absorpsi pada kisaran 4.000 hingga 500  $\text{cm}^{-1}$  dengan resolusi 2  $\text{cm}^{-1}$ .

##### b. Analisis Py-GCMS

Dalam penelitian ini, pirolisis dilakukan dengan kontrol pyrolyzer Py-2020iS yang digabungkan ke Shimadzu QP2010 GC/MS menggunakan fase tipe kapiler kolom Rtx-5ms (60 m  $\times$  0,25 mm  $\times$  0,25 m).

Program analisis disajikan pada Tabel 1. Suhu inlet diatur pada 280°C dan pirolisis pada 600°C. Sampel diidentifikasi dengan membandingkan spektrum massa dengan spektrum standar (NIST 98).

c. *Diferensial Thermal Analysis (DTA)*

Bio-impregnan dan kayu sawit hasil impregnasi diidentifikasi oleh *Diferensial Thermal Analysis (DTA*, Hitachi STA7300). Analisis dilakukan dengan menggunakan laju kenaikan suhu 30°C/menit hingga suhu 550°C untuk menentukan suhu transisi gelas, titik leleh, dan titik kristalisasi pada kopolimer bio-impregnan

d. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Analisis XRD digunakan untuk menentukan tingkat kristalinitas sampel dari bio-impregnan. Alat yang digunakan adalah X-Ray Diffraction (XRD) MAXima-X Shimadzu® XRD-7000. Sinar-X yang diberikan energi dari sumber 40 kV, 30 mA dan pemindaian dibuat dalam kisaran 0–40 derajat pada kecepatan pemindaian dua derajat per menit. Derajat kristalinitas dihitung sebagai rasio perbedaan intensitas pada posisi puncak.

3. Impregnasi kayu sawit

Kayu yang diambil dari batang sawit terdiri atas 2 bagian, yaitu bagian yang keras (tepi) dan bagian yang lunak (tengah), berukuran 30 cm x 5 cm x 5 cm (panjang x lebar x tebal). Batang sawit divakum selama ±10 menit yang bertujuan untuk mengeluarkan udara di dalam pori-pori kayu sehingga memudahkan impregnan masuk saat impregnasi dan menempati pori-pori tersebut. Setelah itu batang sawit diimpregnasi dengan larutan kopolimer selama ± 15 menit, lalu dilakukan pengkondisian pada suhu ruangan (±28°C) selama 24 jam. Selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 5 x 24 jam hingga mencapai kadar air 8–12%.

4. Sifat fisis-mekanis dan emisi formaldehida batang kelapa sawit produk impregnasi

Karakterisasi batang sawit produk impregnasi meliputi sifat fisis-mekanis terdiri atas kerapatan dan kekerasan mengacu kepada SNI 8853:2019 (BSN, 2019), pengembangan tebal mengikuti SNI ISO 16983:2010, dan emisi formaldehida yang mengacu ke SNI 01-7206-2006.

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Komponen Kimia Ekstrak Kulit Batang Sawit

Hasil analisis gugus fungsi menggunakan spektroskopi FTIR pada ekstrak serbuk kulit batang sawit disajikan pada Gambar 1.

Spektrum yang dihasilkan pada Gambar 1 memperlihatkan serapan vibrasi ulur OH (3390,86 cm<sup>-1</sup>) mengindikasikan adanya senyawaan fenolik dengan adanya gugus OH yang berikatan dengan –H dengan intensitas tinggi; vibrasi C=C (alkena) cincin aromatik (2.266,36); vibrasi tekuk C-O-H dari fenol (1.382,96 cm<sup>-1</sup>, 1.327,03 cm<sup>-1</sup>); vibrasi ulur C-O (1.149,57 cm<sup>-1</sup>, 1095.57 cm<sup>-1</sup>), vibrasi C-C (841,94 cm<sup>-1</sup>) dan vibrasi C-H luar bidang (985,72 cm<sup>-1</sup>, 750,31cm<sup>-1</sup>, 630,72 cm<sup>-1</sup>), gugus fungsi karbonil (1.656,85 cm<sup>-1</sup>), dan aldehida (serapan kembar pada 2.924,09 dan 2.854,65 cm<sup>-1</sup>). Hasil yang didapatkan mirip dengan gugus fungsi senyawaan fenolik yang teridentifikasi pada penelitian sebelumnya oleh Malik et al. (2016) terhadap ekstrak kayu merbau (*Intsia sp.*) dan Santoso dan Abdurachman (2016) pada ekstrak kayu mahoni (*Swietenia sp.*), dimana ekstrak ini dominan mengandung gugus OH, C=C cincin aromatik, dan gugus eter.

Hasil analisis lebih lanjut dengan Py-GCMS (Gambar 2) menunjukkan ekstrak kulit batang sawit mengandung komponen senyawa fenolik, alkohol

**Tabel 1. Program Py-GCMS untuk analisis**  
**Table 1. Experiment program of Py-GCMS**

Item	Deskripsi ( <i>Description</i> )
Type	Shimadzu GCMS-QP2010
Gas	Helium
Detector	Mass Spectrometer
Column	Capiler Type Phase Rtx-5MS; 60m; 0.25mm
Column temperature	50°C
Inlet pressure (kPa)	101,0
Column flow (ml/min)	0,85
Split ratio	50,0
SPL temperature	280°C
MS interface	280°C
Ion source	200°C
Pyrolysis temperature	280°C

