



Editor :

Apriwi Zulfetri, Nissa Nurfajrin Solihat,
Riska Surya Ningrum, Putri Amanda,
Lukmanul Hakim Zaini, dan Dian Anggraini Indrawan



PROSIDING ILMIAH SEMINAR NASIONAL LIGNOSELULOSA 2020

TANTANGAN DAN PELUANG INDUSTRIALISASI PRODUK BERBASIS LIGNOSELULOSA



PROSIDING ILMIAH SEMINAR NASIONAL LIGNOSELULOSA 2020

**TANTANGAN DAN PELUANG INDUSTRIALISASI PRODUK
BERBASIS LIGNOSELULOSA**

Dilarang mereproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian dari buku ini dalam bentuk atau cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

© Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang No. 28 Tahun 2014

All Rights Reserved

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Editor :
Apriwi Zulfitri, Nissa Nurfajrin Solihat,
Riska Surya Ningrum, Putri Amanda,
Lukmanul Hakim Zaini, dan Dian Anggraini Indrawan

PROSIDING ILMIAH SEMINAR NASIONAL LIGNOSELULOSA 2020

**TANTANGAN DAN PELUANG INDUSTRIALISASI PRODUK
BERBASIS LIGNOSELULOSA**

LIPI Press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2021 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
Pusat Penelitian Biomaterial

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Prosiding Ilmiah Seminar Nasional Lignoselulosa 2020: Tantangan dan Peluang Industrialisasi Produk Berbasis Lignoselulosa/Apriwi Zulfitri, Nissa Nurfajrin Solihat, Riska Surya Ningrum, Putri Amanda, Lukmanul Hakim Zaini, dan Dian Anggraini Indrawan (Ed.)–Jakarta: LIPI Press, 2021.

xv hlm. + 129 hlm.; 14,8 × 21 cm

ISBN: 978-602-496-262-3 (*e-book*)

- | | |
|------------------|---------------|
| 1. Lignoselulosa | 2. Bioenergi |
| 3. Bioproduct | 4. Lingkungan |

621.042

Copy editor : Noviasuti Putri Indrasari dan Risma Wahyu H.
Proofreader : Sarwendah Puspita Dewi dan Tantrina Dwi Aprianita
Penata isi : Meita Safitri
Desainer sampul : Meita Safitri

Cetakan Pertama : Desember 2021



Diterbitkan oleh:
LIPI Press, anggota Ikapi
Gedung PDDI LIPI, Lantai 6
Jln. Jend. Gatot Subroto 10, Jakarta 12710
Telp.: (021) 573 3465
e-mail: press@mail.lipi.go.id
website: lipipress.lipi.go.id

 LIPI Press
 @lipi_press
 lipi.press



PROSIDING ILMIAH SEMINAR NASIONAL LIGNOSELULOSA 2020
Tantangan dan Peluang Industrialisasi Produk Berbasis Lignoselulosa

Susunan Panitia:

Pelindung	: Kepala Pusat Penelitian Biomaterial LIPI
Pembina	: Prof. Dr. Bambang Subiyanto, M.Agr. Prof. Dr. Sulaeman Yusuf, M.Agr. Prof. Dr. Subyakto, M.Sc. Prof. Dr. Ir. Euis Hermiati, M.Sc. Prof. Dr. Wahyu Dwianto, M.Agr.
Ketua Pelaksana	: Dr. Muhammad Adly Rahandi Lubis
Wakil Ketua	: Danang Sudarwoko Adi, M.Sc.
Sekretaris	: Bernadeta Ayu Widyaningrum, M.Si.
Bendahara	: Dwi Ajias Pramasari, M.Si. Fahriya Puspita Sari, S.T.
Kesekretariatan	: Resti Marlina, M.Si. Dimas Triwibowo, S.T.
Program	: Apriwi Zulfitri, M.Sc. Nissa Nurfajrin Solihat, M.Sc. Prabu Satria Sejati, M.Si. Riska Surya Ningrum, M.Si. Putri Amanda, M.Si. Lukmanul Hakim Zaini, S.Hut., M.Sc. (IPB University) Dian Anggraini Indrawan, S.Hut., M.M. (FORDA)
<i>Sponsorship</i>	: Kurnia Wiji Prasetyo, M.Si. Deni Zulfiana, M.Si. Dian Burhani, S.T., M.T. Kharisma Panji Ramadhan, S.Si. Maulida Oktaviani, M.Si.
Logistik dan Transportasi	: Oktan Dwi Nurhayat, M.Si. Adik Bahanawan, M.Si. Deni Purnomo, S.T. Raden Budi Permana Laksana, S.Si.
Konsumsi	: Erlin Herlinawati, S.E. Linda Kriswati, S.E.
Dokumentasi dan Publikasi	: Eko Widodo, S.T. Agus Mudo Prasetyo, S.T. Fazhar Akbar



Steering Committee

Dr. Widya Fatriasari, S.Hut., M.M.
Dr. Dede Heri Yuli yanto, S.Si., M.Agr.
Nanang Masruchin, Ph.D.
Dr. Didi Tarmadi, M.Si.
Dr. Ismail Budiman, S.Hut., M.Si.
Dr. Sukma Surya Kusumah, S.Hut., M.Si.
Dr. Riksfardini Annisa Ermawar, S.Si., M.Bio.
Sandi Sulfiandi, Ph.D.
Yusup Amin, S.Hut., M.Si.

Dewan Editor

Apriwi Zulfitri, M.Sc.
Nissa Nurfaejrin Solihat, M.Sc.
Riska Surya Ningrum, M.Si.
Putri Amanda, M.Si.
Lukmanul Hakim Zaini, S.Hut., M.Sc. (IPB University)
Dian Anggraini Indrawan, S.Hut., M.M. (FORDA)

Penelaah/Mitra Bestari

Dr. Saptadi Darmawan	Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan
Dr. Sukma Surya Kusumah	Pusat Penelitian Biomaterial
Dr. Widya Fatriasari	Pusat Penelitian Biomaterial
Dr. Rida Oktorida Khastini, S.Si., M.Si.	Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Dr. Dede Hermawan	IPB University
Dr. Rudi Dungani	Institut Teknologi Bandung
Nanang Masruchin, Ph.D.	Pusat Penelitian Biomaterial
Muhammad Adly Rahandi Lubis. Ph.D.	Pusat Penelitian Biomaterial
Anis S. Lestari, M.S.	Pusat Penelitian Biomaterial
Arif Nuryawan Ph.D.	Universitas Sumatra Utara
Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc., Ph.D.	Universitas Lampung
Tomy Listyanto, S.Hut., M.Env.Sc., Ph.D.	Universitas Gadjah Mada
Apri Utami Parta Santi, M.Si.	Universitas Muhammadiyah Jakarta

Susunan lengkap kepanitiaian Seminar Lignoselulosa 2020 dapat di telusur pada Surat Keputusan Kepala Pusat Penelitian Biomaterial LIPI No. B-415/IPH./HK.01.03/VI/2020



Daftar Isi

Pengantar Penerbit	ix
Kata Pengantar	xi
Susunan Acara	xiii
Abstrak Keynote Speaker	
Abstrak Keynote Speaker	
Current Situation of Furniture/Wood Industry in China & Development of Saccharide-Based Adhesive	
<i>Zhongyuan Zhao</i>	1
Success Story Sepeda Kayu	
<i>Wahyu Dwiwanto, Teguh Darmawan, Jayadi, Ahmad Syahrir, Sudarmanto, Saepulloh, Fazhar Akbar, Yusup Amin, Dimas Triwibowo, Mohamad Gopar, dan Ikrima R. Al Zanki</i>	3
Qua Vadis Sertifikasi dan Pengujian Berbasis Lignoselulosa di Indonesia	
<i>Adis Imam Munandar</i>	5
Tantangan dalam Industrialisasi dan Komersialisasi Kemasan Pangan Berbahan Alam Limbah Perkebunan & Produk Tepat Guna	
<i>Muhammad Fadhlan Makarim</i>	7
Industrialisasi Produk Inovatif Berbasis bambu di Indonesia	
<i>Syamsurizal Munaf</i>	9
Makalah Lengkap Seminar Nasional Lignoselulosa 2020	
Karakterisasi Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit yang Diproduksi dengan Teknik Termal dan Non-termal	
<i>Kendri Wahyuningsih, Evi Oktavia, dan Evi Savitri Iriani</i>	13
Pemanfaatan Kayu Mahang sebagai Sumber Lignoselulosa Baru pada Fabrikasi Serat Nanoselulosa	
<i>EEko Sutrisno, Surawut Chuangchote, dan Supachok Tanpichai</i>	23
Optimization of Microwave-assisted Maleic Acid Pretreatment of Sugarcane Trash by Response Surface Methodology	
<i>Euis Hermiati, Riksfardini Annisa Ermawar, Raden Permana Budi Laksana, and Siti Mardiah</i>	31
Pengaruh Cendawan Askomicetes terhadap Kekuatan Tarik Vinir Kayu Karet Terimpregnasi	
<i>Ihak Sumardi, Noor Rahmawati, dan Rudi Dungani</i>	41
Pemanfaatan Fungisida Nabati Berbasis Minyak Asiri Kayu Putih dalam Pengendalian Penyakit Busuk Buah Kakao	
<i>Dita Meisyara, Titik Kartika, Deni Zulfiana, dan Anugerah Fajar</i>	51
Capaian Seminar Nasional Lignoselulosa Pusat Penelitian Biomaterial LIPI dalam Mewadahi Penelitian Material Berbasis Lignoselulosa di Indonesia	
<i>Indira Riastiwi, Kusuma Rahmawati, Yasper Michael Mambrasar, dan I Putu Gede P. Damayanto</i>	57



<i>Influence of Formaldehyde to Urea Mole Ratios on Molecular Weight Distribution of Low Molar Ratio Urea-Formaldehyde Resins</i>	
<i>Muhammad Adly Rahandi Lubis, Widya Fatriasari, Maya Ismayati, Raden Permana Budi Laksana, Faizatul Falah, Nissa Nurfajrin Solihat and Fahriya Puspita Sari</i>	69
<i>Kualitas Kayu Laminasi Menggunakan Perekat Isosianat</i>	
<i>Eka Mulya Alamsyah, Yoyo Suhaya, Sutrisno dan Tyana Solichah Ekaputri</i>	77
<i>Performance of Polyethylene Glycol/Succinic Anhydride-Compregnated Woods Using Three Different Methods</i>	
<i>Sarah Augustina, Imam Wahyudi, I Wayan Darmawan, Jamaludin Malik</i>	85
<i>Effect of Steam Addition on Mild Pyrolysis Process on Dimensional Stability of Fast-Growing Teakwood</i>	
<i>Aprilia Kartikawati, Imam Wahyudi, Gustan Pari, and Lina Karlinasari</i>	97
<i>Pengaruh Penggunaan Fly Ash terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Beton Pori</i>	
<i>Agung Sumarno, Ismail Budiman, Agus Mudo Prasetyo, Fazhar Akbar, Maidina, Eko Widodo, Triastuti, Ananto Nugroho, Bambang Subiyanto</i>	107
<i>Sifat Fisika dan Mekanika Jati Platinum Berumur 6 Tahun pada Arah Radial dan Aksial</i>	
<i>Danang Sudarwoko Adi, Dwi Ajias Pram asari dan Wahyu Dwianto</i>	113
<i>Optimum Proportion of Extender and Hardener Added in Tannin Formaldehyde Adhesive for Laminated Wood</i>	
<i>Adi Santoso and Jamaludin Malik</i>	121



Pengantar Penerbit

Sebagai penerbit ilmiah, LIPI Press mempunyai tanggung jawab untuk terus berupaya menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Upaya tersebut merupakan salah satu perwujudan tugas LIPI Press untuk turut serta membangun sumber daya manusia unggul dan mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Prosiding Ilmiah Seminar Nasional Lignoselulosa 2020 ini diterbitkan sebagai diseminasi hasil-hasil penelitian di Pusat Penelitian Biomaterial LIPI terkait penelitian, pengembangan, dan pengkajian bahan bioproduk yang bersumber dari lignoselulosa. Seminar Nasional Lignoselulosa 2020 mengangkat tema “Tantangan dan Peluang Industrialisasi Produk Berbasis Lignoselulosa”, dengan beragam bahasan di antaranya bioproduk, material, bioenergi, dan lingkungan.

Harapan kami penerbitan prosiding ini dapat bermanfaat untuk masyarakat yang mencari acuan dalam pengembangan bioproduk dari lignoselulosa. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini.

LIPI Press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Kata Pengantar

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat-Nya sehingga *Prosiding Ilmiah Seminar Nasional Lignoselulosa 2020* dapat terselesaikan tepat waktu. Tahun 2020 merupakan tahun kelima penyelenggaraan diseminasi hasil penelitian di Pusat Penelitian Biomaterial LIPI terkait dengan penelitian, pengembangan, dan pengkajian bahan bioproduk yang bersumber dari lignoselulosa, yang didukung penuh oleh Pusat Unggulan IPTEK (PUI) Lignoselulosa.

Pada Prosiding Seminar Nasional ini, disajikan sebanyak 13 makalah lengkap dari partisipasi aktif peserta dari kalangan peneliti, akademisi, dan praktisi industri. Selain itu, sebanyak 5 buah abstrak dari pemakalah kunci (*keynote speaker*) Seminar Lignoselulosa juga disajikan untuk memberikan gambaran perkembangan bioproduk berbasis lignoselulosa di Indonesia.

Topik bahasan makalah beragam, tetapi masih dalam bidang lingkup lignoselulosa, yaitu bioproduk, material, bioenergi dan lingkungan. Semua naskah yang masuk adalah naskah yang dipresentasikan secara presentasi poster (sebanyak 23 poster), kemudian makalah lengkap yang diajukan oleh peserta ke panitia seminar tersebut di-review oleh *peer-reviewer*. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini, kami mengucapkan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para Mitra Bestari yang bersedia mengoreksi makalah-makalah pada prosiding ini.

Kami berharap prosiding ilmiah ini mampu menjadi rujukan terkait pengembangan bioproduk dari lignoselulosa. Akhir kata, tiada ada gading yang tak retak, kami menyampaikan permohonan maaf apabila dalam penyampaian prosiding seminar ini, masih terdapat kekurangan.

Cibinong, 28 April 2021

Tim Editor

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Susunan Acara

MC: Dian Burhani, M.T.

Main Room

08.00–08.03	Pembukaan dan pembacaan tata tertib oleh MC
08.03–08.05	Laporan ketua pelaksana
08.05–08.15	<i>Welcoming speech</i> dan pembukaan seminar Dr. Iman Hidayat (Kepala Pusat Penelitian Biomaterial, LIPI)
08.15–08.35	<i>Virtual Touring</i> iLab Dr. Riksfardini A. Ermawar
08.40–09.10	Pembicara Kunci Dr. Zhongyuan Zhao (Collage and Science Nanjing Forestry University People's Republic of China “Current situation of furniture/wood industry in China & Development of saccharide-based adhesive”)
09.15–09.20	Pembagian Zoom room

Zoom Room 1

Tema	: Langkah Hilirisasi Produk Berbasis Lignoselulosa di Indonesia
Moderator	: Dr. Maya Ismayati
09.25–09.50	Pembicara 1 Prof (Ris). Dr. Ir. Wahyu Dwianto, M.Agr. (Pusat Penelitian Biomaterial LIPI) <i>Success Story</i> Sepeda Kayu
09.55–10.20	Pembicara 2 Dr. Adis Imam Munandar (Direktur eksekutif Laboratorium PT MUTU International) Qua Vadis Sertifikasi dan Pengujian Berbasis Lignoselulosa di Indonesia
10.25–10.40	Diskusi
10.45–11.10	<i>Flash talk</i> “Presentasi Poster“
11.10–11.15	Seluruh peserta kembali ke <i>Main room</i>

Zoom Room 2

Tema	: Inovasi Produk Berbasis Lignoselulosa di Indonesia
Moderator	: Dr. Ismail Budiman
09.25–09.50	Pembicara 1 M. Fadhlán Makarim, S.Ds., M.BA (Chairman PT Jantera Garda Futura) Tantangan dalam Industrialisasi dan Komersialisasi Kemasan Pangan Berbahan Alam Limbah Perkebunan & Produk Tepat Guna
09.55–10.20	Pembicara 2 Syamsurizal Munaf, S.T., M.BA (Chairman PT Indonesia Hijau Dwidaya) Industrialisasi Produk Inovatif Berbasis Bambu di Indonesia



10.25–10.40	Diskusi
10.45–11.10	Flash talk “Presentasi Poster“
11.10–11.15	Seluruh peserta kembali ke Main room

PENUTUPAN

11.20–11.40	<i>Doorprize</i> Pengumuman <i>Best Poster</i> Penutupan oleh MC
--------------------	--

Abstrak Keynote Speaker

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Current Situation of Furniture/Wood Industry in China & Development of Saccharide-Based Adhesive

Zhongyuan Zhao

College of Furnishings and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing, China

E-mail: zhaozy@njfu.edu.cn

ABSTRACT

In this research, the current situation of furniture and wood industry in China has been introduced. The data shows that customizing furniture has been popular in China. Comparing with the traditional furniture industry, this model means that the dimension of panels, the surface decoration of panels, and styles of the furniture for each customer are different. Customizing furniture does not only contain panel furniture, but also solid wood furniture. This model conforms to the current Chinese living style (individuation and differentiation), and it is beneficial to promote the domestic demand. Along with the growth of furniture industry, the output of wood-based materials in China also shows an increasing trend during the past 10 years. China has been the biggest manufacturing country of wood-based materials in the world. The adhesive plays an important role in the manufacture of wood-based materials, and more and more customers pay attention to the nontoxic and eco-friendly adhesives. Therefore, the development of the producibility of wood adhesives is a significant topic for researchers. This research also introduced the development of saccharide-based adhesives and discussed the prospect of this adhesive system.