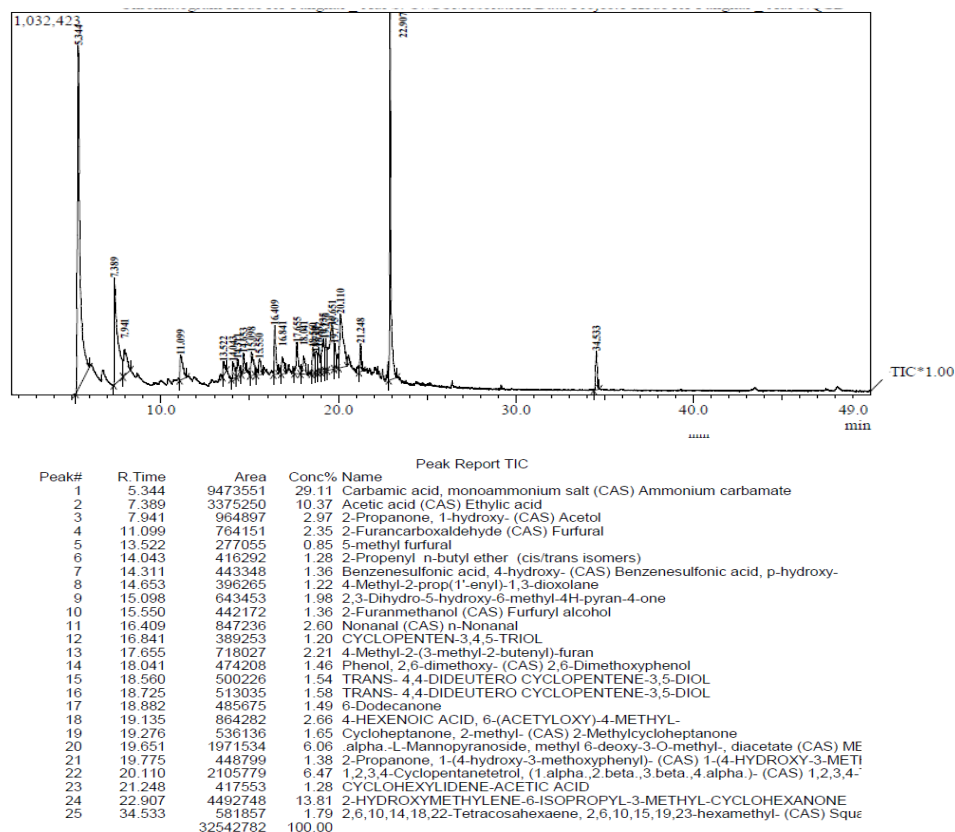
(furfural), keton, serta karboksilat. Senyawa fenolik merupakan komponen penting sebagai aktivator dalam bio-impregnasi untuk perlakuan peningkatan kualitas kayu. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa senyawa fenolik umum digunakan dalam modifikasi kayu dengan tujuan untuk memperbaiki sifat kayu. Sebagai contoh, resin PF dapat meningkatkan stabilitas dimensi (Ryu et al. 1991, 1993; Sakai et al., 1999; Ohmae et al. 2002) Peningkatan stabilitas dimensi ini tampaknya disebabkan baik oleh pengisian dinding sel maupun ikatan yang menghubungkan komponen resin di dalam dinding sel (Hill, 2006). Perlakuan dengan resin ini juga meningkatkan pembusukan dan ketahanan rayap papan partikel (Kajita dan Imamura 1991).

Dari Gambar 2 terlihat bahwa kandungan senyawa fenolik dari ekstrak kulit batang sawit pada penelitian ini lebih rendah dari ekstrak kulit mangium dimana kandungan senyawa fenoliknya mencapai 34,04% (Jessica, 2018) dan mahoni (6,9%) (Santoso dan Abdurachman, 2016). Namun ketiga sumber senyawa fenolik tersebut jauh lebih rendah dibanding dengan fenolik dari ekstrak kayu merbau sebagaimana hasil

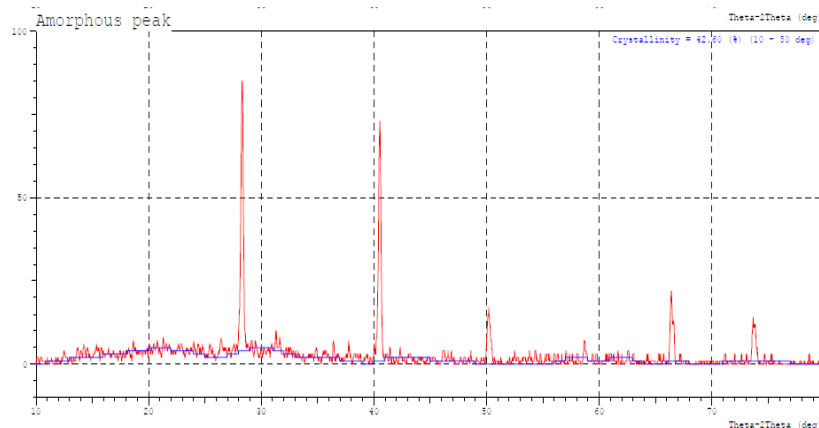
penelitian Malik et al. (2016) yang menunjukkan kandungan senyawa fenolik sebesar 78,99%.

Selanjutnya berdasarkan hasil analisis dengan difraksi sinar-X diketahui derajat kristalinitas senyawa yang terkandung dalam ekstrak kulit batang sawit adalah 42,60% (Gambar 3). Hal ini mengindikasikan bahwa susunan rantai senyawa tersebut didominasi bentuk amorf (tidak beraturan). Namun lebih kristalin dibanding dengan ekstrak kulit kayu mangium yang hanya sebesar 14,31% (Jessica, 2018) dan ekstrak kayu merbau 23,32% (Santoso et al., 2014).

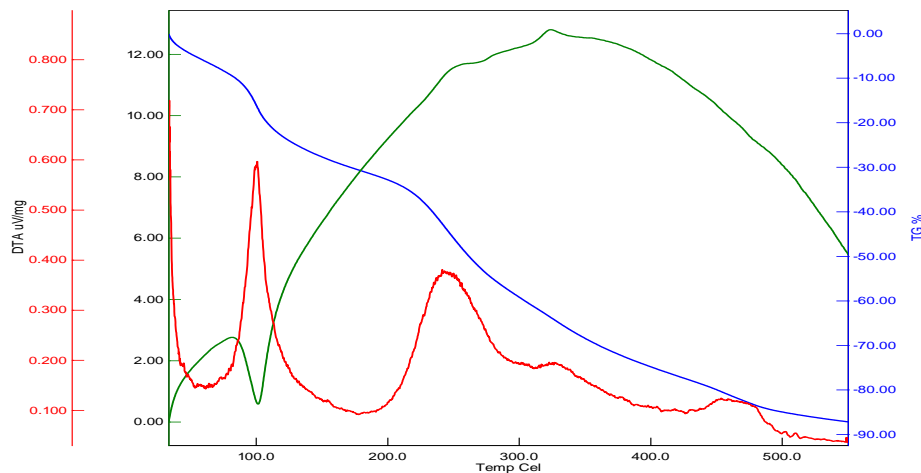
Sifat transisi fase pelelehan senyawa dari ekstrak kulit batang sawit (Gambar 4) yang diperoleh dengan penganalisis termal diferensial DTA memperlihatkan bahwa puncak transisi fase pelelehan terjadi pada suhu 84,27°C dan suhu akibat dekomposisi/disosiasi pada suhu 324,80°C. Fase transisi disertai dengan perubahan kapasitas panas bahan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa untuk mengubah fase ekstrak kulit batang sawit diperlukan entalpi yang cukup rendah. Menurut Liu et al. (2015), ketika entalpi yang rendah terjadi pada polimer, ini berarti bahwa polimer lebih mudah terbentuk pada suhu rendah. Proses polimerisasi inilah yang terjadi pada bio-impregnasi.