Keywords: furniture industry, wood industry, saccharide-based adhesive

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Success Story Sepeda Kayu

Wahyu Dwianto^{1*}, Teguh Darmawan¹, Jayadi¹, Ahmad Syahrir¹, Sudarmanto¹, Saepulloh¹, Fazhar Akbar¹, Yusup Amin¹, Dimas Triwibowo¹, Mohamad Gopar¹, dan Ikrima R. Al Zanki²

¹Pusat Penelitian Biomaterial LIPI

²Mitra PT Panel Agro Lestari

E-mail: wahyudwianto@yahoo.com

ABSTRAK

Penerapan teknik pelengkungan kayu dapat meningkatkan nilai tambah pemanfaatan kayu dan diharapkan dapat mengatasi pemborosan bahan baku pada pembuatan produk-produk kayu yang berbentuk lengkung. Namun, penerapan tersebut memerlukan alat pres yang dilengkapi dengan komponen pemanas dan hanya dapat dibuat dengan radius lengkung tertentu. Oleh karena itu, teknologi pelengkungan *Laminated Veneer Lumber* (LVL) lebih berpeluang untuk dikembangkan menjadi produk-produk inovatif karena hanya membutuhkan alat klem yang dibuat dengan radius sesuai keinginan dan dapat direkatkan dengan perekat yang tanpa menggunakan panas. Melalui kegiatan peningkatan kapasitas produksi yang didanai oleh STP pada 2018, rangka sepeda dari LVL lengkung dikembangkan bersama mitra swasta. Kegiatan ini menghasilkan sedikitnya 4 tipe sepeda, yaitu *Manual*, *Electric Fixie*, *Mountain Bike*, dan *Minivello*. Pengembangan inovasi baru ini dimulai dari penelitian dasar yang mendukung *scientific*-nya, proses pembuatan prototipenya, hingga promosi melalui pameran-pameran. Walaupun telah dilisensikan pada 5 Maret 2020, produk tersebut masih pada tahap penjualan berdasarkan pemesanan dan membutuhkan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan kualitas, kenyamanan dan *durability*, serta inovasi desain-desain yang baru. Selain itu, mitra swasta dan pemerintah perlu dilibatkan agar hasil-hasil penelitian dapat berkembang dengan baik dan dimanfaatkan oleh masyarakat.

Kata kunci: desain industri, LVL (*Laminated Veneer Lumber*), teknik pelengkungan kayu, *viscoelastic*

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Qua Vadis Sertifikasi dan Pengujian Berbasis Lignoselulosa di Indonesia

Adis Imam Munandar

Mutu International, Laboratory and Testing Department—PT Mutuagung Lestari, Depok, Indonesia
School of Strategic and Global Studies, Universitas Indonesia
E-mail: adis@mutucertification.com, adis.imam@ui.ac.id

ABSTRAK

Globalisasi dan perdagangan internasional menjadi sertifikasi dan pengujian penting bagi produk nasional. Di satu sisi, hal tersebut merupakan peningkatan mutu suatu produk. Di sisi lain, hal itu merupakan hambatan non-tarif bagi produk biomaterial. Kajian ini bertujuan mengeksplorasi arah sertifikasi dan pengujian lignoselulosa di Indonesia. Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif dari data-data sekunder dan *literature review*. Hasil kajian menunjukkan bahwa kebutuhan sertifikasi dan pengujian tren meningkat. Ekspor HS code 44 produk kayu dan turunan sebesar 2,757% dari total dunia, sedangkan impor sebesar 0,91%. Hasil tersebut masih positif, tetapi komoditas ekspor masih berupa bahan mentah atau ½ jadi dan masih sedikit produk final. Salah satu cara meningkatkan *competitive advantage* ialah dengan kolaborasi dalam sistem pengujian dan sertifikasi sehingga bisa berdaya saing. Ada tiga rekomendasi yang perlu dilakukan oleh *stakeholder* yang terlibat, yaitu 1) perlu membangun ekosistem *edge* pada pengujian sertifikasi dan pengujian, 2) perlu dukungan pemerintah dalam upaya *non-tariff barrier* untuk melindungi industri dalam negeri, dan 3) memperkuat kerja sama dan *sharing resources* pada pengujian dan sertifikasi yang makin kompleks dan beragam.

Kata kunci: *competitive advantage*, *ecosystem edge*, mutu, pengujian, sertifikasi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tantangan dalam Industrialisasi dan Komersialisasi Kemasan Pangan Berbahan Alam Limbah Perkebunan & Produk Tepat Guna

Muhammad Fadhlán Makarim

Chairman of PT Jentera Garda Futura (Plépah)

E-mail: fadhlanalan@gmail.com

ABSTRAK

Saat ini, sampah menjadi permasalahan global yang harus diselesaikan. Banyaknya sampah di laut disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain tingkat konsumerisme yang tinggi dan umur material yang tidak sesuai dengan seharusnya. Di satu sisi, Indonesia memiliki berbagai macam perkebunan yang tidak semua bagian dari komoditasnya dimanfaatkan dan menghasilkan limbah perkebunan. Di sisi lain, pasar membutuhkan produk sehari-hari yang ramah lingkungan. Limbah dari hasil perkebunan dapat menjadi salah satu solusi untuk permasalahan tersebut dengan membuat material baru yang lebih ramah lingkungan. Tantangan dalam membuat suatu produk dengan material yang baru tidak sekadar untuk meneliti material dan membuat produk, tetapi juga untuk meneliti produk seperti apa yang dibutuhkan dan edukasi pasar. Edukasi menjadi salah satu faktor utama ketika mengembangkan material baru dari limbah perkebunan. Tidak hanya edukasi kepada pasar tentang material baru, tetapi juga edukasi kepada para petani yang berhubungan langsung dengan limbah perkebunan. Petani, peneliti, pengusaha, dan pasar adalah kunci utama dalam industrialisasi dan komersialisasi produk berbahan alam. Jika semua kunci tersebut sudah dapat terintegrasi, potensi untuk pengembangan produk berbahan alam akan sangat besar.

Kata kunci: limbah perkebunan, material alam, produk ramah lingkungan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Industrialisasi Produk Inovatif Berbasis bambu di Indonesia

Syamsurizal Munaf

Chairman PT Indonesia Hijau Dwidaya

Terlahir dari semangat murni dan cinta lingkungan.

Dalam kehidupan kita saat ini, kita hidup di era eksploitasi lingkungan yang sudah pada tahap sangat memprihatinkan dimana manusia melahap tanah dengan sporadis mengejar kemajuan.

Degradasi lingkungan tidak terelakan lagi, kerusakan terjadi di mana-mana, yang tertinggal adalah sebuah warisan lingkungan yang sangat menyedihkan bagi generasi anak-anak kita.

Bambulogy® adalah jawaban untuk ancaman yang makin meningkat terhadap masa depan anak-anak kita. Dengan menggunakan produk Bambulogy® kita dapat membalikkan jalan suram yang sedang ditempuh anak-anak kita menuju masa depan mereka yang lebih baik.

Dengan Bambulogy® kita masih bisa maju, kita masih bisa mencapai kemewahan yang kita inginkan. Dengan Bambulogy®, manusia dapat makmur tanpa pengorbanan lingkungan sehingga menutup celah antara ekologi dan ekonomi.

Pada akhirnya, Bambulogy® dapat mengantarkan era harmoni baru bagi banyak generasi mendatang. Dalam Bambulogy® kami memercayai masa depan kami. Kami menjaga masa depan. Kami membangun masa depan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

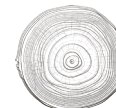


Makalah Lengkap Seminar Nasional Lignoselulosa 2020

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Karakterisasi Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit yang Diproduksi dengan Teknik Termal dan Non-termal

Kendri Wahyuningsih¹, Evi Oktavia², dan Evi Savitri Iriani*

¹Balai Besar Litbang Pascapanen Kementerian Pertanian

Jln. Tentara Pelajar No.12, Bogor, Jawa Barat, 16122

²Balai Besar Pulp dan Kertas Kementerian Perindustrian

Jln. Raya Dayeuhkolot No.132, Bandung, Jawa Barat, 40258

E-mail: evisavitri1601@gmail.com

ABSTRACT

Oil palm empty fruit bunches (OPEFB) are a potential biomass as a source of celluloses. However, the delignification stage in the cellulose production process takes a long time, so it requires an economical and efficient technology in a shorter time. The purpose of this study was to determine the physico-chemical characteristics of celluloses produced by thermal-modified and non-thermal techniques. The experiments were carried out using a completely randomized design with three treatments and three replications. The cooking treatment used 10% NaOH solution which included (i) A: thermal treatment for 2 hours at 120°C, (ii) B: thermal-modified treatment for 15 minutes at 118°C using an autoclave, and (iii) C: non-thermal treatment at room temperature for 24 hours. Characterization of OPEFB cellulose was carried out on physico-chemical properties which included moisture content, colour, fibre length and diameter, lignin content, cellulose content, freeness, crystallinity, and morphological structure. The results showed that the thermal-autoclave treatment was a more effective process in producing cellulose B with better performance than A and C. Cellulose B had cellulose content of 81.78%, lignin content 21.26%, fibre length 1.12 mm, fibre diameter 13.16 mm, freeness 665 ml CSF, and crystallinity 57.9%.

Keywords: Cellulose, Thermal-Autoclave Treatment, Nonthermal Treatment

ABSTRAK

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan biomassa yang potensial sebagai sumber selulosa. Namun, tahap delignifikasi pada proses produksi selulosa berlangsung dalam waktu panjang sehingga diperlukan suatu teknologi yang ekonomis dan efisien dalam waktu yang lebih pendek. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik fisiko-kimia selulosa TKKS yang dihasilkan melalui teknik kimia-mekanis secara termal termodifikasi dan non-termal. Percobaan dilakukan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 3 perlakuan dan tiga kali ulangan. Perlakuan pemasakan menggunakan larutan NaOH 10% yang meliputi (i) A: perlakuan termal selama 2 jam pada suhu 120°C, (ii) B: perlakuan termal selama 15 menit pada suhu 118°C menggunakan autoclave, dan (iii) C: perlakuan non-termal pada suhu ruang selama 24 jam. Karakterisasi selulosa TKKS dilakukan terhadap sifat fisiko-kimia yang meliputi kadar air, warna, panjang dan diameter serat, kadar lignin, kadar selulosa, freeness, kristalinitas, dan struktur morfologi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan termal-*autoclave* merupakan proses yang lebih efektif dalam menghasilkan selulosa B dengan performa yang lebih baik dibandingkan A dan C. Selulosa TKKS B memiliki kadar selulosa 81,78%, kadar lignin 21,26%, panjang serat 1,12 mm, diameter serat 13,16 mm, freeness 665 ml CSF, dan kristalinitas 57,9%.

Kata Kunci: Selulosa, Perlakuan Termal-Autoclave, Perlakuan Non-termal

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara penghasil kelapa sawit utama di dunia diikuti oleh Malaysia (Risnandar, 2017). Berdasarkan Badan Pusat Statistik pada kurun waktu 2018-2020, Indonesia setiap tahun mengalami peningkatan luas area tanam kelapa sawit dengan estimasi luas area tanam kelapa sawit sebesar 14.858.300 ha (Badan Pusat Statistik RI, 2020). Besarnya luas tanam kelapa sawit tersebut menunjukkan bahwa proses pengolahan pascapanen akan menghasilkan produk-produk samping selain minyak



kelapa sawit dalam jumlah melimpah. Salah satu produk samping dari proses pengolahan pascapanen kelapa sawit adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). Jumlah biomassa TKKS yang melimpah dan ketersediaannya berkesinambungan di Indonesia, telah memberikan peluang pemanfaatannya yang besar dalam memberikan nilai tambah bagi industri perkebunan sawit, baik milik rakyat, pemerintah maupun swasta. Pada tahun 2013 saja, Indonesia telah menghasilkan limbah TKKS sekitar 25 juta ton (Herawan dan Rivani dalam Erwinsyah dkk., 2015).

Biomassa TKKS mengandung selulosa yang dapat memberikan nilai ekonomi tinggi. Ketersediaan biomassa ini juga sangat melimpah, hampir sama dengan rendemen minyak sawit mentah (Erwinsyah-dkk., 2015). Selain itu, harganya murah, tidak bersaing dengan kebutuhan pangan karena tidak dapat dimakan (Gunam dkk., 2011), memiliki sifat dapat diperbaharui, dapat didaur ulang, terbiodegradasi oleh lingkungan dan sifat mekanis yang baik (Subyakto dkk., 2009). Selulosa dari biomassa ini dapat dimanfaatkan secara luas, seperti pada industri oleokimia (Chang 2014), kertas (Syamsu dkk., 2014), komposit (Etikaningrum dkk., 2016), kosmetik, farmasi (Widia dkk., 2017) dan biofuel (Derman dkk., 2018). Pemanfaatan selulosa dalam bentuk mikrokristalin banyak dijumpai di bidang farmasetik sebagai bahan pengisi tablet, pengikat, penghancur tablet, mempercepat sistem penyampaian obat dan pembawa padatan yang tidak larut air (Widia dkk., 2017). Faizi dkk., (2017) juga telah memanfaatkan serat TKKS sebagai material komposit untuk meningkatkan sifat mekanis polimer. Hal tersebut karena selulosa memiliki sifat mekanis yang baik dalam memperkuat suatu material dan bersifat ramah lingkungan. Selulosa adalah polimer alam yang terdiri atas unsur-unsur karbon, oksigen dan hidrogen dalam bentuk monomer-monomer glukosa ($C_6H_{11}O_5$).

Akan tetapi selulosa yang terdapat pada serat kayu berlignoselulosa ini terikat kuat oleh lignin, hemiselulosa, lemak, dan material lainnya. Adanya lignin yang terikat kuat pada selulosa menyebabkan selulosa memiliki warna cenderung gelap atau kuning, tidak dapat larut dalam air, kualitas tidak seragam, kekuatan fisik rendah, struktur fisiknya sangat kaku dan keras, serta kestabilan yang rendah terhadap panas (Subyakto dkk., 2009; Azhari dkk., 2014; Gunam dkk., 2011). Dengan demikian diperlukan perlakuan untuk melepaskan lignin yang terikat kuat pada selulosa. Perlakuan yang selama ini telah dilakukan adalah secara kimia-mekanis. Proses kimiawi ada berbagai macam, seperti proses alkali, proses sulfat, proses sulfit, *organosolve pulping*, *ionic liquid* dan klorinasi. Keuntungan proses kimiawi ini antara lain dapat dilakukan pada semua jenis kayu, kekuatan dan kualitas *pulp* selulosa yang diperoleh tinggi. Proses kimiawi ini mampu melepaskan lignin, hemiselulosa, dan material lainnya sehingga diperoleh selulosa dengan kemurnian tinggi, sifat fisika, mekanis, dan termal menjadi lebih baik. Seperti perlakuan serat ampas tebu melalui teknik semi-kimia, campuran NaOH 5% dan H_2O_2 5% digunakan untuk memasak serat selama 2 jam pada suhu $75^\circ C$ kemudian dilanjutkan perlakuan mekanis dengan cara diblender. Serat selulosa berukuran mikro yang diperoleh memiliki sifat termal lebih baik dan kristalinitasnya meningkat menjadi 77,25% dibandingkan serat ampas tebu awal (Sukmawan dkk., 2019). Akan tetapi proses ini memerlukan waktu yang panjang dan energi yang tinggi sehingga perlakuan ini perlu dimodifikasi agar waktunya menjadi lebih pendek.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik fisiko-kimia selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang dihasilkan melalui teknik kimia-mekanis secara termal termodifikasi dan non-termal. Reagen yang dipilih dalam proses isolasi selulosa TKKS secara kimia adalah larutan alkali natrium hidroksida. Natrium hidroksida merupakan senyawa kimia yang bersifat reaktif dalam memutuskan ikatan hidrogen di dalam ikatan inter-molekul selulosa dan secara ekonomis relatif lebih murah dibandingkan dengan reagen lainnya (Gunam dkk., 2011). Dengan demikian ikatan hidrogen pada gugus hidroksil lignin akan mudah terlepas dari gugus hidroksil selulosa, sehingga lignin akan meluruh dari ikatan selulosa dan terlarut ke dalam pelarut natrium hidroksida. Perlakuan modifikasi dilakukan dengan proses sterilisasi dalam *autoclave* pada suhu tinggi dan penambahan tekanan absolut 1 atm untuk mempercepat proses reaksi pemutusan ikatan hidrogen pada gugus hidroksil lignin dari ikatan gugus hidroksil selulosa. Perlakuan ini diharapkan dapat mempercepat proses delignifikasi untuk



menghilangkan lignin secara maksimal dan mendapatkan produk selulosa TKKS dengan kadar selulosa, sifat fisik yang lebih baik dan kristalinitas tinggi. Selulosa yang diperoleh ini digunakan untuk penelitian tahap selanjutnya yaitu sebagai bahan komposit dalam pembuatan kemasan biodegradable (biofoam) berbasis pati. Dengan demikian perlu dilakukan karakterisasi sifat fisiko-kimia selulosa TKKS untuk mengetahui bagaimana pengaruhnya terhadap sifat mekanis kemasan biofoam yang akan dihasilkan.

BAHAN DAN METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dari Pusat Penelitian Kelapa Sawit, natrium hidroksida teknis, dan air. Peralatan yang digunakan adalah alat pH meter, pemotong (gunting/pisau), neraca analitis, oven, chromameter, *autoclave* rekayasa Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian, Ultra fine grinder Matsuko Corp. Japan, Niagara beater, Scanning Electron Microscope (SEM) Zeiss EVO MA10, dan X-Ray Diffraction (XRD) Bruker D8 Advance.

Metode

Process pulping TKKS

Selulosa dalam bentuk *pulp* disiapkan melalui metode gabungan mekanis dan kimia. Serat selulosa dari TKKS dibersihkan dari benda asing lainnya, ukurannya dikecilkan sekitar 2–1 cm. Proses delignifikasi dilakukan untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa melalui pemasakan menggunakan larutan NaOH 10% secara termal, termal-*autoclave* dan non-termal. Kemudian dilanjutkan proses *pulping* untuk mendapatkan bubur/*pulp* selulosa. Penggunaan cara ini berdasarkan hasil optimasi kami sebelumnya. Ketiga perlakuan tersebut adalah sebagai berikut.

1. Perlakuan secara termal melalui pemasakan serat TKKS menggunakan larutan NaOH 10% pada suhu 120°C selama 2 jam. Serat TKKS yang telah delignifikasi dicuci bersih hingga tidak terasa licin di tangan dan pH normal. Kemudian dilakukan proses *beating* selama 45 menit menggunakan beater agar seratnya terfibrilasi. Hasil proses *beating* berupa bubur/*pulp* A, lalu disaring dan dikering-anginkan.
2. Perlakuan secara termal-*autoclave*, yaitu pemasakan serat TKKS dalam larutan NaOH 10% menggunakan alat *autoclave* pada suhu 118°C selama 15 menit dan tekanan absolut 1 atm. Pencucian dilakukan menggunakan air sampai tidak terasa licin di tangan dan pH yang terukur normal. Serat selulosa yang diperoleh digiling menggunakan masuko grinder kecepatan 4.000 rpm dengan kondisi GAP +15, +10, +5 dan 0 masing-masing diulang penggilingan sebanyak 10 kali. Kemudian bubur/*pulp* B yang diperoleh disaring dan dikeringanginkan.
3. Perlakuan secara non termal, yaitu pemasakan serat TKKS menggunakan larutan NaOH 10% dingin pada suhu ruang selama 24 jam. Serat hasil perendaman dicuci sampai bersih hingga tidak terasa licin di tangan dan pH normal. Serat TKKS hasil delignifikasi dalam kondisi basah diproses *beating* menggunakan beater selama 45 menit. Hasil *beating* berupa bubur/*pulp* C untuk disaring dan dikering anginkan.

Karakterisasi selulosa TKKS

Selulosa TKKS yang diperoleh dari masing-masing perlakuan dikeringkan dan dikarakterisasi terhadap sifat fisika-kimia yang meliputi kadar air (AOAC 2012), warna (Chromameter Minolta CR 300), panjang dan diameter serat (SNI 01-1840:1990), kadar selulosa dan lignin (SNI 8429:2017), dan freeness (metode Cannadian Standard freeness SNI ISO 5267-2:2010). Sedangkan sifat kristalinitas selulosa dianalisis menggunakan X-Ray Diffraction Bruker D8 Advance dan struktur morfologinya dianalisis menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM).

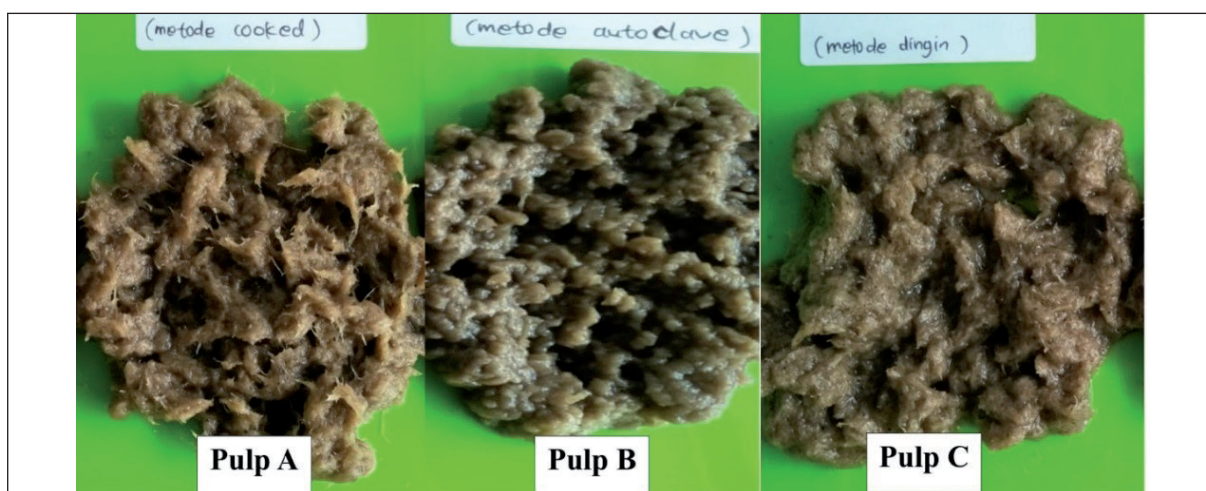


HASIL DAN PEMBAHASAN

Selulosa yang terdapat pada biomassa berlignoselulosa perlu dikonversi dahulu melalui proses delignifikasi. Proses delignifikasi dalam penelitian ini dilakukan melalui pemasakan dalam larutan NaOH 10% secara termal, termal-*autoclave* dan non-termal. Tujuan proses delignifikasi adalah untuk memisahkan lignin sehingga selulosa yang diperoleh berkualitas tinggi dan memiliki sifat mekanis yang baik. Adanya lignin yang masih terikat pada selulosa menyebabkan kekuatan fisik *pulp* rendah karena proses pembentukan ikatan selulosa terhambat oleh lignin dan warnanya gelap atau kuning (Azhari dkk., 2014). Warna selulosa sebagai material komposit sangat perlu diperhatikan karena berpengaruh terhadap warna produk yang dihasilkan. Warna selulosa yang gelap tentunya akan memberikan warna produk yang kurang menarik.

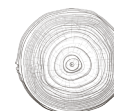
Hasil pengukuran pada Tabel 1 menunjukkan tingkat kecerahan *L* selulosa A: 58,24; B: 47,11; dan C: 59,64. Berdasarkan data tersebut dan pengamatan secara visual sesuai pada Gambar 1, diketahui bahwa tingkat kecerahan *pulp* selulosa A dan C tidak jauh berbeda, namun lebih cerah dibandingkan dengan *pulp* selulosa B. Menurut Widia dkk., (2017), warna *pulp* yang dihasilkan pada proses delignifikasi alkali merupakan warna dari senyawa-senyawa kromofon yang memiliki gugus ikatan rangkap terkonjugasi dan terlarut dalam proses alkalisasi. Senyawa-senyawa yang dimaksud adalah lignin. Lignin merupakan komponen dalam biomassa kayu dengan kadar sekitar 20–30%, memiliki ikatan aril alkil dan ikatan ester. Lignin juga merupakan heteropolimer yang memiliki struktur kimia kompleks dan heterogen yang berikatan kuat dengan selulosa dan hemiselulosa (Sari dkk., 2018) serta menyebabkan warna kuning atau gelap (Azhari dkk., 2014). Steven dkk., (2014) menyebutkan bahwa lignin ini dapat bereaksi dengan pelarut alkali seperti NaOH menghasilkan perubahan warna yang gelap atau kecokelatan disebut *black liquor*. Selama proses delignifikasi serat TKKS menggunakan kondisi proses yang telah digunakan dalam metode ini dimungkinkan tidak semua lignin dapat bereaksi dengan pelarut NaOH 10% selama waktu pemasakan yang telah ditentukan. Dengan demikian, lignin yang masih terikat pada selulosa TKKS mempengaruhi warna *pulp* TKKS menjadi kecokelatan atau kurang cerah.

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai ΔE antara selulosa A, B dan C berada pada rentang yang cukup jauh yaitu antara 74,25 sampai 81,51. Selulosa A memiliki nilai ΔE yang paling tinggi. Hal ini karena proses pemasakan serat TKKS dalam larutan alkali pada suhu yang tinggi dan durasi waktu yang panjang



Ket.: (*Pulp A*) pada suhu 120°C selama 2 jam; (*Pulp B*) pada suhu 118°C selama 15 menit menggunakan autoclave; (*Pulp C*) pada suhu ruang selama 24 jam.

Gambar 1. *Pulp* TKKS Perlakuan Pemasakan dengan NaOH 10%



Tabel 1. Nilai Chroma Warna Pulp Selulosa TKKS yang Diproses Secara Termal dan Non-termal

Selulosa	Warna				
	L	a	b	c	ΔE
A	58,24 ± 1,69	1,06 ± 2,09	6,34 ± 0,91	6,65 ± 0,99	81,51 ± 18,42
B	47,11 ± 6,14	3,14 ± 0,44	11,12 ± 0,88	11,56 ± 0,92	74,25 ± 1,69
C	59,64 ± 0,22	1,60 ± 0,40	6,63 ± 0,59	6,83 ± 0,64	76,45 ± 2,75

Tabel 2. Nilai Kadar Lignin, Kadar Selulosa, Panjang dan Diameter Serat, Freeness, Kadar Air, dan Kristalinitas Pulp Selulosa TKKS yang Diproses Secara Termal dan Non-termal

	Kadar lignin (%)	Kadar Selulosa (%)	Panjang serat (mm)	Diameter serat (mm)	freeness (mL CSF)	Kadar air (%)	kristalinitas (%)
A	18,95	84,34	1,20	20,00	560,00	6,70	44,30
B	21,26	81,78	1,12	13,16	665,00	5,86	57,90
C	21,74	83,44	1,19	18,85	440,00	7,05	34,60

telah meningkatkan nilai L , a , b dan c sehingga nilai ΔE menjadi kecil. Dengan demikian, durasi waktu proses pemasakan menggunakan NaOH 10% pada suhu tinggi telah memengaruhi warna selulosa yang dihasilkan, makin lama durasi waktunya pada suhu tinggi, tingkat kecerahan makin meningkat. Hal tersebut menunjukkan bahwa jumlah material lignin banyak yang terlepas dari ikatan selulosa.

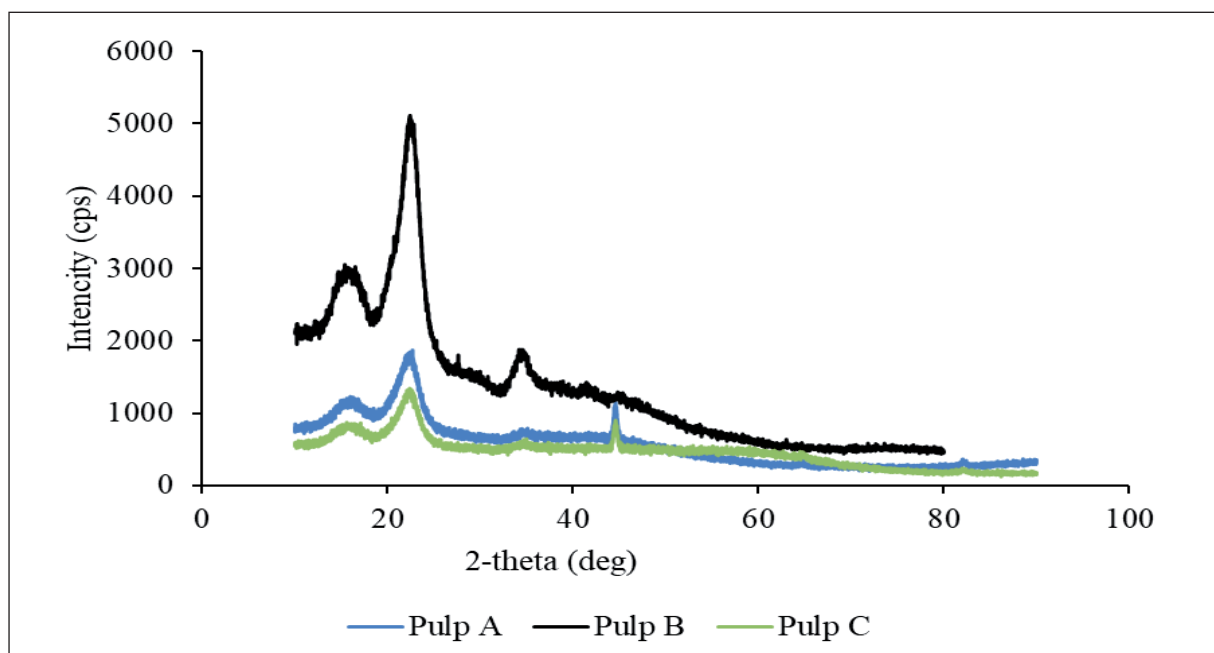
Analisis kadar lignin yang telah dilakukan disajikan pada Tabel 2, di mana selulosa A memiliki kadar lignin paling kecil dibandingkan selulosa B dan C yaitu sebesar 18,95%. Lignin dapat larut dalam pelarut NaOH dan terlepas dengan ikatan senyawa selulosa karena terjadinya transfer ion H dari gugus hidroksil pada lignin ke ion hidroksil pelarut NaOH (Widia dkk., 2017). Perlakuan delignifikasi pada kondisi alkali NaOH 10% secara termal pada suhu 120°C selama 2 jam mampu meluruhkan lignin yang terikat pada selulosa dalam jumlah yang lebih banyak dibandingkan perlakuan termal-*autoclave* pada suhu 118°C selama 15 menit dan perlakuan non-termal pada suhu ruang selama 24 jam. Perlakuan suhu tinggi, waktu alkalisasi yang panjang dan konsentrasi reaktan (NaOH) yang tinggi, telah mampu memecah polimer lignin menjadi monomer-monomer yang mudah larut dalam air (Larasati dkk., 2019). Selain itu juga menyebabkan labilnya ikatan ester antara selulosa dengan lignin sehingga lignin mudah terlepas dari ikatan selulosa berikatan dengan reaktan alkali untuk membentuk senyawa kompleks lignin-alkali (Gunam dkk., 2011). Banyaknya jumlah lignin yang terlarut ke dalam pelarut alkali dan terlepas dari ikatan ester selulosa menyebabkan kadar lignin pada produk yang dihasilkan makin menurun (Steven dkk., 2014). Proses peluruhan atau pelepasan lignin yang tinggi ke dalam pelarut dan kehilangan selulosa yang rendah atau minimal selama proses delignifikasi merupakan perlakuan yang baik dalam proses isolasi selulosa dari kayu berlignoselulosa (Anita dkk., 2011).

Kadar selulosa merupakan parameter yang menjadi fokus dalam penelitian ini. Perlakuan delignifikasi yang telah dilakukan diharapkan dapat menghasilkan selulosa dengan kadar yang tinggi dalam waktu yang lebih singkat dan penggunaan energi yang rendah. Tabel 2 menunjukkan bahwa perlakuan termal dan non-termal menghasilkan kadar selulosa yang hampir sama yaitu sekitar 81–84%. Kadar selulosa tertinggi diperoleh pada perlakuan termal pada suhu 120°C selama 2 jam yaitu sebesar 84,34%. Sedangkan perlakuan non-termal pada suhu ruang selama 24 jam menghasilkan kadar selulosa sebesar 83,44%. Ini merupakan salah satu alternatif proses delignifikasi yang hemat energi namun waktu pemasakan dalam larutan NaOH memakan waktu yang cukup panjang. Alves dkk., (2019) menyebutkan bahwa jumlah selulosa yang terekstrak dari proses *pulping* tergantung pada waktu pemasakan dan konsentrasi alkali.