Gambar 2. Kromatogram Py-GCMS ekstrak kulit batang sawit  
 Figure 2. Py-GCMS chromatogram of oilpalm-bark extract



**Gambar 3. Difraktogram ekstrak kulit batang sawit**  
*Figure 3. Diffractogram of oilpalm-bark extract*



**Gambar 4. Thermogram ekstrak kulit batang sawit**  
*Figure 4. Thermogram of oilpalm-bark extract*

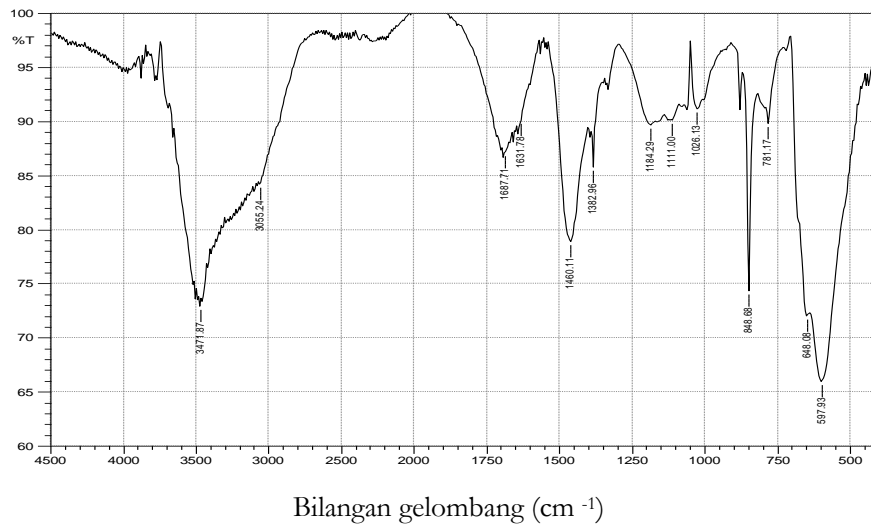
### B. Analisis Komponen Kimia Bio-impregnan dari Ekstrak Kulit Batang Sawit

Impregnan dari ekstrak kulit batang sawit dibuat dengan penambahan formaldehida dan resorsinol. Kopolimerisasi tersebut di atas menyebabkan pita serapan spektrum FTIR mengalami perubahan dibandingkan kondisi ekstrak awal (Gambar 5).

Pergeseran vibrasi ulur OH terjadi dari sebelumnya dari ekstrak kulit batang sawit menjadi bio-impregnan pada daerah serapan  $3.390,86\text{ cm}^{-1}$  menjadi  $3.471,87\text{ cm}^{-1}$  dengan penurunan intensitas dari 68% menjadi 30%. Pergeseran lainnya terjadi pada gugus aromatik C=C menghasilkan pita serapan pada bilangan gelombang  $3.055,24\text{ cm}^{-1}$  dan penurunan intensitas serapan sebesar 67%, selain itu berkurangnya intensitas serapan kembar gugus aldehida yang semula muncul pada  $2.924,09$  dan  $2.854,65\text{ cm}^{-1}$ . Kenaikan dan hilangnya intensitas

serapan ini terjadi karena adanya penambahan resorsinol pada proses kopolimerisasi yang menyebabkan jumlah gugus fenolik dalam perekat menjadi lebih besar ataupun pembentukan ikatan baru dari gugus OH bebas menjadi jembatan eter dan jembatan metilen pada kopolimer yang terbentuk.

Spektrum kopolimer ini juga menghasilkan pergeseran pita serapan baru vibrasi ulur C-H gugus aldehida pada bilangan gelombang  $1.656,85\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini terjadi karena adanya penambahan formaldehida pada proses kopolimerisasi. Pita absorpsi pada bilangan gelombang  $1.460,11\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan keberadaan jembatan metilen ( $-\text{CH}_2$ ) hasil reaksi kopolimerisasi antara ekstrak fenolik dari kulit batang sawit dengan formaldehida. Selain itu, terbentuk pita serapan vibrasi tekuk C-OH ( $1.382,96\text{ cm}^{-1}$ ) dari gugus fenolik, pergeseran vibrasi ulur C-O jembatan eter dari polimerisasi kondensasi senyawa

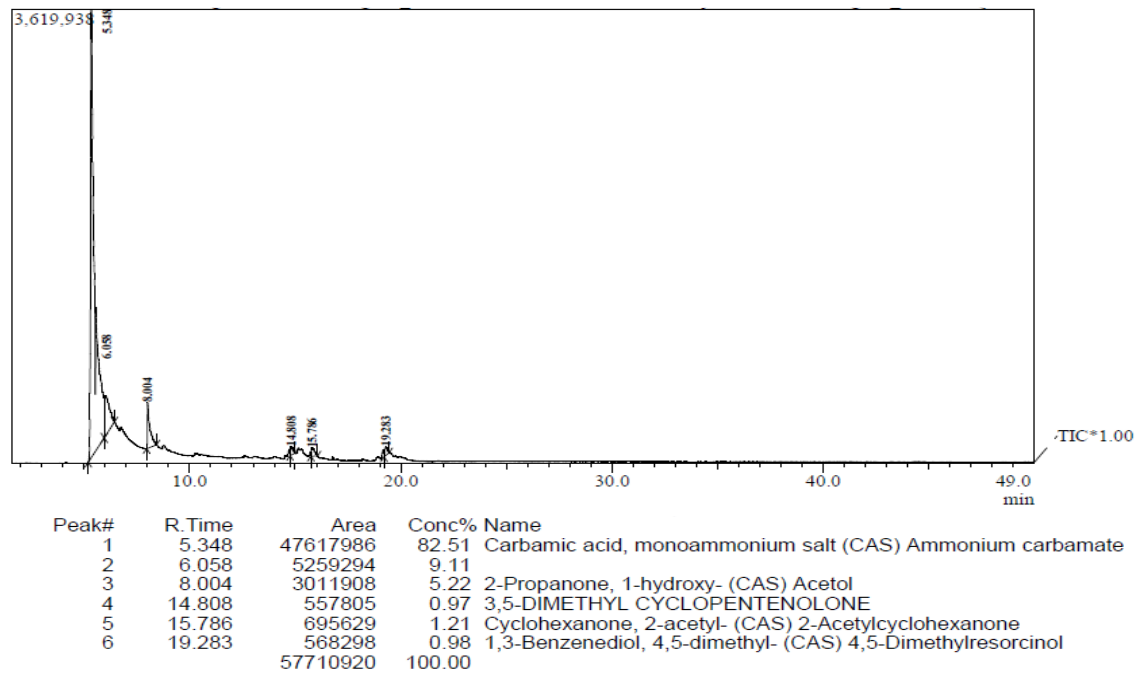


**Gambar 5. Spektrum inframerah bio-impregnan dari ekstrak kulit batang sawit**  
*Figure 5. Infra-red spectra of the impregnant made from oilpalm-bark extract*

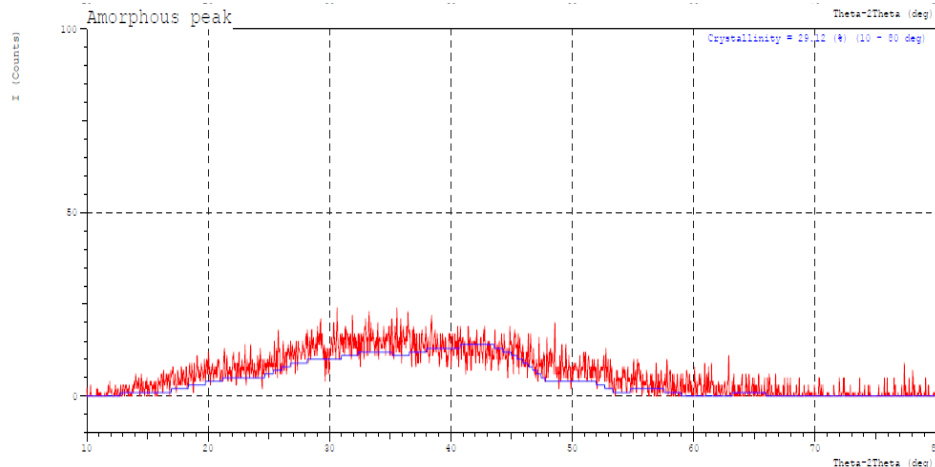
fenolik ( $1.026,13\text{ cm}^{-1}$ ), dan berkurangnya vibrasi C-H luar bidang ( $781,17\text{ cm}^{-1}$ ) yang merupakan daerah sidik jari khas untuk formaldehida dan resorsinol.

Hasil analisis lebih lanjut dengan Py-GCMS (Gambar 6) menunjukkan impregnan produk kopolimerisasi ini terdiri atas 6 komponen kimia, yang berbeda dengan senyawa dari ekstrak kulit batang sawit sendiri yang terdiri atas 25 komponen (Gambar 2).

Selanjutnya dengan metode difraksi sinar-X, yang hasilnya disajikan pada Gambar 7, terlihat adanya perubahan nilai derajat kristalinitas yang mengindikasikan terbentuknya kopolimer impregnan dengan tingkat/derajat kekristalan (*degree of crystallinity*) sebesar 29,12% yang lebih amorf dibandingkan dengan ekstrak kulit batang sawit sendiri (42,60%).



**Gambar 6. Kromatogram impregnan dari ekstrak kulit batang sawit**  
*Figure 6. Chromatogram of the impregnant made from oilpalm-bark extract*



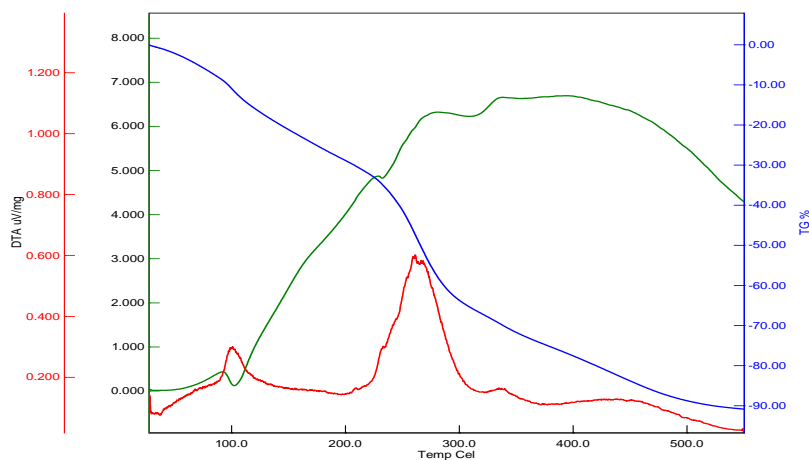
**Gambar 7. Difraktogram impregnan dari ekstrak kulit batang sawit**  
**Figure 7. Difractogram of the impregnant made from oilpalm-bark extract**

Derajat kekristalan sangat mempengaruhi sifat polimer (Cowd, 1991), polimer yang memiliki derajat kekristalan tinggi memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi daripada polimer yang memiliki derajat kekristalan rendah. Derajat kekristalan tinggi mengindikasikan bahwa struktur polimer tersebut didominasi oleh rantai-rantai dengan keteraturan yang tinggi, dan memiliki gaya antar rantai cukup kuat, sehingga rantai atau bagian rantai dapat saling mendekati secara sejajar, membentuk daerah berkristal. Tarikan antar rantai ini terjadi salah satunya diakibatkan oleh ikatan hidrogen, yang khas terbentuk pada lingkungan sangat asam atau basa.

Fakta menunjukkan bahwa sangat sedikit polimer yang berkristal sempurna, disebabkan oleh karena panjang dan ketidakteraturan molekul setiap polimer berbeda. Ketidakteraturan dalam struktur rantai, misalnya percabangan, akan menghambat rantai untuk saling mendekati, sehingga kristal menjadi

terbatasi (Cowd, 1991). Namun demikian, tidak berarti bahwa polimer yang memiliki derajat kekristalan lebih rendah tidak menguntungkan, dalam hal kopolimer dari ekstrak kulit batang sawit yang termasuk kategori polimer amorf diduga akan relatif lebih lambat dalam “pematangannya” dibandingkan dengan kopolimer yang memiliki derajat kekristalan yang lebih tinggi, sehingga dalam aplikasinya akan memiliki *pot life* lebih lama (Cowd, 1991). Dalam penggunaannya sebagai impregnan kayu, yang lebih diperlukan adalah sifat kenyal (regang) bukan sekedar kekuatan/kekakuannya, dalam hal ini diperlukan rantai cabang guna menghambat atau membatasi gerakan rantai, sehingga diharapkan setelah terjadi “pematangan” tidak bersifat regas/rapuh.