Sedangkan Yoricya dkk., (2016) telah melakukan proses *pulping* serat TKKS melalui pemasakan dalam alkali NaOH 3% dalam sistem cairan ionik kolin klorid (ChCl) selama 90 menit pada suhu 130°C, kadar selulosa yang diperoleh mengalami peningkatan sebesar 61,45% dibandingkan tanpa sistem cairan ionik. Penelitian ini telah melakukan modifikasi penambahan tekanan pada proses *pulping* alkali NaOH menggunakan *autoclave*. Tujuan perlakuan termal yang dimodifikasi pada proses *pulping* ini adalah untuk meningkatkan jumlah selulosa yang terkestrak dalam waktu yang lebih singkat. Nasruddin dkk., 2012 menyebutkan bahwa reaksi kimia pada proses delignifikasi lignin yang terikat dalam selulosa TKKS secara alkali akan berjalan lebih cepat karena adanya uap panas dari proses sterilisasi dengan *autoclave* pada suhu tinggi dan tekanan absolute 15 Psi. Akan tetapi uap panas yang dihasilkan pada temperatur tinggi dan faktor tekanan selama proses sterilisasi dalam *autoclave* dapat merusak reaktan sehingga tidak maksimal dalam meluruhkan lignin. Akibatnya kadar lignin pada produk masih tinggi dan kadar selulosa rendah. Kadar selulosa yang diperoleh pada perlakuan ini dalam waktu 15 menit adalah 81,78% (Tabel 2). Kadar selulosa dari perlakuan termal-*autoclave* selama 15 menit lebih rendah daripada yang dihasilkan pada perlakuan termal selama 2 jam. Menurut Larasati dkk., (2019), penurunan selulosa ini disebabkan karena pada suhu tinggi dan penambahan tekanan telah mengakibatkan struktur selulosa yang teratur menjadi terbuka dan mudah terdegradasi untuk terdispersi secara bebas ke dalam pelarut NaOH. Namun perbedaan nilai kadar selulosa dengan perlakuan lainnya cukup mendekati sehingga perlakuan termal-*autoclave* dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif pilihan dalam proses delignifikasi kayu berlignoselulosa dalam waktu lebih singkat.

Subyakto, dkk, (2009) menyatakan bahwa ukuran diameter menentukan kekuatan suatu serat, makin kecil ukuran diameter serat maka nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitasnya makin tinggi. Begitu pula perbandingan antara panjang serat dengan diameter serat yang kecil juga akan meningkatkan kekuatan tensile dan modulus elastisitasnya. Tabel 2 menunjukkan bahwa perlakuan B secara termal-*autoclave* dengan penambahan tekanan absolute menghasilkan selulosa yang memiliki ukuran diameter dan panjang serat paling kecil dibandingkan dengan perlakuan A dan C, yaitu sebesar 13,16 mm dan 1,12 mm. Sedangkan perlakuan termal A dan non-termal C menghasilkan selulosa dengan diameter dan panjang serat secara berturut-turut sebesar 20 mm; 1,20 mm dan 18,85 mm; 1,90 mm.



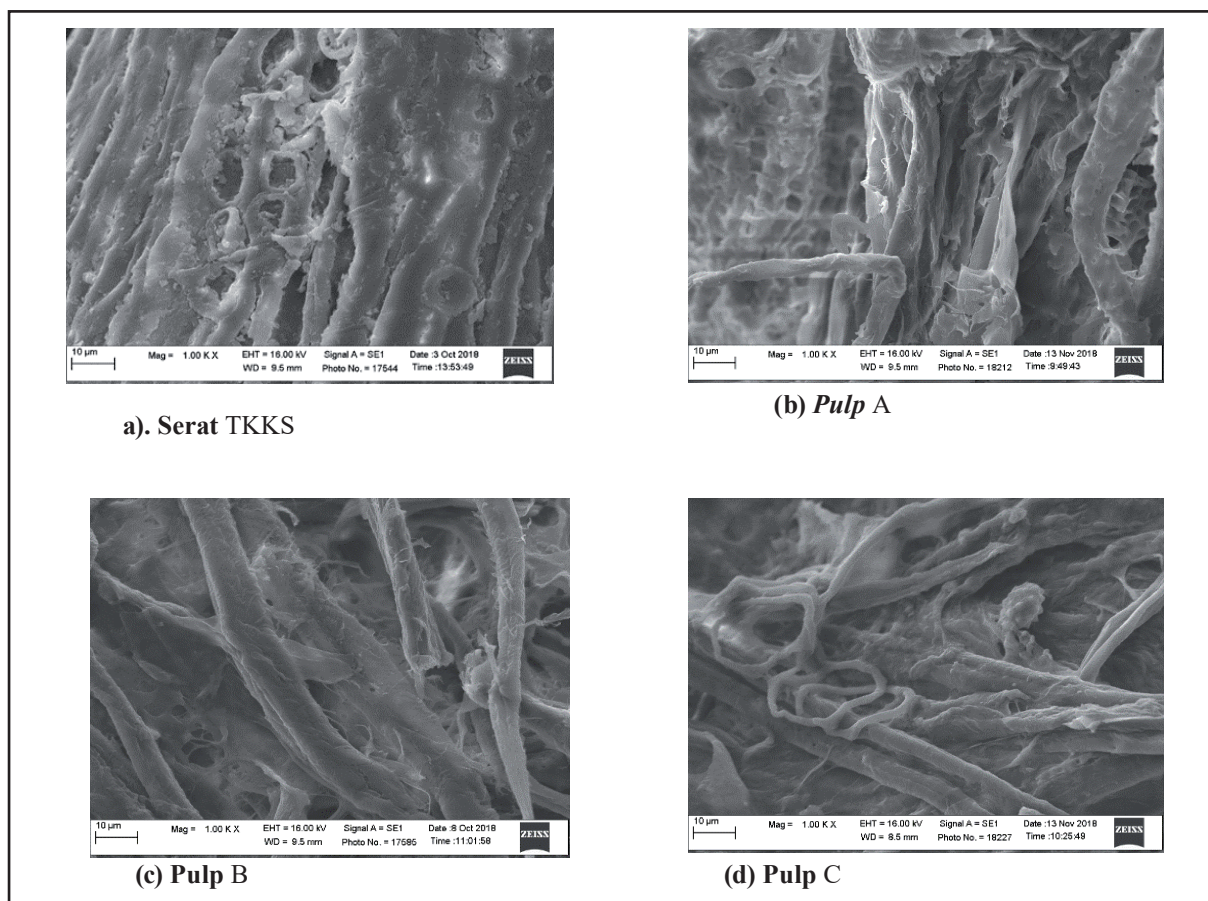
Gambar 2. Difraktogram Hasil Analisis XRD Selulosa TKKS yang Diproses Secara Termal dan Non-termal



Parameter kadar air untuk selulosa merupakan salah satu parameter sifat fisika yang harus terukur. Informasi data kadar air diperlukan untuk mengetahui kualitas selulosa dan pemanfaatan lebih lanjut. Hasil penelitian pada isolasi selulosa dari TKKS diperoleh kadar air yang tidak terlalu berbeda, rata-rata selulosa yang diperoleh memiliki kadar air 4,95% sampai 7,28% seperti yang ditampilkan pada Tabel 2. Nilai kadar air yang rendah akan memudahkan dalam proses penyimpanan, pengawetan, dan pemanfaatannya sebagai matrik biokomposit, material pengikat dan sebagainya. Nilai kadar air selulosa TKKS hasil perlakuan termal dan non-termal pada Tabel 2 berbanding lurus dengan nilai freeness. Makin kecil kadar air, nilai freeness selulosa TKKS makin besar. Makin besar nilai freeness serat menunjukkan serat tersebut sangat cepat melepaskan air sehingga kadar air serat tersebut cenderung kecil. Hal tersebut karena serat tidak mampu menahan molekul air dalam waktu lebih lama. Freeness adalah ukuran seberapa cepat air mampu keluar dari serat per mililiter Canadian Standard Freeness (ml CSF). Tabel 2 menunjukkan bahwa selulosa TKKS perlakuan B memiliki kemampuan mengeluarkan air dari serat sebesar 665 ml CSF, selulosa A sebesar 560 ml CSF dan selulosa C sebesar 440 ml CSF.

Parameter kristalinitas suatu material penting untuk dilakukan analisis karena material yang bersifat kristalin akan berpengaruh terhadap peningkatan sifat mekanis dan termal material tersebut. Perumal dan Sarala (2020) menyebutkan bahwa nilai kristalinitas yang tinggi memiliki sifat mekanis yang baik karena material tersebut memiliki susunan molekul yang sangat teratur. Nilai kristalinitas selulosa TKKS hasil penelitian ditampilkan pada Tabel 2. Selulosa yang memiliki persentase kristalin paling tinggi adalah perlakuan B yaitu sebesar 57,9%. Sementara itu, selulosa dari perlakuan A dan C secara berurutan memiliki kristalinitas sebesar 44,3% dan 34,6%. Perlakuan termal dan penambahan tekanan pada proses delignifikasi TKKS telah mampu meningkatkan kristalinitas *pulp* selulosa TKKS B lebih tinggi dibandingkan *pulp* A dan C. Di mana *pulp* A yang diproses secara termal tanpa penambahan tekanan, nilai kristalinitasnya lebih tinggi dibandingkan *pulp* C yang diproses secara perendaman (non-termal) saja. Pada penelitian ini dipilih *pulp* TKKS yang memiliki kadar selulosa dan kristalinitas yang tinggi sebagai komposit penguat pada pengembangan kemasan biofoam berbasis pati. Hal tersebut karena kandungan selulosa yang tinggi dan kristalinitas yang tinggi pada serat tanaman menunjukkan kinerja yang tinggi dan kuat sebagai material komposit (Ilyas dkk., 2017). Informasi puncak-puncak struktur kristalin selulosa A, B, dan C ditampilkan dalam grafik difraktogram Gambar 2. Puncak-puncak selulosa TKKS hasil perlakuan termal dan non-termal muncul pada daerah 2-theta sekitar 15°, 22°, 34°, dan 44° dengan puncak yang tajam dan intensitas paling tinggi dicapai oleh selulosa B. Puncak-puncak yang tajam menunjukkan struktur kristalin pada daerah 2-theta sekitar 22,823°; 22,52° atau 22,1°. Begitu pula hasil penelitian Ilyas dkk., (2017) memberikan puncak kristalin selulosa yang tajam pada daerah 2-theta 22,6° setelah perlakuan kimiawi. Sedangkan puncak-puncak yang melebar pada daerah 2-theta sekitar 12,64°; 15,348°; 16,84°; 16,68°; atau 34,33° adalah struktur amorf (Perumal & Sarala, 2020; Tedjani dkk., 2020; Lu dkk., 2020).

Struktur morfologi selulosa TKKS merupakan data kualitatif yang mendukung hasil pengujian sifat fisiko-kimia dan mekanis. Melalui hasil pengujian SEM ini dapat dilihat perbedaan morfologi pada masing-masing selulosa yang diperoleh. Gambar 3 menampilkan foto struktur morfologi dari setiap selulosa TKKS yang diperoleh. Gambar 3(a) tampak struktur permukaan serat TKKS dalam kondisi saling berikatan dan terdapat banyak material yang menempel, fibril serat selulosa belum tampak. Material tersebut diduga adalah kotoran, lemak, lignin, hemiselulosa atau simplisia lainnya. Gambar 3(b), 3(c) dan 3(d) merupakan struktur permukaan selulosa TKKS dari perlakuan termal dan non-termal, tampak bahwa tampilan gambar terlihat lebih bersih dan permukaannya sudah tidak nampak adanya material-material asing yang menempel dibandingkan dengan Gambar 3(a). Material yang dimaksud sudah lepas dari ikatan akibat larut bersama ke dalam air dan larutan NaOH. Selain itu tampak jelas bahwa serat selulosa telah mengalami fibrilisasi. Gambar 3(c) merupakan perlakuan termal-autoclave yang menghasilkan selulosa B, gambar menunjukkan struktur morfologi paling jelas fibril-fibril selulosanya dan tidak ada bagian-bagian yang melilit atau menutupi fibril utama, seperti pada Gambar 3(b) dari perlakuan termal A dan Gambar 3(d) dari perlakuan non-termal C.



Ket.: a) serat TKKS (b) *pulp* A diposes secara termal; (c) *pulp* B diposes secara termal-autoclave; (d) *pulp* C diposes secara non-termal.

Gambar 3. Struktur Morfologi dengan Perbesaran 1.000 X

KESIMPULAN

Berdasarkan parameter panjang serat, diameter serat, freeness, kristalinitas, dan struktur morfologi selulosa TKKS, perlakuan delignifikasi serat TKKS secara termal-autoclave telah menghasilkan selulosa B yang memiliki sifat fisiko-kimia lebih baik dibandingkan dengan perlakuan termal selulosa A dan perlakuan non-termal selulosa C. Selulosa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) tipe B memiliki kadar selulosa 81.78%, kadar lignin 21.26%, panjang serat 1.12 mm, diameter 13.16 mm, freeness 665 mL CSF, dan kristalinitas sebesar 57,9%. Perlakuan secara termal-autoclave dalam larutan NaOH 10%, tekanan 1 atm, suhu 118°C selama 15 menit dapat menjadi alternatif proses delignifikasi serat kayu untuk menghasilkan selulosa dalam waktu pendek.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Idris Suryadi, Asep Sunarya, Irfan Hanafi, M. Ghousul Adom, dan Cucu atas kontribusinya selama kegiatan penelitian. Penulis mengucapkan terima kasih kepada PUI Kemenristek Dikti yang telah membiayai penelitian ini pada tahun 2018 (Nomor kontrak kerjasama B.22981/HK.230/H.10/08/2018), dan Pusat Penelitian Kelapa Sawit yang telah menyediakan serat tandan kosong kelapa sawit.

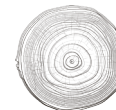


DAFTAR PUSTAKA

- Alves, J.A.A., Santos, M.D.L., Morais, C.C., Ascheri, J.L.R., Signini, R., Santos, D.M., Bastos, S.M.C., Ascheri, D.P.R. (2019). Sorghum straw: pulping and bleaching process optimization and synthesis of cellulose acetate. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 877–885.
- Anita, S.H., Hermiati, E., & Laksana, R.P.B. (2011). Pengaruh perlakuan pendahuluan dengan kultur campuran jamur pelapuk putih *Phanerochaete cysosporium*, *Pleurotus ostreatus* dan *Trametes versicolor* terhadap kadar lignin dan selulosa bagas. *Jurnal Selulosa*, 1(2), 81–88.
- Azhari, A., Falah, S., Nurjannah, L., Suryani, & Bintang, M. (2014). Delignifikasi batang kayu sengon oleh *Trametes versicolor*. *Current Biochemistry*, 1(1), 1–10.
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2020). Luas Tanaman Perkebunan Menurut Provinsi (Ribuan Hektar), 2018–2020. Diakses pada 16 November 2021. <https://www.bps.go.id/indicator/54/131/1/luas-tanaman-perkebunan-menurutprovinsi.html>
- Chang, S. H. (2014). An overview of empty fruit bunch from oil palm as feedstock for bio-oil production. *Biomass And Bioenergy*, 62, 174–181.
- Derman, E., Abdulla, R., Marbawi, H., & Sabullah, M.K. (2018). Oil palm empty fruit bunches as a promising feedstock for bioethanol production in Malaysia. *Renewable Energy*, 129, 285–298.
- Erwinsyah, Afriani, A. & Kardiansyah, T. (2015). Potency and opportunity of oil palm empty fruit bunch as raw material for pulp and paper: a case study in Indonesia. *Jurnal Selulosa*. 5(2), 79–88.
- Etikaningrum, Hermanianto, J., Iriani, E.S., Syarif, R., & Permana, A.W. (2016). Effect of addition various modification empty palm fruit bunches fiber on functional properties of biodegradable foam. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*. 13(3), 146–155.
- Faizi, M.K., Shahrman, A.B., Majid, M.S.A, Shamsul, B.M.T., Ng, Y.G., Basah, S.N., Cheng, E.M., Afendi, M., Zuradzman, M.R., Khairunizam, W.A.N., & Hazry, D. (2017). An overview of the oil palm empty fruit bunch (OPEFB) potential as reinforcing fibre in polymer composite for energy absorption applications. in: *MATEC Web of Conferences* 9. 01064 AiGEV 2016. 1–9.
- Gunam, I.B.W., Wartini, N.M., Anggreni, A.A.M.D., & Suparyana, P.M. (2011). Delignifikasi ampas tebu dengan larutan natrium hidroksida sebelum proses sakaraifikasi secara enzimatis menggunakan enzim selulase kasar dari *Aspergillus niger* FNU 6018. *Jurnal Teknologi Indonesia*, 34(Edisi Khusus 2011), 24–32.
- Hendaryati, D. D., Arianto, Y., & Wahyudi, S. (Ed). (2017). *Tree crop estate statistics of Indonesia: 2015-2017 Palm Oil*. Edited by D. D. Hendaryati, dkk, Jakarta Indonesia: Secretariate of directorate general of estate crops - Directorate General of Estate Crops-Ministry of Agriculture.
- Ilyas, R.A., Sapuan, S.M., Ishak, M.R., & Zainudin, E.S. (2017). Effect of delignification on the physical, thermal, chemical, and structural properties of sugar palm fibre. *Bio Resources*, 12(4), 8734–8754.
- Larasati, I.A., Argo, B. D., & Hawa, L.C. (2019). proses delignifikasi kandungan lignoselulosa serbuk bamboo detung dengan variasi NaOH dan tekanan. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 7(3), 235–244.
- Lu, Y., Tao, P., Zhang, N., & Nie, S. (2020). Preparation and thermal stability evaluation of cellulose nanofibrils from bagasse pulp with differing hemicelluloses contents. *Cbohydrate Polymers*, 245(116463), 1–8.
- Mardina, P., Talalangi, A.I., Sitinjak, J.F.M., Nugroho, A., & Fahrizal, M.R. (2013). Pengaruh proses delignifikasi pada produksi glukosa dari tongkol jagung dengan hidrolisis asam encer. *Konversi*, 2(2), 17–23.
- Mariana, F.L, Zulfansyah, & Fermi, M.I. (2010). *Delignifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit dalam Media Asam Formiat*. In: Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-III. Lampung, 18–19 Oktober 2010. Pp. 217–225.
- Nasruddin. (2012). Delignifikasi tandan kosong kelapa sawit dilanjutkan dengan hidrolisis bertahap untuk menghasilkan glukosa. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 23(1), 1–11.
- Perumal, C.I. & Sarala, R. (2020). Characterization of a new natural cellulosic fiber extracted from derris scandens stem. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165(Part B), 2303–2313.
- Risnandar, C. (2017). Top 10 negara penghasil sawit terbesar. *Jurnal Bumi*. April. pp. 35–36.
- Sari, P.D., Puri, W.A., & Hanum, D. (2018). Delignifikasi bonggol jagung dengan metode microwave alkali. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian "AGRIKA"*, 12(2), 164–172.
- Steven, Mardiyati, & Suratman, R. (2014). Pembuatan mikrokristalin selulosa rotan manau (*Calamus manan* sp.) serta karakteristiknya. *Jurnal Selulosa*, 4(2), 89–96.