Selanjutnya dengan penganalisis termal diferensial (DTA) diperoleh gambaran mengenai sifat thermal impregnan dari ekstrak kulit batang sawit (Gambar 8).



**Gambar 8. Thermogram impregnan dari ekstrak kulit batang sawit**  
**Figure 8. Thermogram of the impregnant made from oilpalm-bark extract**



Analisis DTA digunakan untuk menentukan temperatur dari transformasi material dengan mengkuantisasi panasnya. Polimer yang amorf, seperti kopolimer dari ekstrak kulit batang sawit mempunyai daerah berkrystal dengan derajat kekristalan dan suhu transisi fase pelelehan tertentu. Berdasarkan termogram yang diperoleh, dapat ditentukan suhu transisi fase pelelehan impregnan, yaitu 92,05°C (Gambar 8) yang berbeda dibanding kondisi awalnya (84,27°C) (Gambar 4), sementara suhu akibat dekomposisi/disosiasi terjadi secara bertahap, yaitu pada suhu 229,23°C, 280,22°C, 339,19°C, dan 396,26°C (Gambar 8), yang berbeda dengan kondisi awal dimana suhu akibat dekomposisi/disosiasi terjadi satu tahap yaitu pada suhu 324,80°C (Gambar 4).

Cowd (1991) mengemukakan bahwa sifat polimer dapat dipengaruhi oleh suhu transisi pelelehan. Suhu ini berkaitan erat dengan daerah amorf polimer, dan menyebabkan polimer berubah dari zat yang keras dan mudah hancur seperti kaca menjadi lunak dan kenyal seperti karet dengan naiknya suhu. Dalam polimer yang amorf, pada suhu di bawah fase transisi pelelehan, rantai yang amorf ini “membeku” pada kedudukan tertentu, dan polimer bersifat seperti kaca atau rapuh. Dengan naiknya suhu hingga mendekati transisi fase pelelehan, bagian-bagian rantai dapat bergerak. Di atas suhu tersebut polimer, menjadi lebih kenyal.

**C. Sifat Fisis-Mekanis dan Emisi Formaldehida Kayu Sawit Hasil Impregnasi**

Perlakuan impregnasi terhadap kayu sawit dengan bio-impregnan hasil sintesis dari ekstrak kulit

batangnya menunjukkan beberapa peningkatan atau perbaikan karakteristik kayu tersebut. Hasil uji karakterisasi kayu sawit produk impregnasi meliputi kerapatan, kekerasan, pengembangan tebal, dan emisi formaldehida disajikan dalam Tabel 2.

Dari Tabel 2 terlihat bahwa secara keseluruhan terjadi peningkatan kualitas dari semua parameter setelah perlakuan pada batang sawit.

**1. Kerapatan**

Kerapatan digunakan untuk menerangkan massa suatu bahan persatuan volume. Supriadi et al. (1998) menyatakan bahwa berdasarkan kedalamannya di dalam batang sawit, pada bagian tepi lebih tinggi kerapatannya, yang selanjutnya akan menurun ke arah pusat batang. Hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan struktur anatomi batang sawit pada bagian tengah yang tersusun (didominasi) oleh jaringan perenkim dasar sedangkan pada bagian pinggir tersusun oleh jaringan pembuluh (*vascular bundles*) yang berdinding tebal sehingga kerapatannya pun besar (Yusfreirosid, 2001). Dengan demikian, hasil impregnasi pada bagian batang sawitpun akan berbeda.

Perlakuan impregnasi meningkatkan kerapatan batang kelapa sawit hingga >100% dibandingkan batang sawit tanpa perlakuan (kontrol). Hal ini menunjukkan adanya pengisian rongga kosong pada batang dan penggantian air dengan impregnan yang mampu menembus dinding sel dan penetrasi bahan impregnan menjadi maksimal. Peningkatan kerapatan mengindikasikan bahwa impregnan membentuk polimer dengan molekul-molekul selulosa batang sawit sehingga menjadi mampat dan

**Tabel 2. Peningkatan kualitas kayu sawit setelah dimagnasi**

**Table 2. Wood quality enhancement of oilpalm wood after impregnation treatment**

Parameter (Parameter)		Kayu Sawit dari Bagian (Oilpalm wood part)	
		Keras/Tepi (Hard/Side)	Lunak/Tengah (Soft/Middle)
Kerapatan (Density, g/cm <sup>3</sup> )	Kontrol (Control)	0,36	0,17
	Perlakuan (Treatment)	0,64	0,38
Kekerasan (Hardness, Kg)	Kontrol (Control)	74	23
	Perlakuan (Treatment)	298	86
Pengembangan tebal dalam air dingin 24 jam (Thickness swelling in normal water for 24 hours, %)	Kontrol (Control)	84,53	97,72
	Perlakuan (Treatment)	30,90	19,59
Pengembangan tebal dalam air mendidih 3 jam (Thickness swelling in boiled water for 3 hours, %)	Kontrol (Control)	93,65	102,25
	Perlakuan (Treatment)	58,50	68,32
Emisi formaldehida (Formaldehyde emission, ppm)	Kontrol (Control)	0,00	0,00
	Perlakuan (Treatment)	0,06	0,09

padat. Berdasarkan klasifikasi kekuatan kelas kayu PKKI (1961), hasil impregnasi ini mampu meningkatkan kelas kuat V (kerapatan  $<0,3 \text{ g/cm}^3$ ) menjadi kelas kuat III (kerapatan  $0,4-0,6 \text{ g/cm}^3$ ), sehingga produk impregnasi ini layak digunakan sebagai komponen furnitur.

## 2. Kekerasan

Kekerasan merupakan ukuran kemampuan kayu menahan benturan dari permukaan benda lain. Peningkatan kekerasan batang sawit yang mengalami impregnasi terjadi karena adanya pemampatan struktur sel-sel akibat menyempitnya rongga-rongga (lumen) dalam sel batang sawit. Selain itu, pori-pori batang sawit menyempit dan terisi oleh impregnan.

Kekerasan batang kelapa sawit bagian tepi sebelum perlakuan dibandingkan dengan setelah impregnasi meningkat lebih dari 4 kalinya, sementara bagian tengah mencapai 3,7 kalinya. Molekul-molekul impregnan berinteraksi dengan selulosa batang sawit membentuk kopolimer dengan molekul-molekul selulosa sehingga menjadi bertambah berat, padat, keras, dan tidak rapuh. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh bagian tengah batang sawit tersusun akan jaringan parenkim yang bersifat rapuh dan lunak sehingga akan memperkecil nilai kekerasan. Sedangkan pada bagian tepi tersusun dengan jaringan pembuluh yang berstruktur tebal dan kuat sehingga kekerasan batang sawit lebih besar.

## 3. Pengembangan tebal

Aplikasi peningkatan kualitas batang sawit salah satunya dalam furnitur eksterior. *Furniture* eksterior tentunya akan berinteraksi langsung dengan lingkungan luar, sehingga batang sawit akan mengalami pengembangan tebal akibat lingkungan yang dingin ataupun penyusutan akibat lingkungan panas. Oleh karena itu dilakukan pengujian pengembangan tebal sebagai tolak ukur kualitas batang sawit yang dilakukan dengan dua metode, yaitu pengembangan tebal rendam dingin dan panas. Semakin rendah nilai pengembangan tebal, maka semakin baik, karena batang sawit lebih stabil setelah dilakukan perendaman, begitu pula sebaliknya bila nilai pengembangan tebal besar menunjukkan batang sawit mengalami pertambahan tebal yang cukup banyak bila ditempatkan pada lingkungan yang sangat lembap.

Hasil pengembangan tebal dalam air dingin menurun 3–5 kali lipat pada seluruh bagian kelapa sawit terimpregnasi. Hal ini mengindikasikan pengaruh impregnasi menyebabkan penetrasi impregnan yang optimal serta pembentukan ikatan

spesifik yang kuat antara impregnan dengan batang kelapa sawit sehingga menjadi lebih stabil. Adapun pengembangan tebal dalam air panas lebih besar nilainya dibandingkan dalam air dingin karena terjadinya *swelling* ikatan pada selulosa kayu ataupun peregangan ikatan perekat-selulosa kayu sawit sehingga memungkinkan masuknya air lebih banyak. Hasil persentase pengembangan tebal ini memenuhi standar SNI-06-4567-1998 (1998) dengan persyaratan nilai pengembangan tebal  $<25\%$  dari tebal semula.

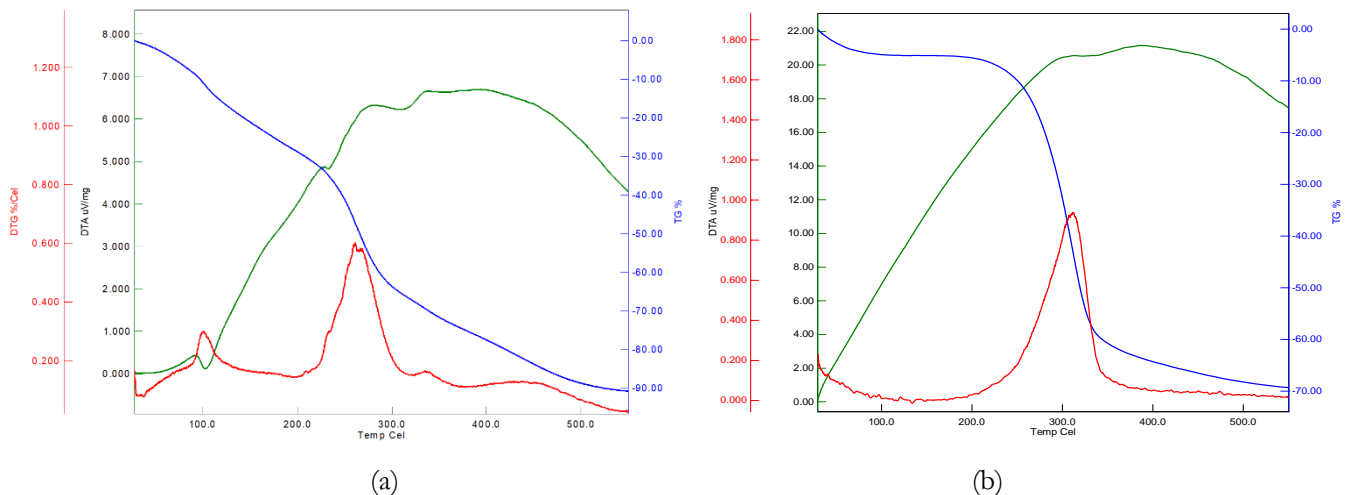
## 4. Emisi formaldehida

Emisi formaldehida dari produk kayu merupakan pengeluaran sebagian formaldehida bebas dari bahan yang mengandung formaldehida. Bila batang sawit hasil impregnasi digunakan di dalam ruangan, emisi formaldehida dapat mencemari lingkungan dan menimbulkan gangguan kesehatan pada selaput lendir mata, saluran pernafasan, dan menurunkan daya penciuman (Santoso 2001). Besarnya emisi formaldehida bergantung pada faktor eksternal seperti kelembaban, temperatur dan pertukaran udara dalam ruang, serta faktor internal seperti jenis kayu, komposisi bahan impregnan yang digunakan dan kondisi pembuatan. Sifat dari senyawa formaldehida yang mudah terhidrolisis atau larut dalam air menyebabkan senyawa tersebut tidak seluruhnya terikat pada senyawa fenolik. Selanjutnya, pada pengempaan panas, formaldehida yang larut dalam air tersebut menguap, yang menyebabkan emisi formaldehida ke udara bebas.

Nilai emisi formaldehida pada produk terimpregnasi memenuhi persyaratan SNI 03-2105-2006, yakni kurang dari  $0,5 \text{ mg/l}$  sehingga produk hasil impregnasi ini tergolong aman. Nilai emisi formaldehida di setiap bagian berbeda-beda. Perbedaan ini berhubungan dengan kerapatan batang sawit di setiap bagian. Batang sawit yang memiliki kerapatan tinggi, maka pori-pori batang sawit menjadi lebih kecil sehingga pengeluaran emisinya pun semakin kecil. Begitu pun sebaliknya bila kerapatan batang sawit rendah, pori-pori akan semakin besar, dan pengeluaran emisinya pun semakin besar.