- Subyakto, Hermiati, E., Yanto, D.H.Y., Fitria, Budiman, S., Ismadi, Masruchin, N., & Subiyanto, B. (2009). Proses pembuatan serat selulosa berukuran nano dari sisal (*Agave sisalana*) dan bambu betung (*Dendrocalamus asper*). *Berita Selulosa*, 44(2), 57–65.
- Sukmawan, R., Saputri, L.H., Rochmadi, & Rochardjo, H.S.B. (2019). The effects of the blending condition on the morphology, crystallinity, and thermal stability of cellulose microfibrils obtained from bagasse. *Indonesian Journal of Chemistry*. 19(1). pp. 166–175.
- Syamsu, K., Haditjaroko, L., Pradikta, G.I., & Roliadi, H. (2014). The mixture of empty oil palm fruit bunch pulp and microbial cellulose from nata de cassava for paper manufacture. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 19(1). pp. 14–21.
- Tedjani, C.F., Mya, O.B., & Rebiai, A. (2020). Isolation and characterization of cellulose from date palm tree spathe sheath. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 17(100307), 1–5.
- Widia, I., Abdassah, M., Chaerunisaa, A.Y., & Rusdiana, T. (2017). Karakterisasi serbuk selulosa mikrokristal asal tanaman rami (*Boehmeria nivea* L. Gaud). *Farmaka*, 14(4), 37–45.
- Yoricya, G., Dallmunthe, S.A.P., Manurung, R., & Bangun, N. (2016). Hidrolisis hasil delignifikasi tandan kosong kelapa sawit dalam sistem cairan ionik *Choline Chloride*. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(1), 27–33.



Pemanfaatan Kayu Mahang sebagai Sumber Lignoselulosa Baru pada Fabrikasi Serat Nanoselulosa

Eko Sutrisno¹, Surawut Chuangchote², dan Supachok Tanpichai³

¹Balai Litbang Teknologi Serat Tanaman Hutan, Jln. Raya Bangkinang–Kuok km 9, Kotak Pos 4/BKN Bangkinang, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau, Indonesia

²Department of Tool and Materials Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126 Prachauhit Rd., Bangmod, Thungkhru, Bangkok 10140, Thailand

³Learning Institute King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126 Prachauhit Rd., Bangmod, Thungkhru, Bangkok 10140, Thailand
E-mail: ekokuoksutrisno@gmail.com

ABSTRACT

Mahang tree (Macaranga sp) is one of the lesser-known species which up to now has been used for wood energy only. On the other hand, Mahang tree has the potency as the fiber natural resources due to its high cellulose content. Based on these characters, Mahang trees could be recommended as the new lignocellulose resources. The methods used in this study were the combination of chemical and mechanical methods. The chemical method was employed using the weak and the strong acids, followed by the ultrasonic disintegration. Cellulose nanofibers, produced by the weak acid, had a yield of 54% and diameter of 43 nm. Moreover, the cellulose nanofibers, produced by the strong acid, had a yield of 30% and diameter of 42 nm. In addition, from fourier transform infra-red (FTIR) spectra, it was showed that lignin and hemicellulose were still presence on the obtained cellulose nanofibers. Thus, Mahang wood can be used as a new lignocellulosic source to produce nano cellulose that has the potential as a reinforcing agent in the composite applications.

Keywords: Fabrication, Mahang Tree, Macaranga, Nanocellulose, and Cellulose

ABSTRAK

Kayu mahang (*Macaranga sp*) merupakan salah satu jenis kayu yang kurang dikenal dan pemanfaatannya terbatas pada kayu energi. Jenis ini tergolong jenis kayu yang cepat tumbuh (*fast growing*) dan pengisi suksesi sekunder (*pioneer*). Kayu mahang dengan kandungan selulosanya yang mendominasi memiliki potensi sebagai sumber penghasil serat alam. Berdasarkan karakter tersebut, kayu mahang dapat direkomendasikan sebagai sumber lignoselulosa baru pada fabrikasi serat nanoselulosa. Teknik yang digunakan untuk fabrikasi serat nanoselulosa dilakukan dengan kombinasi metode kimia dan mekanis. Metode kimia dilakukan dengan asam lemah dan asam kuat dan dilanjutkan dengan mesin ultrasonik probe. Serat nanoselulosa yang dihasilkan melalui asam lemah memiliki rendemen 54% dan berdiameter 43 nm, sedangkan serat nanoselulosa yang dihasilkan melalui asam kuat memiliki rendemen 30% dan berdiameter 42 nm. Selanjutnya, serat nanoselulosa yang dihasilkan dengan kombinasi metode ini mengandung senyawa lignin dan hemiselulosa berdasarkan hasil observasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Dengan demikian, kayu mahang dapat direkomendasikan sebagai lignoselulosa baru untuk material nano berbasis selulosa dan memungkinkan sebagai komponen pengisi untuk aplikasi komposit.

Kata Kunci: fabrikasi, kayu mahang, macaranga, nanoselulosa, dan selulosa

PENDAHULUAN

Pemanfaatan kayu bakar tersebut 6% berasal dari kawasan hutan dan lebih dari 65% berada di luar kawasan hutan (Rostiwati dkk., 2007). Sebagai kayu energi, kayu mahang dalam bentuk utuh memiliki durasi pembakaran 11 menit 35 detik dengan abu yang dihasilkan seberat 4,3 gram (Setiabudi dkk., 2019). Secara ekologi, mahang dari jenis ini tersebar merata di hutan hujan tropis Asia Tenggara sehingga mudah ditemukan (Slik & Welzen, 2001). Jenis ini tergolong cepat tumbuh (*fast growing species*), umumnya



ditemukan sebagai pengisi suksesi sekunder (Saito dkk., 2005). Selanjutnya, jenis ini digolongkan sebagai jenis alam yang berpotensi menghasilkan serat karena kandungan seratnya sebanyak 45,35% (Frianto & Rinanda, 2015) yang terdiri dari 55,14% selulosa (Takeuchi dkk., 2016). Populasi kayu mahang banyak tersedia di alam, tetapi belum maksimal pemanfaatannya. Butuh sentuhan teknologi untuk memberi nilai tambah pemanfaatan dan memaksimalkan potensi dari jenis kayu tersebut.

Fabrikasi material nano berbasis selulosa sudah mulai dimanfaatkan dalam rekayasa material maju. Sumber alami tersebut adalah lignoselulosa yang merupakan material alam yang tersusun dari selulosa, hemiselulosa, lignin, dan zat ekstraktif. Komponen penyusun tersebut umumnya ditemui pada tanaman. Komposisi komponen tersebut akan berbeda untuk setiap jenis tanaman. Komponen selulosa akan menjadi perhatian dalam pemanfaatan jenis-jenis tanaman alam yang digolongkan sebagai penghasil serat (Logothetidis, 2011). Selulosa sebagai komponen kimia dasar dari semua jenis serat alam yang merupakan polisakarida (karbohidrat) dan tersusun atas komponen C, H, dan O (Wertz dkk., 2010). *Building block system* polimer alam tersebut diimplementasikan pada prinsip fabrikasi serat nanoselulosa (Schacht dkk., 2008). Pemurnian dan pemisahan selulosa dari komponen lainnya merupakan tahap awal fabrikasi serat nanoselulosa.

Teknis fabrikasi serat nanoselulosa secara konvensional dilakukan menggunakan asam sulfat pada fase hidrolisis asam (Kargarzadeh dkk., 2017) yang memiliki dampak pada lingkungan (Trache dkk., 2017). Beberapa publikasi merekomendasikan asam malat sebagai alternatif pengganti asam sulfat pada saat fase hidrolisis asam (Bian dkk., 2017). Asam malat ini memiliki kemampuan yang lebih dalam mendegradasi hemiselulosa dan meningkatkan depolimerasi rantai polysakarida (Morais dkk., 2013). Selanjutnya penggunaan asam malat membuat ikatan ester pada serat nanoselulosa sehingga lebih bermanfaat dan aplikatif pada skema penggunaannya secara komposit (Wang dkk., 2017). Dengan demikian, perlu dilakukan kajian untuk menemukan teknik fabrikasi yang ramah lingkungan dan mendapatkan karakteristik serat nanoselulosa yang dihasilkan.

BAHAN DAN METODE PERCOBAAN

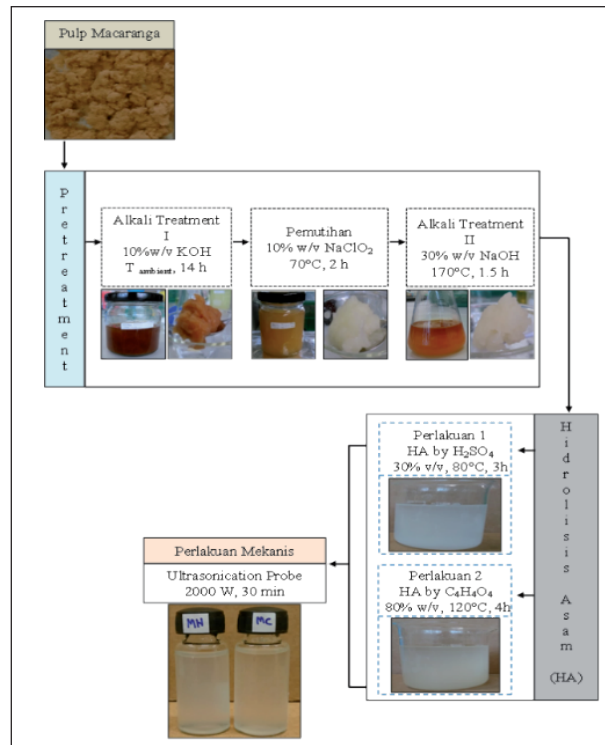
1. Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan adalah pulp Mahang (*M. hypoleuca*) yang diuraikan secara mekanis pada tahap *pulping* di laboratorium pulp Balai Litbang Teknologi Serat Tanaman Hutan–Kabupaten Kampar, kalium hidroksida (KOH, Carlo Erba Reagents), natrium klorit (NaClO_2 , Ajax Finechem Pty. Ltd.), natrium hidroksida (NaOH, Carlo Erba Reagents), asam malat ($\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$, Merck KGaA), asam asetat (CH_3COOH , RCI Labscan), dan asam klorida (Ajax Finechem Pty. Ltd.). Grade bahan kimia yang digunakan seluruhnya berjenis pro analisis (*analytical grade*).

Peralatan yang digunakan adalah *scanning electron microscope* (JEOL SEM 6610-LV, Japan) untuk observasi struktur mikro dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (Nicolet 6700, United States of America) menentukan jenis ikatan dan gugus fungsi dari serat nanoselulosa yang dihasilkan

2. Metode

Penelitian fabrikasi serat nanoselulosa dilakukan dengan mengombinasikan metode kimia dengan mekanis untuk memurnikan dan memisahkan polimer selulosa. Pada tahap awal, pulp kayu mahang sebagai bahan baku pembuatan serat nanoselulosa diproses secara kimia untuk memurnikan selulosa dari komponen non-selulosa lainnya. Tahapan ini merupakan pengkondisian dalam fase *pretreatment*. Pada tahap ini, pulp dilarutkan dengan dua kali pelarutan dengan alkali (KOH dan NaOH) dan pada setiap proses perlakuan dilakukan pembilasan hingga pulp memiliki pH netral (berkisar 6–7). Fase *pretreatment* diakhiri dengan pemutihan pulp menggunakan NaClO_2 .



Gambar 1. Prosedur Fabrikasi Serat Nanoselulosa

Metode kimia dilakukan dengan hidrolisis asam menggunakan larutan asam sulfat (MH) dan asam malat (MC) kemudian dilanjutkan dengan defibrilasi menggunakan ultrasonikasi (Gambar 1). Karakterisasi meliputi pengamatan visual yang mana larutan serat nanoselulosa diamati selama 144 jam (6 hari) untuk mengobservasi kestabilan larutnya, morfologi (struktur mikro), sebaran diameter, dan analisis FTIR dilakukan untuk karakterisasi ikatan kimia.

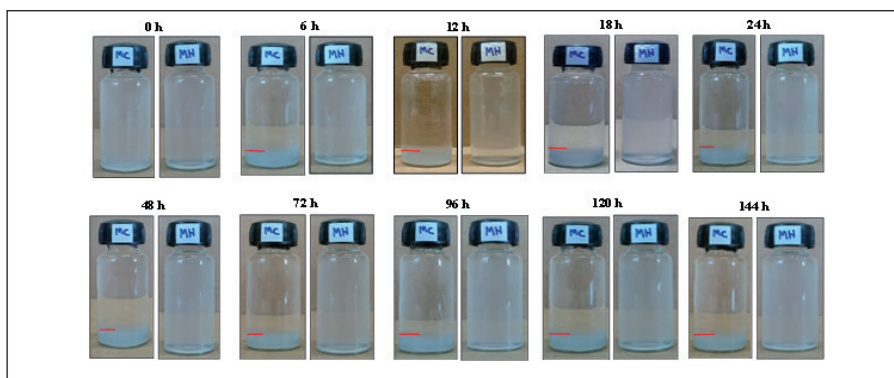
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis komponen kimia, pulp mekanis kayu mahang mengandung holoselulosa ($68,1 \pm 0,5\%$), hemiselulosa ($2,5 \pm 0,6\%$), lignin ($25,5 \pm 0,6\%$), dan zat ekstraktif ($4,7 \pm 0,1\%$). Persiapan bahan baku secara mekanis ternyata mampu mengurangi komponen lignin walau tidak banyak. Chin dkk. (2013) mempublikasikan kandungan lignin pada beberapa jenis mahang sebanyak 28,20%. Pengurangan 3% kandungan lignin terjadi akibat adanya pelarutan pada proses pemasakan (Aprianis dkk., 2018).

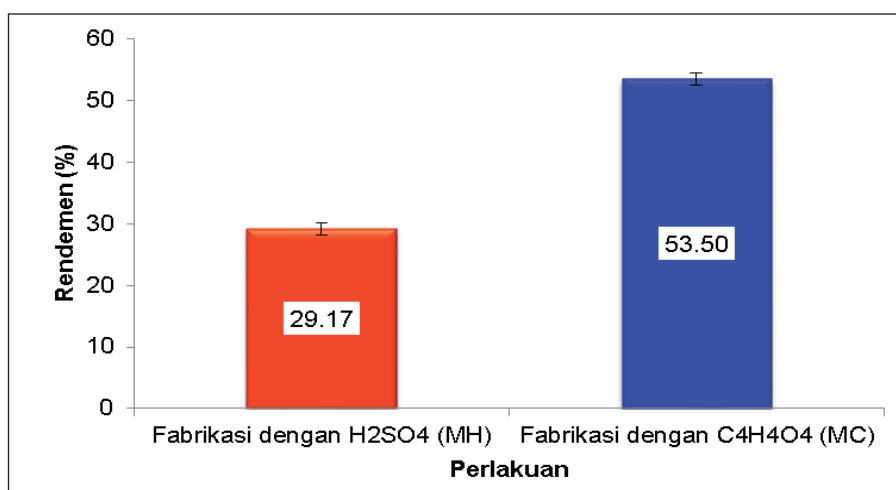
Pada tahap *pretreatment*, komponen nonselulosa berhasil dikurangi kandungannya pada pulp mahang. Hal tersebut diasumsikan dari visual pulp mahang sebagai bahan baku fabrikasi nanoselulosa yang telah berwarna lebih terang mendekati warna putih. Pulp tersebut merupakan bahan baku proses fabrikasi nanoselulosa.