## D. Analisis Thermal Kopolimer Impregnan dan Produk Batang Sawit Terimpregnasi

Peningkatan kualitas batang sawit produk impregnasi secara lebih jelas teridentifikasi dari analisis DTA, menggunakan laju kenaikan suhu  $30^\circ\text{C}/\text{menit}$  hingga suhu  $550^\circ\text{C}$  untuk menentukan suhu transisi gelas, titik leleh, dan titik kristalisasi pada kopolimer SRF (ekstrak Sawit, Resorsinol, Formaldehida). Hasil pengujian sifat termal disajikan pada Gambar 9.



**Gambar 9. Termogram kayu sawit (a) dan hasil impregnasinya (b)**  
**Figure 9. Thermogram of original oilpalm wood (a) and the impregnated product (b)**

Batang sawit kontrol menghasilkan transisi gelas ( $T_g$ ) pada suhu  $81,7^{\circ}\text{C}$  dan suhu terdekomposisi pada  $324,11^{\circ}\text{C}$  (Gambar 9a). Peningkatan suhu  $T_g$  pada batang sawit terimpregnasi dibandingkan kontrol mengindikasikan terbentuknya polimer yang lebih rigid dan bercabang akibat adanya ikatan silang yang terjadi antar komponen dalam impregnan atau impregnan dengan selulosa dari batang sawit sehingga struktur batang sawit pun menjadi lebih keras. Titik kristal termogram kontrol pada suhu  $324,11^{\circ}\text{C}$ , lebih rendah dibandingkan termogram batang kelapa sawit terimpregnasi ( $403,44^{\circ}\text{C}$ ) menunjukkan perlakuan impregnasi pada batang sawit meningkatkan kekerasan kayu sawit.

### III. KESIMPULAN

Ekstrak kulit batang sawit mengandung komponen polifenol yang memiliki afinitas kuat terhadap resorsinol dan formaldehida dengan katalis basa ( $\text{NaOH } 40\%$ ), sehingga dapat membentuk kopolimer yang dapat digunakan sebagai impregnan.

Senyawa fenolik ekstrak bertindak sebagai nukleofil yang bereaksi dengan formaldehida dalam suasana basa melibatkan reaksi metilasi dan kondensasi sehingga terbentuk jembatan metilen dan jembatan eter antar monomer penyusun kopolimer. Penambahan larutan resorsinol dalam formulasi pembuatan impregnan bertindak sebagai “aktivator” resorsinol yang ada dalam ekstrak sekaligus sebagai ‘catching agent’ dari formaldehida.

Penggunaan kopolimer dari ekstrak kulit batang sawit sebagai bio-impregnan dapat meningkatkan kualitas batang sawit pada semua bagian batang menjadi kelas kuat III dengan peningkatan kerapatan ( $>100\%$ ), kekerasan (4 kali), pengembangan tebal baik dalam air dingin maupun air mendidih

memenuhi persyaratan ( $<25\%$ ), serta emisi formaldehida yang memenuhi standar SNI 03-2105-2006.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDPKS) yang telah mendanai penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan atas fasilitas riset yang digunakan.

### KONTRIBUSI PENULIS

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

### DAFTAR PUSTAKA

- Akay, M. (2012). *Introduction to Polymer Science and Technology*, North Ireland, Ventus Publishing ApS.
- Cowd, M.A. (1991). *Kimia polimer*. Cetakan 1. Penerbit ITB, Bandung.
- Detlefsen, W. D. (2002). Phenolic resins: Some chemistry, technology and history. In: Chadhury, M, and Pocius, A.V. (Eds.), *Adhesive Science and Engineering – 2: Surfaces, Chemistry and Applications*. Elsevier, Amsterdam, Chap. 20. In: Chaudhury, M. & Pocius, A. V. (eds.). Elsevier B.V.
- Dunky, M. and Pizzi, A. (2002). *Wood Adhesives* In: Chadhury, M, and Pocius, A.V. (Eds.), *Adhesive Science and Engineering – 2:*

- Surfaces, Chemistry and Applications. Elsevier, Amsterdam, Chap. 23.
- Dungani, R., Karliati, T., Hadiyane, A. Tanaka, T., Yamada, M., Hartati, S., Dewi, M. and J. Malik, (2020a). Natural weathering's effect on mechanical properties of short cycle coconut trunk lumber impregnated using kraft black liquor. *BioResources*, 15(2), 3821-3838, doi: 10.15376/biores.15.2.3821-3838.
- Dungani, R., Karliati, T., Hadiyane, A., Tanaka, T., Yamada, M., Hartati, S. and Malik, J. (2020b). Using kraft black liquor on coconut wood (*Cocos nucifera*) through impregnation with vacuum pressure method. *Journal of the Indian Academy of Wood Science (Springer)*, doi: 10.1007/s13196-020-00257-x.
- Durairaj, R. B. (2003). *Resorcinol: Chemistry, Technology and Application*. Springer.
- Gardziella, A., Pilato, L. A. Knop, A. (2000). *Chemistry, Applications, Standardization, Safety and Ecology*, New York, Springer-Verlag.
- Hill, C. A. S. (2006). *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*, John Wiley & Sons, West Sussex, UK.
- Jessica (2018). Karakterisasi dan Pengembangan Tanin Ekstrak Kulit Mangium (*Acacia Mangium* Willd.) Sebagai Perekat Kayu Laminasi. (Disertasi), Sekolah Pasca Sarjana IPB University.
- Kajita, H., and Imamura, Y. (1991). Improvement of physical and biological properties of particleboards by impregnation with phenolic resin, *Wood Science and Technology*, 26(1), 63-70.
- Liu, X.; Wu, Y.; Zhang, X. and Zuo, Y. (2015). Study on the effect of organic additives and inorganic fillers on properties of sodium silicate wood adhesive modified by polyvinyl alcohol, *BioResources*, 10(1), p1528-1542.
- Malik, J. dan Santoso, A. (2005). Kekuatan lentur statis kayu kayu laminasi yang dirakit dari tiga jenis limbah kayu hasil hutan tanaman. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 23(5), 385-397. doi: 10.20886/jphh.2005.23.5.385-397.
- Malik, J. Santoso, A. Roliadi, H. (2005). Characteristics of laminated wood of logging waste of three natural forest wood species. *Journal of Forestry Research*, 2(1), 37-48, doi: 10.20886/ijfr.2005.2.1.37-48.
- Malik, J., Santoso, A., Mulyana, Y. and Ozarska, B. (2016). Characterization of Merbau Extractives as a Potential Wood-Impregnating Material. *BioResources*, 11(3), 7737-7753, doi: 10.15376/biores.11.3.7737-7753.
- Malik, J. Ozarska, B. and Santoso, A. (2018). Colour changes and morphological performance of Impregnated jabon wood using polymerised merbau Extractives. *Maderas-Cienc Tecnol*, 20(1), 91-102. doi: 10.4067/S0718-221X2018005001801.
- Malik, J. and Ozarska, B. (2019). Mechanical characteristics of impregnated white jabon wood (*Anthocephalus cadamba*) using merbau extractives and selected merbau extractives. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 21(4), 573-586, doi: 10.4067/S0718-221X2019005000413.
- Malik, J. (2019). Impregnasi: Teknologi Menguatkan Kayu. *Forest Digest*, Juli-September: 76-79. <https://www.forestdigest.com/detail/316/impregnasi-teknologi-menguatkan-kayu>.
- Malik, J., Santoso, A. and Ozarska, B. (2020). Polymerized merbau extractives as impregnating material for wood properties enhancement, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 935 012021, doi: 10.1088/1757-899X/935/1/012021.
- Malik, J. and Santoso, A. (2021). Physico-mechanical Characteristics Enhancement of Oil Palm Wood After Treatment with Polymerized Merbau Extractives Resin. *Advances in Engineering Research, Proceedings of the International Conference on Innovation in Science and Technology (ICIST 2020)*. Atlantis Press International B.V. doi: 10.2991/aer.k.211129.059.
- Ohmae, K., Minato, K., and Norimoto, M. (2002). The analysis of dimensional changes due to chemical treatments and water soaking for hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) wood, *Holzforchung*, 56(1), 98-102, doi: 10.1515/HF.2002.016
- Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI), (1961). Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia NI-5 PKKI 1961. Direktorat Penyelidikan Masalah Kayu, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Rachmawati, O., Sugita, P. dan Santoso, A. (2018). Sintesis perekat tannin resorsinol formaldehida dari ekstrak kulit pohon mangium untuk peningkatan kualitas batang sawit. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 36(1), 33-46, doi: 10.20886/jphh.2018.36.1.33-46.
- Ruhendi, S. (1999). Kualitas lignin resorsinol formaldehida berbahan dasar dari lindi hitam sebagai perekat kayu laminasi. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 8(2), 19-25.
- Ryu, J. Y., Takahashi, M., Imamura, Y., and Sato, T. (1991). Biological resistance of phenol-resin