Fabrikasi serat nanoselulosa dilakukan menggunakan kombinasi hidrolisis asam (asam sulfat dan asam malat) dengan ultrasonikasi. Nanoselulosa hasil fabrikasi dengan kombinasi perlakuan tersebut disajikan pada Gambar 2.

Pengamatan serat nanoselulosa secara visual diasumsikan stabil dalam kondisi terlarut apabila makin sedikit sedimen (lihat garis merah) yang ditemukan pada larutan serat nanoselulosa. Gambar 2 menunjukkan kondisi masing-masing perlakuan selama waktu pengamatan. Sedimentasi terjadi karena adanya gugus karboksil (-COOH) yang digambarkan pada analisis FTIR (Gambar 8). Serat nanoselulosa yang dihasilkan dengan pelarut asam malat pada fase hidrolisis asam (MC) adalah yang memiliki sedimen. Hal tersebut disebabkan oleh gugus hidroksil (-OH) dari serat nanoselulosa yang berikatan dengan gugus



Gambar 2. Pengamatan visual terhadap endapan serat nanoselulosa (sedimen ditunjukkan oleh garis merah)



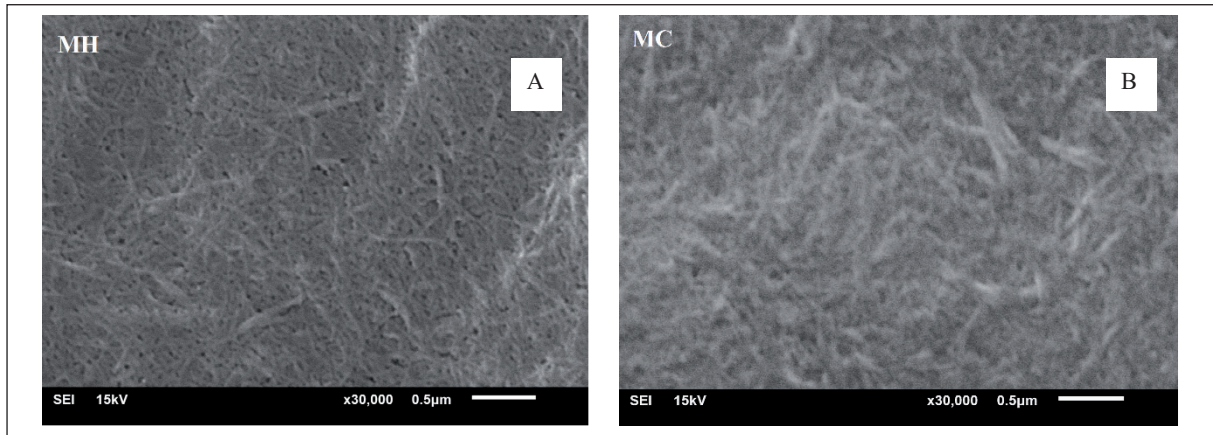
Gambar 3. Rendemen Hasil Serat Nanoselulosa Berbahan Baku *Pulp Kayu Mahang*

karboksil (C=O) dari asam malat sehingga membentuk gugus karboksil (-COOH) (Chen dkk., 2016). Kondisi disosiasi ionic tersebut juga terjadi pada serat nanoselulosa yang dihasilkan dari tahap hidrolisis asam menggunakan asam sulfat (MH). Selain itu, kecenderungan tidak terjadinya sedimentasi sampai akhir pengamatan berkorelasi dengan dimensi serat nanoselulosa yang dihasilkan (Tibolla dkk., 2018).

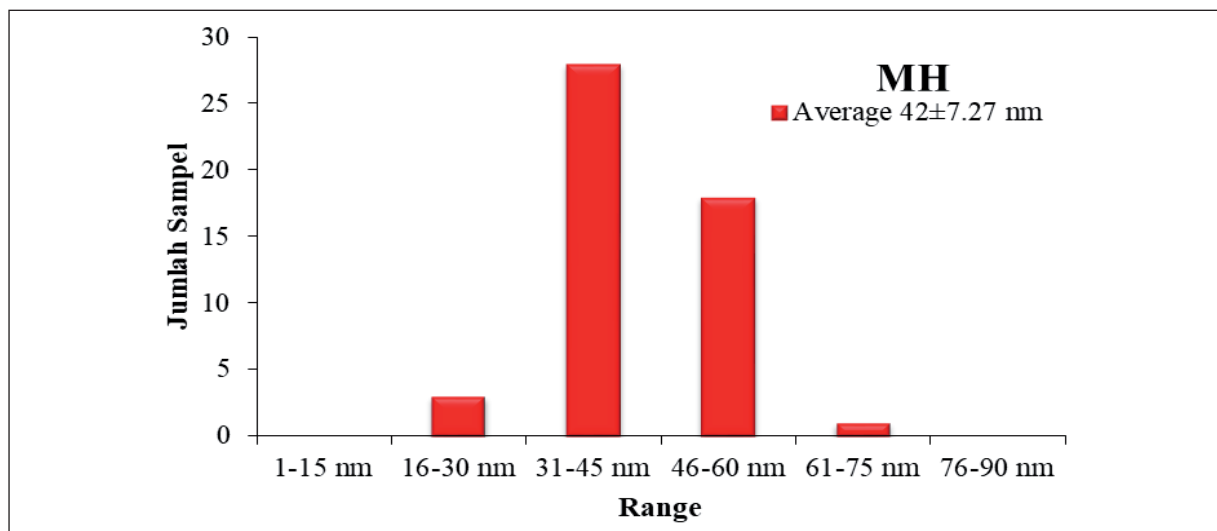
Rendemen masing-masing perlakuan disajikan pada Gambar 3. Perbedaan rendemen serat nanoselulosa dapat dipengaruhi oleh formulasi larutan pada tahap *pretreatment*. Pengurangan komponen non-selulosa pada fase *pretreatment* bertujuan untuk mempermudah proses defibrilasi (Wang dkk., 2018). Selain itu, asam malat mempunyai kemampuan optimal mendegradasi komponen hemiselulosa (Wang dkk., 2017).

Perbedaan penggunaan larutan asam yang digunakan saat hidrolisis memengaruhi karakteristik serat nanoselulosa yang dihasilkan. Karakterisasi struktur mikro menggunakan SEM seperti pada Gambar 4 A) dan B).

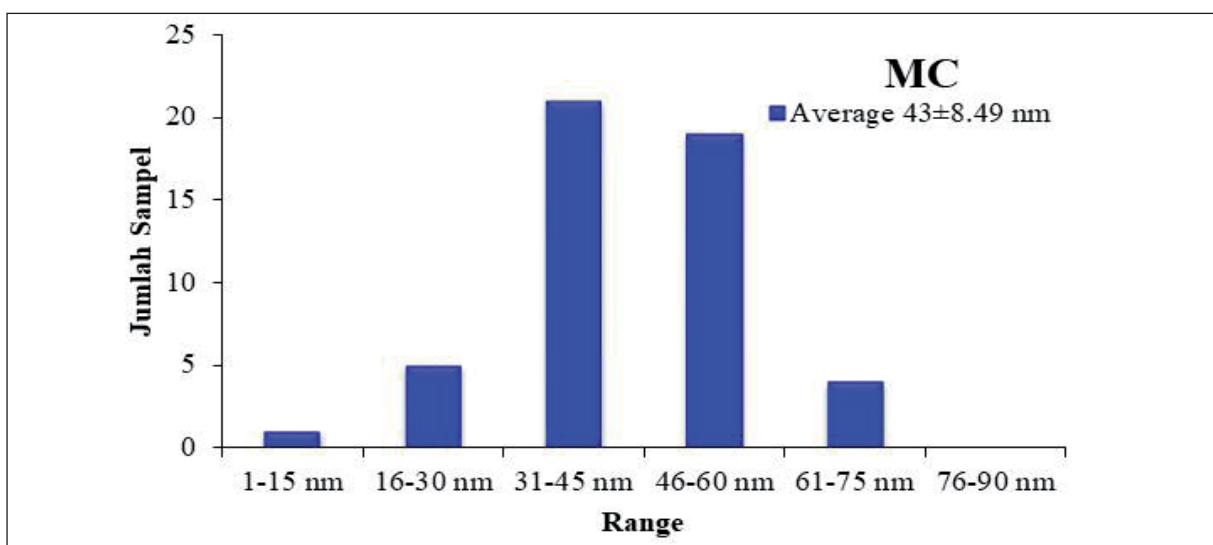
Gambar 4. A) dan B) menunjukkan dimensi serat nanoselulosa yang dihasilkan dari perlakuan hidrolisis asam. Hidrolisis asam menggunakan larutan H₂SO₄ dan dilanjutkan dengan tahapan mekanis, menghasilkan serat nanoselulosa berdiameter 42–46 nm (Gambar 5). Hidrolisis asam menggunakan larutan C₄H₄O₄ dan dilanjutkan dengan tahapan mekanis, menghasilkan serat nanoselulosa berdiameter 43–58 nm (Gambar 6). Perbedaan tersebut terjadi karena pengaruh formulasi larutan pada tahap *pretreatment* dan dapat pula disebabkan oleh input energi mesin ultrasonikasi. Tahap *pretreatment* diharapkan maksimal dalam mengurangi komponen non-selulosa sehingga proses pengembangan (*swelling effect*) dimensi serat, pemutusan, hingga pengecilan ukuran dapat berjalan lebih mudah (Lengowski dkk., 2018).



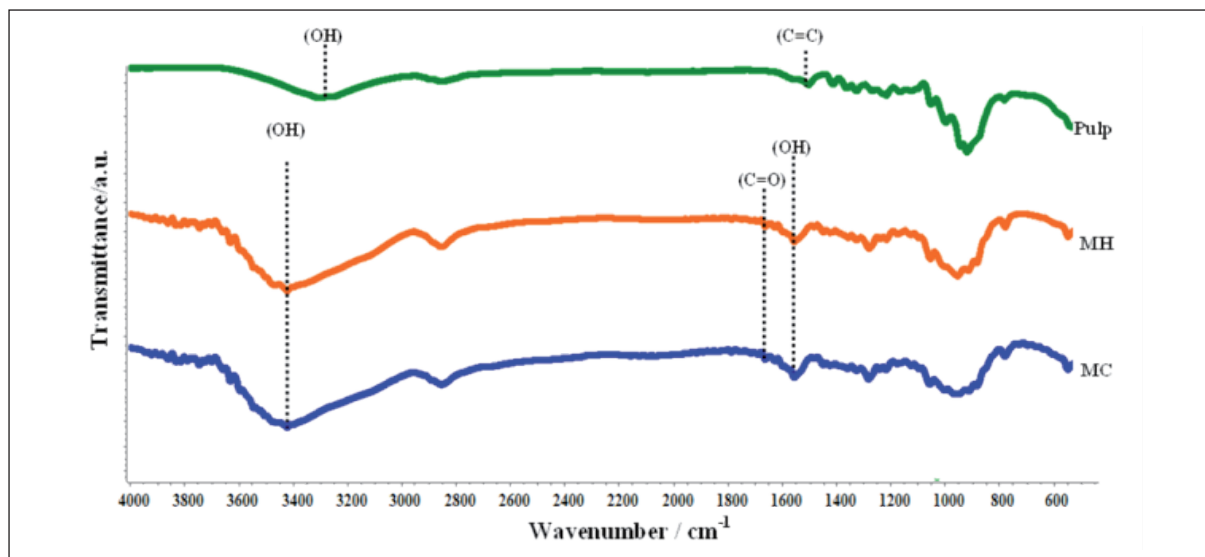
Gambar 4. A) Struktur mikro serat nanoselulosa menggunakan pelarut H_2SO_4 (MH) dan B). Struktur mikro serat nanoselulosa menggunakan pelarut $C_4H_4O_4$ (MC)



Gambar 5. Sebaran diameter serat nanoselulosa menggunakan pelarut H_2SO_4 (MH)



Gambar 6. Sebaran diameter serat nanoselulosa menggunakan pelarut $C_4H_4O_4$ (MC)



Gambar 7. Komponen Kimia Kandungan Serat Nanoselulosa Berdasarkan Analisis FTIR

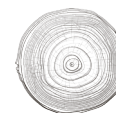
Observasi juga dilakukan terhadap gugus fungsi serat nanoselulosa yang merupakan penafsiran dari spektrum *infrared* (IR) oleh instrument *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) yang ditampilkan pada Gambar 7.

Secara umum, hanya terjadi pergeseran *peak* penanda dari material bahan baku yang kemudian menjadi serat nanoselulosa setelah proses fabrikasi. *Peak* 3225 cm^{-1} bergeser menjadi *peak* 3446 cm^{-1} yang menunjukkan serapan vibrasi ulur gugus fungsi -OH . Pergeseran ini disebabkan oleh adanya perlakuan basa, oksidasi, maupun hidrolisis asam. Ketajaman *peak* serapan gugus -OH tersebut dipengaruhi oleh adanya gugus asam dan alkohol yang terdapat pada serat nanoselulosa (Chen dkk., 2016). Kondisi ini mengindikasikan perubahan dari selulosa tipe I menjadi selulosa tipe II pada saat perlakuan alkali di tahap sebelumnya (Wang dkk., 2018). Selain itu, *peak* pada bagian ini merupakan penanda komponen hemiselulosa dan lignin (Tanpichai dkk., 2018).

Peak 1642 cm^{-1} berhubungan dengan group acetil (C=O) dari hemiselulosa ataupun gugus karboksil dari lignin dan/atau hemiselulosa (Zuluaga dkk., 2009). Proses ini disebabkan oleh adanya ikatan gugus hidroksil (-OH) dari serat nanoselulosa dengan gugus karbonil (C=O) dari asam malat, sehingga terjadilah gugus karboksil (-COOH). Proses esterifikasi ini terjadi karena labilnya ikatan antarrantai selulosa akibat kenaikan suhu dan pH yang dengan mudah terhidrolisis ikatan glikosidik $\alpha\text{-1,4}$ pada kondisi $\text{pH} < 3$ (Chen dkk., 2016). Serat nanoselulosa yang dihasilkan dari fase *pretreatment* pada fabrikasi serat nanoselulosa ini mampu mengurangi komponen nonselulosa berdasarkan observasi visual.

KESIMPULAN

Kayu mahang memiliki potensi sebagai sumber lignoselulosa baru untuk menghasilkan serat nanoselulosa. Melalui kombinasi teknik kimia dan mekanis pada tahap fabrikasi, diperoleh serat nanoselulosa sebagai material nano berbasis selulosa. Perbedaan karakter serat nanoselulosa yang dihasilkan berkaitan dengan perbedaan penggunaan larutan asam yang digunakan pada tahap hidrolisis. Dengan demikian, pemanfaatannya pun akan disesuaikan dengan karakter (dimensi dan komponen kandungan kimia) dari serat nanoselulosa tersebut.



UCAPAN TERIMA KASIH

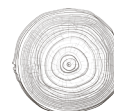
Penulis mengucapkan terima kasih dan apresiasi kepada Asst. Prof. Dr. Sutath Ratanaphan dan Asst. Prof. Manisara Phiriyawirut untuk seluruh sarannya. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pemberi beasiswa (Petchra Prajomklao) dan dukungan penuh dari jajaran Balai Litbang Teknologi Serat Tanaman Hutan di Kuok, Provinsi Riau.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprianis, Y., Akbar, O. T., & Rizqiani, K. D. (2018). Comparison the properties of raw material and kraft pulp from nature and plantation of geronggang wood (*Cratoxylon arborescens*). *Ilmu Teknologi Kayu Tropis*, 16(2), 177–183.
- Bian, H., Chen, L., Dai, H., & Zhu, J. Y. (2017). Integrated production of lignin containing cellulose nanocrystals (LCNC) and nanofibrils (LCNF) using an easily recyclable dicarboxylic acid. *Carbohydrate Polymers*, 167(01), 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.050>.
- Chen, L., Zhu, J. Y., Baez, C., Kitin, P., & Elder, T. (2016). Highly thermal-stable and functional cellulose nanocrystals and nanofibrils produced using fully recyclable organic acids. *Green Chemistry*, 18(13), 3835–3843. <https://doi.org/10.1039/c6gc00687f>.
- Chin, K. L., H'ng, P. S., Chai, E. W., Tey, B. T., Chin, M. J., Paridah, M. T., Lukman, A.C., & Maminski, M. (2013). Fuel characteristics of solid biofuel derived from oil palm biomass and fast growing timber species in Malaysia. *BioEnergy Research*, 6(01), 75–82. <https://doi.org/10.1007/s12155-012-9232-0>.
- Frianto, D., & Rinanda, R. (2015). *Sekubung tree (Macaranga hypoleuca) as alternative raw material for pulp*. Paper presented at the National Conference in Indonesian Wood Research Society (MAPEKI), Bandung, Indonesia.
- Kargarzadeh, H., Ioelovich, M., Ahmad, I., Thomas, S., & Dufresne, A. (2017). Methods for extraction of nanocellulose from various sources *handbook of nanocellulose and cellulose nanocomposites* (first edition) (pp. 1-49). John Wiley & Son/Wiley.
- Lengowski, E. C., Muñiz, G. I. B., Andrade, A. S., Simon, L. C., & Nisgoski, S. (2018). Morphological, physical, and thermal characterization of microfibrillated cellulose. *Resvita Arvore*, 42(01), 1–12. <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000100013>.
- Logothetidis, S. (2011). *Nanostructured materials and their applications*. Springer.
- Morais, J. P. S., de Freitas Rosa, M., Nascimento, L. D., do Nascimento, D. M., & Cassales, A. R. (2013). Extraction and characterization of nanocellulose structures from raw cotton linter. *Carbohydrate Polymers*, 91 (01), 229-235. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.08.010>.
- Rostiwati, T., Heryati, Y., & Bustomi, S (2007). Review hasil litbang “Kayu energi dan turunannya”. Pusat Litbang Hutan Tanaman.
- Saito, H., Shibuya, M., Tuah, J., Turjaman, M., Takahashi, K., Jamal, Y., Segah, H., Putir, P., & Limin, S. H. (2005). Initial screening of fast growing tree species being tolerant of dry tropical peatlands in Central Kalimantan-Indonesia. *Journal of Forestry Research*, 02(02), 1–10.
- Setiabudi, H., Y., Susanti, C., M., E., & Husodo, S. B. (2019). Sifat pembakaran partikel dan utuhan kayu mahang (*Macaranga tanarius* L.) dan kayu merbau (*Intsia bijuga* OK). *Jurnal Kehutanan Papuaasia* 5 (1), 15–22. <https://doi.org/10.46703/jurnalpapuasiasia.Vol.5.Iss1.106>.
- Schacht, C., Zetzl, C., & Brunner, G. (2008). From plant materials to ethanol by means of supercritical fluid technology. *The Journal of Supercritical Fluids*, 46(03), 299–321. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2008.01.018>
- Slik, J. W. F., & Van Welzen, P. C. (2001). A phylogeny of mallotus (euphorbiaceae) based on morphology: Indications for a pioneer origin of macaranga. *Systematic Botany*, 26(01), 786–796.
- Takeuchi, R., Wahyudi, I., Aiso, H., Ishiguri, F., Istikowati, W. T., Ohkubo, T., Ohshima, J., lizuka, K., & Yokota, S. (2016). Wood properties related to pulp and paper quality in two macaranga species naturally regenerated in secondary forests, Central Kalimantan, Indonesia. *Tropics*, 25(03), 107–115. <https://doi.org/10.3759/tropics.MS15-23>.
- Tanpichai, S., Witayakran, S., & Boonmahitthisud, A. (2018). Study on structural and thermal properties of cellulose microfibers isolated from pineapple leaves using steam explosion. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(01), 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.102836>.



- Tibolla, H., Pelissari, F. M., Martins, J. T., Vicente, A. A., & Menegalli, F. C. (2018). Cellulose nanofibers produced from banana peel by chemical and mechanical treatments: characterization and cytotoxicity assessment. *Food Hydrocolloids*, 75(01), 192–201. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.027>.
- Trache, D., Hussin, M. H., Haafiz, M. K., & Thakur, V. K. (2017). Recent progress in cellulose nanocrystals: Sources and production. *Nanoscale*, 9(05), 1763–1786. <https://doi.org/10.1039/c6nr09494e>.
- Wang, H., Chen, C., Fang, L., Li, S., Chen, N., Pang, J., & Li, D. (2018). Effect of delignification technique on the ease of fibrillation of cellulose ii nanofibers from wood. *Cellulose*, 25 (12), 7003–7015. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2054-2>.
- Wang, R., Chen, L., Zhu, J. Y., & Yang, R. (2017). Tailored and integrated production of carboxylated cellulose nanocrystals (CNC) with nanofibrils (CNF) through maleic acid hydrolysis. *Chem Nano Mat*, 3(05), 328–335. <https://doi.org/10.1002/cnma.201700015>.
- Wertz, J. L., Bedue, O., & Mercier, J. P. (2010). *Cellulose science and technology* (First ed. Vol. 01). EPFL Press.
- Zuluaga, R., Putaux, J. L., Cruz, J., Vélez, J., Mondragon, I., & Gañán, P. (2009). Cellulose microfibrils from banana rachis: Effect of alkaline treatments on structural and morphological features. *Carbohydrate Polymers*, 76(01), 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.09.024>.



Optimization of Microwave-assisted Maleic Acid Pretreatment of Sugarcane Trash by Response Surface Methodology

Euis Hermiati^{1*}, Riksfardini Annisa Ermawar¹, Raden Permana Budi Laksana¹, and Siti Mardiah²

¹Research Center for Biomaterials, Indonesian Institute of Sciences,
Jln. Raya Bogor Km 46, Cibinong, Bogor, 16911

²Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Lampung,
Jln. Prof. Dr. Soemantri Brodjonegoro No. 1, Bandar Lampung, 35145
E-mail: euis.hermiati@lipi.go.id

ABSTRAK

Limbah daun dan pucuk tebu merupakan salah satu bahan baku yang potensial untuk kilang hayati. Praperlakuan merupakan tahap awal dalam fraksionasi biomassa untuk menghasilkan berbagai produk. Pada penelitian sebelumnya telah dibandingkan praperlakuan menggunakan kombinasi pemanasan gelombang mikro dan asam, yaitu asam oksalat, asam maleat, dan asam fosfat pada pH yang sama. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan asam maleat menghasilkan gula pereduksi relatif lebih tinggi daripada dua asam lainnya. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan optimasi praperlakuan menggunakan kombinasi pemanasan gelombang mikro dan asam maleat dengan metode respons permukaan dan central composite design. Faktor yang dioptimasi terdiri dari lama pemanasan (2–8 menit), suhu (170–20 °C), dan konsentrasi asam (0,5–2%). Respons yang diamati adalah rendemen gula pereduksi berdasarkan bobot awal biomassa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model yang dihasilkan sesuai dan dapat digunakan untuk menduga hubungan antara ketiga faktor yang dioptimasi dan rendemen gula pereduksi. Kondisi optimum praperlakuan daun dan pucuk tebu menggunakan kombinasi pemanasan gelombang mikro dan asam maleat adalah pada konsentrasi asam 1,7% dan pemanasan pada suhu 19°C selama 3.2 menit. Pada kondisi ini, diperoleh rendemen gula pereduksi 38,21%.

Kata kunci: Asam maleat, daun tebu, metode respons permukaan, pemanasan gelombang mikro, rendemen gula pereduksi

ABSTRACT

Sugarcane trash is a promising feedstock for biorefinery. Pretreatment is the first step in the fractionation of biomass to produce multi-products. Our previous study had compared the use of oxalic acid, maleic acid, and phosphoric acid of the same pH in the microwave-assisted pretreatment of sugarcane trash. The results of the study showed that maleic acid produced the highest reducing sugars after enzymatic hydrolysis of the pretreated sugarcane trash. Therefore, in this study, we optimized the microwave-assisted pretreatment of sugarcane trash using maleic acid by applying response surface methodology (RSM) with a central composite design. Three factors were being optimized, namely duration of heating (2–8 min), temperature (170–20°C), and acid concentration (0.5–2%). The response observed was reducing sugars yield (RSY) per initial biomass. The results of the study show that the model generated from the optimization was fit and can be used to predict the relationship between the three factors with the reducing sugars yield. The optimum condition for the pretreatment of sugarcane trash by combining microwave heating and maleic acid was 1.7% maleic acid with heating at 19°C for 3.2 min. At these conditions, the RSY per initial biomass was 38.21%.

Keywords: Maleic acid, sugarcane trash, response surface methodology, microwave heating, reducing sugars yield.



INTRODUCTION

Sugarcane trash (ST) is abundantly available in sugarcane plantation, accounting for about 15–30% of the above ground biomass in the sugarcane plantation. In 2017 there was 430.112 ha of sugarcane plantation area, and a total of 21,212,950 tons of sugarcane were processed to produce cane sugar in Indonesia (FAO, 2018). Therefore, it is predicted that 9–21 tons/ha of sugarcane trash will be produced. This huge amount of biomass is a potential feedstock to produce sugars, which can be further fermented to bioethanol or other products and chemicals.

Microwave-assisted acid pretreatment of biomass has been reported by many researchers (Zhu et al., 2015a, 2015b; Fatriasari et al., 2018; Anita et al., 2020; Solihat et al., 2020; Mikulski and Klosowski, 2020). This pretreatment has also been used for sugarcane trash pretreatment, which included the use of oxalic, maleic, and phosphoric acids of different pH values (Hermiati et al., 2020a). This study also shows that at the same combined severity factor (CSF = 1), pretreatment using maleic and oxalic acids produced a higher yield of reducing sugar, with 30.8 and 29.2% (based on initial biomass, respectively), than that of using phosphoric acid with, 25.3%. However, an optimum condition of the pretreatment has not been reported. Therefore, in this study, we optimized the microwave-assisted pretreatment condition of sugarcane trash using one of those organic acids, which was maleic acid.

RSM is one of the optimization methods that have been widely used for the optimization of processes and products. There have been some studies of pretreatment optimization of lignocellulosic biomass using RSM, for example, optimization of alkali pretreatment of poplar biomass (Rawat et al., 2013), optimization of sulfuric acid pretreatment of extracted olive tree biomass (Martinez-Patino et al., 2017), optimization of alkaline and dilute acid pretreatment of agave bagasse (Avila-Lara et al., 2015), and optimization of microwave-oxalic acid pretreatment of oil palm empty fruit bunch (Anita et al., 2020). So far, there has not been any report regarding the optimization of sugarcane trash using the RSM method. Therefore, we chose the RSM for the optimization of microwave-maleic acid pretreatment of sugarcane trash.

The factors that are usually optimized in the pretreatment of lignocellulosic biomass are the duration of heating, temperature, solid loading, and acid or alkali concentration. These factors are served as independent variables in the experimental design. Certain parameters, which values depend on the combination of those factors, are served as responses or dependent variables. One of the most important parameters of an effective pretreatment is the yield of sugars obtained after enzymatic saccharification, because these sugars usually will be further fermented to ethanol. The higher the sugars yield, the higher the potential of ethanol that will be produced. In this study, we optimized three factors, namely acid concentration, temperature, and heating time. The response was reducing sugar yield obtained after enzymatic saccharification of the pretreated biomass.

MATERIALS AND METHODS

Materials

The ST used in this study was the same as that in our previous reports (See Hermiati et al., 2020a, 2020b). The material was obtained from PT. PG Rajawali II plantation in Subang, West Java in 2017. It contains $6.9 \pm 0.1\%$ of ash, $2.3 \pm 0.2\%$ of extractives, $17.4 \pm 3.7\%$ of acid insoluble lignin (AIL), and $70.5 \pm 0.4\%$ of holocellulose, comprised of $35.0 \pm 1.1\%$ α -cellulose, and $35.5 \pm 0.7\%$ hemicellulose. Maleic acid and other chemicals (Merck) were analytical grades and they were used without further purification.

Methods

Experimental Design

In this optimization study, we used rotatable central composite design (CCD) (Cochran & Cox, 1992) with 20 experimental points (2^3 factorial points, 6 star points, and 6 center points) to optimize the three



factors (heating time, temperature, and acid concentration) during pretreatment of the ST. With three factors to be optimized, the α value, which is the distance of each star point from the center in CCD, becomes $[2^k]^{1/4}$ or 1.682. The experiment at each run was conducted in duplicate. The ranges of acid concentration (0–2%), temperature (170–200°C), and heating time (2–8 min), were selected based on our previous experiments on microwave-organic acid pretreatment of some biomass, such as sugarcane bagasse, oil palm empty fruit bunch, and sugarcane trash (Sari et al., 2016; Solihat et al., 2017; Fatriasari et al., 2018; Anita et al., 2019; Hermiati et al., 2020). The quadratic second order polynomial model was fitted to the data by multiple regression analysis as shown in Equation 1.

$$Y = b_0 + b_1A + b_2B + b_3C + b_{12}AB + b_{13}AC + b_{23}BC + b_{11}A^2 + b_{22}B^2 + b_{33}C^2 + \dots(1)$$

where Y represents the response variable (reducing sugar yield, %); A (heating time, min), B (temperature, °C), and C (acid concentration, %) represent the independent variables; b_0 represents the interception coefficient; and $b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22},$ and b_{33} represent the regression coefficients, respectively. The data obtained were analyzed using the response surface methodology (RSM) with Design Expert® 12 software. The analysis of variance (ANOVA) was used to analyze the adequacy of the model.

Sugarcane Trash Pretreatment

Sugarcane trash pretreatment was conducted by following our previous study (See Hermiati et al., 2020b). Briefly, 3 g oven dry weight (ODW) of ST was put in a teflon tube and added with maleic acid and solid liquid with the ratio of 1:10. After degassing the tube at -20 bar vacuum for 5 min, the sample was heated in the microwave digester at 50% magnetic stirring with 12 min pre-heating and about 10 min of cooling. After that, the soluble fraction was separated from the insoluble fraction by filtration. The insoluble fraction or pulp was weighed and determined for its moisture content. The pulp recovery was then determined using Equation 2,

$$\text{Pulp recovery (\%)} = \left(\frac{((100-MCP)/100) \times WP}{WB} \right) \times 100 \dots(2)$$

where MCP is moisture content of pulp (%), WP is weight of pulp (g), and WB is oven dry weight of initial or untreated biomass (g).

Enzymatic Saccharification and Determination of Reducing Sugars Yield

The enzymatic saccharification was performed according to our previous study (See Hermiati et al., 2020). Briefly, 0.3 g (ODW) of the pretreated ST was put in a 100 mL Erlenmeyer flask. Fifteen mL of 0.05 M citrate buffer pH 4.8 was added to the sample, continued with the addition of 300 μ L of 2% sodium azide and cellulase enzyme CTEC2 (Novozymes, Bagvaerd, Denmark) (enzyme activity 160 FPU/mL) with an enzyme loading of 40 FPU per g pretreated biomass. The citrate buffer was then added to the mixture to get the total final weight of 30 g. Then, the samples were incubated in a shaking incubator (Wise Cube, witeg Labortechnik GmbH, Wertheim, Germany) at 150 rpm, 50°C for 72 hours. After that such procedures, the enzyme was inactivated by heating the samples in boiled water for 5 minutes. The samples were then cooled down to room temperature and centrifuged to separate the enzymatic saccharification residue from the enzymatic hydrolysate. The concentration of reducing sugars in the enzymatic hydrolysate was analyzed using the dinitrosalicylic acid (DNS) method (Miller, 1959). The reducing sugars yield (RSY) was determined based on the initial weight of biomass used in the pretreatment as shown in Equation 3,



$$RSY(\%) = \left(\frac{RSC \times 0,03}{WP} \right) \times PR \dots (3)$$

where RSY is reducing sugar yield based on the weight of initial biomass (%), RSC is reducing sugar concentration in the hydrolysate after enzymatic saccharification (g/L), 0.03 is the total volume of the hydrolysate (L), WP is the oven dry weight of pulp (g), and PR is pulp recovery (%).

RESULTS AND DISCUSSION

Model Fitting

Table 1 shows the RSY obtained from the optimization experiment of 20 runs, while Table 2 shows the result of the analysis of variance. The highest RSY (38.44% of initial biomass) was obtained from the saccharification of ST pretreated by 1.7% maleic acid at 194°C for 3.2 min, while the lowest (23.64% of initial biomass) was from that pretreated by 1.25% maleic acid at 185°C for 5 min. From the experiment conducted, we found that the model generated was significant (p value <0.05). Additionally, the independent variables that have significant effects were temperature and acid concentration. Followed by that, the interaction between time and temperature as well as time and acid concentration was also significant. In addition, the lack of fit is not significant relative to the pure error with F-value of 0.7256 and p value of 0.6333. This means that the model was good and fit, and can be used for predicting the RSY that could be obtained from the saccharification of ST that has been pre-treated by the combination of microwave heating with maleic acid catalyst. The coefficient of the determinant (R^2 , adjusted R^2 , and predicted R^2) were 0.9105, 0.8300, and 0.6407, respectively.