- treated wood, *Mokuzaï Gakkaishi*, 37(9), 852-858.
- Ryu, J. Y., Imamura, Y., Takahashi, M., and Kajita, H. (1993). Effects of molecular weight and some other properties of resins on the biological resistance of phenolic resin treated wood. *Mokuzaï Gakkaishi*, 39(4), 486-492.
- Sakai, K., Matsunaga, M., Minato, K., and Nakatsubo, F. (1999). Effects of impregnation of simple phenolic and natural polycyclic compounds on physical properties of wood, *Journal of Wood Science*, 45(3), 227-232. doi: 10.1007/BF01177730
- Santoso, A. (2001) Penelaahan pengaruh waktu pengkondisian dan penggunaan tanin pada contoh uji terhadap emisi formaldehida kayu lapis. Makalah Falsafah Sains (PPs 702) Program Pasca Sarjana/S3 Institut Pertanian Bogor. [https://www.rudyc.com/PPS702-ipb/02201/adi\\_santoso.htm](https://www.rudyc.com/PPS702-ipb/02201/adi_santoso.htm). Diakses 30 Januari 2022.
- Santoso, A. (2004). Pemanfaatan lignin dari lindi hitam untuk pembuatan kopolimer lignin resorsinol formaldehida sebagai perekat kayu lamina. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 22(3), 143-153.
- Santoso A., Rachman, O. & Malik, J. (2005). Kualitas rekatan papan sambung pada lima jenis kayu menggunakan perekat berbahan dasar lignin dan tannin. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 23(3), 187-195. doi: 10.20886/jphh.2005.23.3.187-195.
- Santoso, A. (2011). Pemanfaatan lignin kraft dari lindi hitam sebagai perekat kayu komposit. *Sains Natural*, 1(2), 135-139.
- Santoso, A. dan Abdurachman. (2016). Karakteristik ekstrak kulit kayu mahoni sebagai bahan perekat kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 34(4), 269-284. Doi: 10.20886/jphh.2016.34.4.269-284.
- Santoso, A., Basri, E. dan Balfas, J. (2020). Kualitas kayu laminasi dengan perekat tanin dari ekstrak kulit kayu mahoni. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 38(3), 151-159, doi: 10.20886/jphh.2020.38.3.151-150.
- Santoso, A. Sudohadi, Y. and Malik, J. (2014). Composite Flooring Quality of Combined Wood Species Using Adhesive from Merbau Wood Extract. *Forest Products Journal*, 64(5/6), 179-186, doi: 10.13073/FPJ-D-13-00051.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), (2019). SNI 8853:2019 Metode uji untuk contoh kecil kayu bebas cacat (ASTM D143 – 14, IDT). Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), (1994). SNI-03-3257-1994 Mutu dan Ukuran Kayu Bangunan. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), (1998). SNI-06-4567-1998 Fenol Formadehida Cair Untuk Perekat Kayu Lapis. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), (2006). SNI-03-2105-2006. Papan Partikel Syarat Emisi Formaldehida. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), (2006). SNI 01-7206-2006. Uji Emisi Formaldehida Kayu Metoda Analisis Gas. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), (2010). SNI ISO 1683:2010. Panel Kayu- Penentuan Pengembangan Tebal Setelah Direndam dalam Air. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Supriadi, A., Rachman, O., dan Sarwono, E. (1999). Karakteristik dolok dan sifat penggergajian kayu sawit (*Elaeis guineensis* Jack). *Buletin Penelitian Hasil Hutan*, 17(1), 1-20. doi: 10.20886/jphh.1999.17.1.1-20
- Tohmura, S.I. (1998). Acceleration of the cure of phenolic resin adhesives VII: Influence of extractives of merbau wood on bonding. *Journal of Wood Science*, 44, 211-216.
- Yazaki Y, Collins PJ. (1994). Wood adhesives based on tannin extracts from barks of some pine and spruce species. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 52(9), 307-310.
- Yusfreirosyid KI. (2001). Perbaikan kualitas kayu kelapa sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.) dengan metode "Compress". (Skripsi), Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.