According to Raina et al. (2020), the R^2 0.7-1 represents a good model. The R^2 values obtained from this study were lower than those obtained from the pretreatment of olive tree biomass using sulfuric acid in a tank reactor with R^2 0.9774 and adjusted R^2 0.9576 (Martinez-Patino et al., 2017); and from the pretreatment of deodar sawdust by hydrochloric acid in an autoclave with adjusted R^2 0.9744 and predicted R^2 0.8956 (Raina et al., 2020). However, the R^2 obtained from our study was higher than that from the optimization of agave bagasse pretreatment using sulfuric acid in an autoclave with R^2 0.7270 (Avila-Lara et al., 2015); and comparable with that from our previous study on the optimization of oil palm empty fruit bunch pretreatment using oxalic acid in microwave digester with R^2 0.8846 (Anita et al., 2020). Considering the significant model, the insignificant lack of fit, and the high R^2 , it can be suggested that the quadratic regression equation model generated in this experiment in coded form (Equation 4) or actual form (Equation 5) was fit and can be used to predict the RSY obtained from enzymatic saccharification of microwave-maleic acid pretreated ST. The coefficient of factors that were optimized in Equation 4 shows that the factor that had the highest effects on RSY was acid concentration (1.81), followed by temperature (1.26), and heating time (0.2339).

$$RSY(\%) = 33.91 + 0.2339 A + 1.26 B + 1.81 C + 1.30 AB - 1.96 AC + 0.7150BC + 1.47 A^2 + 0.8549 B^2 - 2.23 C^2 \dots (4)$$

$$RSY(\%) = 457.80 - 16.27 \text{ Time} - 4.39 \text{ Temperature} + 10.96 \text{ Acid concentration} + 0.08 \text{ Time*Temperature} - 2.42 \text{ Time*Acid concentration} + 0.18 \text{ Temperature*Acid concentration} + 0.45 \text{ Time}^2 + 0.01 \text{ Temperature}^2 - 11.00 \text{ Acid concentration}^2 \dots (5)$$



Table 1. Design of Experiment of the Optimization of Microwave-Assisted Maleic Acid Pretreatment of Sugarcane Trash and the Reducing Sugar Yield (RSY) from Enzymatic Saccharification of the Pretreated Sugarcane Trash

Standard	Run	Time (min.)	Temperature (°C)	Acid concentration (%)	RSY (% initial biomass)		Residual (%)
					Experimental	Predicted	
1	19	3.2	176	0.8	30.88	30.76	0.1180
2	12	6.8	176	0.8	33.49	32.54	0.9452
3	13	3.2	194	0.8	29.61	29.25	0.3621
4	7	6.8	194	0.8	37.32	36.24	1.08
5	1	3.2	176	1.7	36.96	36.87	0.093
6	2	6.8	176	1.7	31.62	30.81	0.8102
7	18	3.2	194	1.7	38.44	38.21	0.2271
8	6	6.8	194	1.7	38.42	37.37	1.05
9	20	2	185	1.25	37.77	37.68	0.0894
10	9	8	185	1.25	36.72	38.47	-1.75
11	16	5	170	1.25	33.60	34.20	-0.6041
12	17	5	200	1.25	37.39	38.44	-1.05
13	11	5	185	0.5	23.64	24.56	-0.9241
14	14	5	185	2	29.91	30.64	-0.7338
15	8	5	185	1.25	36.78	33.91	2.87
16	3	5	185	1.25	34.62	33.91	0.7141
17	15	5	185	1.25	34.23	33.91	0.3241
18	5	5	185	1.25	32.89	33.91	-1.02
19	10	5	185	1.25	32.13	33.91	-1.78
20	4	5	185	1.25	33.07	33.91	-0.8359

Table 2. Analysis of Variance (Anova) of the Optimization of Microwave-Assisted Maleic Acid Pretreatment of Sugarcane Trash

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	Significancy
Model	241.31	9	26.81	11.30	0.0004	S
A-Time	0.7471	1	0.7471	0.3149	0.5870	NS
B-Temperature	21.70	1	21.70	9.15	0.0128	S
C-Acid concentration	44.62	1	44.62	18.81	0.0015	S
AB	13.57	1	13.57	5.72	0.0378	S
AC	30.73	1	30.73	12.96	0.0049	S
BC	4.09	1	4.09	1.72	0.2185	NS
A2	31.29	1	31.29	13.19	0.0046	S
B2	10.53	1	10.53	4.44	0.0613	NS
C2	71.54	1	71.54	30.16	0.0003	S
Residual	23.72	10	2.37			
Lack of Fit	9.97	5	1.99	0.7256	0.6333	NS
Pure Error	13.75	5	2.75			
Corrected Total	265.03	19				



RESPONSE SURFACE ANALYSIS

The 3D surface plots obtained from this study are presented in Figure 1, which show the interaction between time and temperature (Figure 1a), time and acid concentration (Figure 1b), and temperature and acid concentration (Figure 1c), and their effects on RSY.

Figure 1a shows that RSY increased as the temperature rise, either at a shorter or a longer heating time. The increase of RSY at a shorter heating time was not as great compared to that at a longer heating time. Meanwhile, at a lower temperature, the RSY decreased up to 6.5 min of heating, and then it was flattened with longer heating time. At a higher temperature, the RSY slightly decreased up to 5 min of heating, and then it increased greatly with a longer heating time. These suggested that the interaction between heating time and temperature affected the RSY, which was also shown by positive and the highest regression coefficient value (1.30) (Equation 4) as well as significant p value (Table 2) of that interaction.

Figure 1b shows that RSY increased greatly at a shorter heating time up to 1.6% acid concentration than it was flattened with the increase of acid concentration. At a longer heating time, the RSY increased gradually up to 1.3% acid concentration, and then it decreased gradually with an increase of acid concentration. Meanwhile, at lower acid concentration, the RSY increased greatly, and at a higher temperature the RSY decreased gradually up to 5 min of heating, then it increased slightly at a longer heating time. These interactions resulted in a negative regression coefficient value (-1.96) (Equation 4) and a significant p value (Table 2).

Figure 1c shows that at low and high temperature, the RSY kept increasing with an increase of acid concentration up to 1.6% acid concentration; next, it decreased gradually with an increase of acid concentration. The RSY obtained from the saccharification of ST at a higher temperature was higher than that at a lower temperature. Meanwhile, either at lower or higher acid concentration, the RSY stay flat up to a temperature around 190°C, then it increased gradually when the temperature was above 190°C. These interactions resulted in a positive but low regression coefficient (0.71), (Equation 4) and not significant p value (Table 2).

The optimization process shows that the optimum condition for the microwave-assisted maleic acid pretreatment of ST was at 194°C for 3.2 min using 1.7% maleic acid concentration (Figure 2). At this condition, the RSY reached 38.21% of initial biomass. This RSY is higher than that before the optimization process (28.8% of initial biomass) as reported in Hermiati et al. (2020a). Thus, the optimization of pretreatment is important and very useful for increasing the RSY. The RSY at the optimum condition of pretreatment obtained in this study is lower than that obtained from our previous study on microwave-assisted acid pretreatment of oil palm empty fruit bunch using sulfuric and maleic acids, which resulted in RSY of 51.03% of initial biomass after 2 days enzymatic saccharification and 47.21% of initial biomass after 3 days of enzymatic saccharification, respectively (Fatriasari et al., 2018). However, the RSY from this study is comparable with similar pretreatment studies using oxalic acid, which resulted in RSY 31.83–39.60% of initial biomass after 5 days of enzymatic saccharification (Solihat et al., 2020), and 34.60% of initial biomass after 3 days of enzymatic saccharification (Anita et al., 2020).

CONCLUSIONS

Optimization of microwave-assisted maleic acid pretreatment of ST by RSM has successfully increased the RSY obtained after enzymatic saccharification of the pretreated biomass. The RSY could reach 38.21% of initial biomass when the ST was pretreated at 194°C for 3.2 min using 1.7% maleic acid.

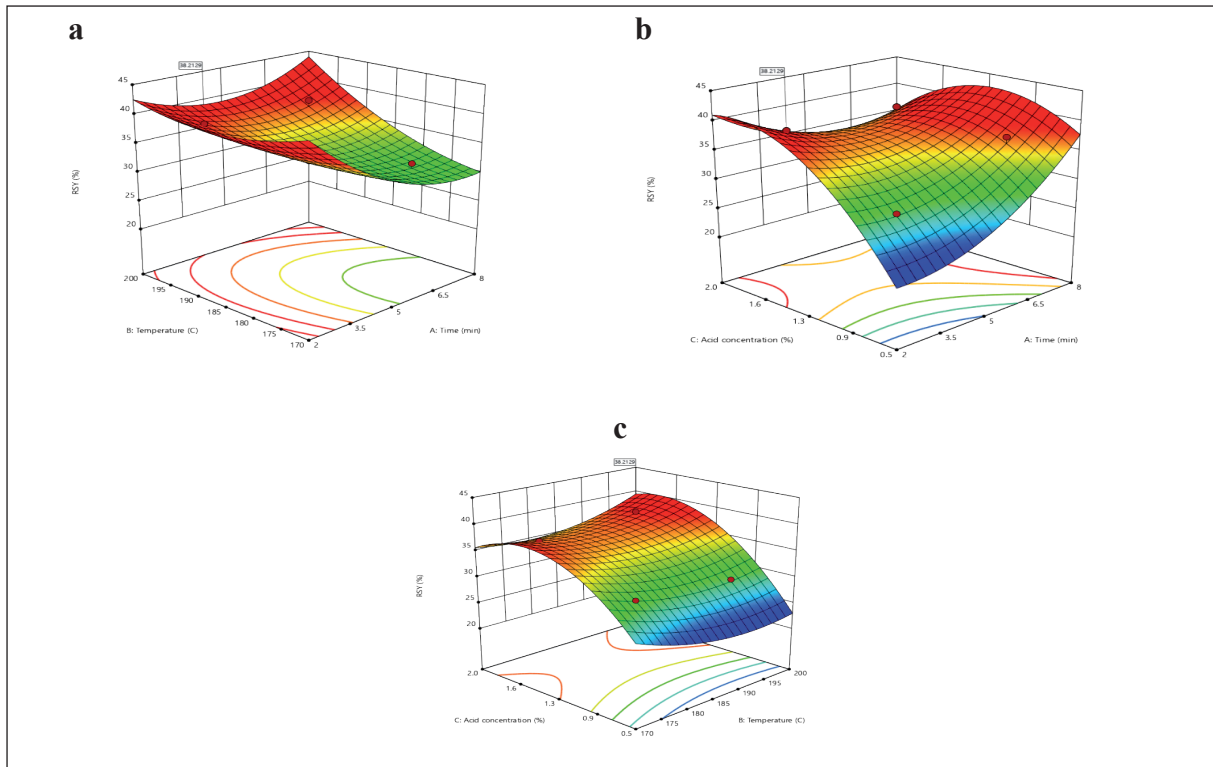


Figure 1. 3D Surface plots obtained from the optimization of microwave-assisted maleic acid pretreatment of sugarcane trash, which show the effects of heating time and temperature (a), the effects of heating time and acid concentration, (b) the effects of temperature and acid concentration, (c) on reducing sugars yield (RSY).

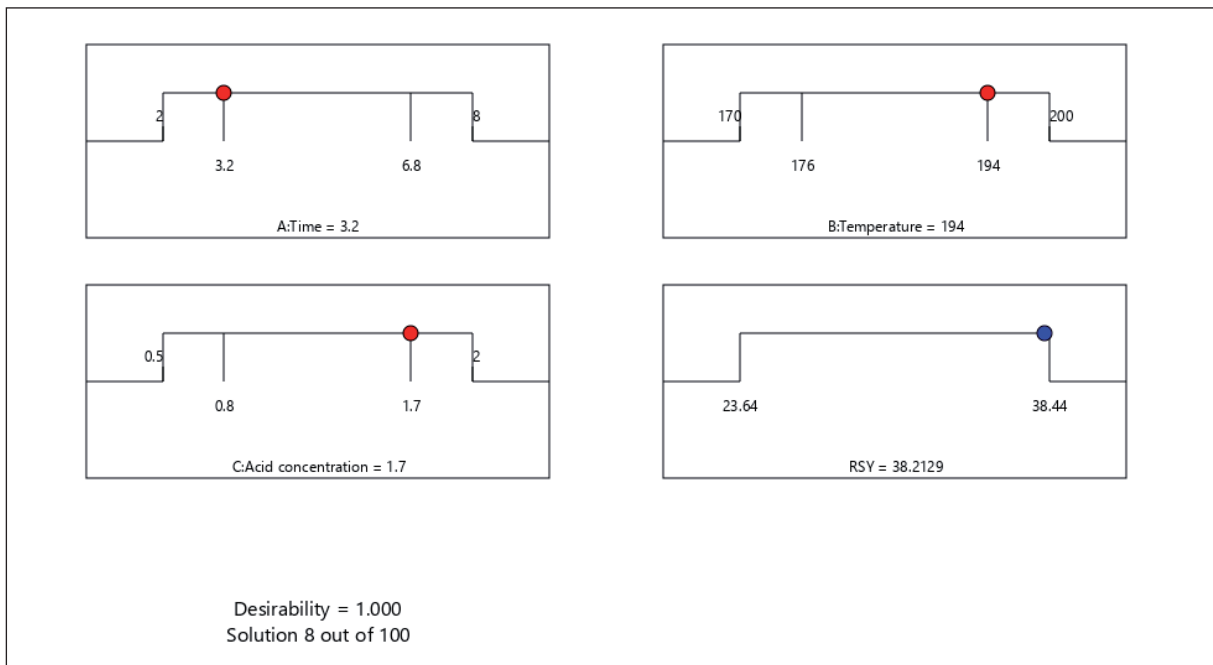


Figure 2. Ramp of Selected Optimum Condition of Microwave-Assisted Maleic Acid Pretreatment of Sugarcane Trash and Reducing Sugars Yield (RSY) at the Optimum Condition.



ACKNOWLEDGEMENT

This research is part of the JASTIPNet project on the “Development of integrated process for conversion of sugarcane trash to bioethanol and value-added chemicals” funded by the Japan Science and Technology Agency from October 2016 until September 2017. The authors gratefully acknowledge PT PG Rajawali II, Subang, West Java, Indonesia, for providing the sugarcane trash.

REFERENCES

- Anita, S.H., Fitria, Solihat, N.N., Sari, F.P., Risanto, L.R., Fatriasari, W., & Hermiati, E. (2020). Optimization of microwave-assisted oxalic acid pretreatment of oil palm empty fruit bunch for production of fermentable sugars. *Waste and Biomass Valorization*, *11*, 2673–2687.
- Avila-Lara, A.I., Camberos-Flores, J.N., Mendoza-Perez, J.A., Messina-Fernandez, S.R., Saldana-Duran, C.E., Jimenez-Ruis, E.I., Sanchez-Herrera, L.M., & Perez-Pimentia, J.A. (2015). Optimization of alkaline and dilute acid pretreatment of agave bagasse by response surface methodology. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *3*, 146.
- Cochran, W.G. & Cox, G.M., (1992). *Experimental designs*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Fatriasari, W., Raniya, R., Oktaviani, M., & Hermiati, E. (2018). The improvement of sugar and bioethanol production of oil palm empty fruit bunches (*Elaeis guineensis* Jacq) through microwave-assisted maleic acid pretreatment. *BioResources*, *13*(2), 4378–4403.
- Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. (2018). FAOSTAT. Retrieved July 19, 2019. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/>
- Hermiati, E., Laksana, R.P.B., Fatriasari, W., Kholida, L.N., Thontowi, A., Yopi, Arnicyanto, D.R., Champreda, V., & Watanabe, T. (2020a). Microwave-assisted acid pretreatment for enhancing enzymatic saccharification of sugarcane trash. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00971-z>
- Hermiati, E., Oktaviani, M., Ermawar, R.A., Laksana, R.P.B., Kholida, L.N., Thontowi, A., Mardiana, S., & Watanabe, T. (2020b). Optimization of xylose production from sugarcane trash by microwave-maleic acid hydrolysis. *Reaktor*, *20*(2), 81–88.
- Martinez-Patino, J.C., Romero, I., Ruiz, E., Cara, C., Romero-Garcia, J.M., Castro, E. (2017). Design and optimization of sulfuric acid pretreatment of extracted olive tree biomass using response surface methodology. *BioResources*, *12*(1), 1779–1797.
- Mikulski, D. and Klosowski, G. (2020). Microwave-assisted dilute acid pretreatment in bioethanol production from wheat and rye stillages. *Biomass and Bioenergy*, *136*, 105528.
- Miller, G.L (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, *31*, 426–428.
- Raina, N., Slathia, P.S., & Sharma, P. (2020). Response surface methodology for optimization of thermochemical pretreatment method and enzymatic hydrolysis of deodar sawdust (DS) for bioethanol production using separate hydrolysis and co-fermentation (SHCF). *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00970-0>
- Rawat, R., Kumbhar, B.K., & Tewari, L. (2013). Optimization of alkali pretreatment for bioconversion of poplar (*Populus deltoides*) biomass into fermentable sugars using response surface methodology. *Industrial Crops and Products*, *44*, 220–226.
- Sari, F.P., Solihat, N.N., Anita, S.H., & Fitria, Hermiati, E. (2016). Peningkatan produksi gula pereduksi dari tandan kosong kelapa sawit dengan praperlakuan asam organik pada reaktor bertekanan. *Reaktor*, *16*(4), 199–206.
- Solihat, N.N., Hermiati, E., & Adi, D.T.N. (2020). Microwave assisted dilute organic acid pre-treatment of oil palm empty fruit bunch to improve enzyme accessibility. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *935*, 012046.
- Solihat, N.N., Sari, F.P., Risanto, L., Anita, S.H., Fitria, Fatriasari, W., & Hermiati, E. (2017). Disruption of oil palm empty fruit bunches by microwave assisted-oxalic acid pretreatment. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, *49*(3), 244–257.



- Zhu, Z., Macquarrie, D.J., Simister, R., Gomez, L.D., & McQueen-Mason, S.J. (2015a). Microwave assisted chemical pretreatment of *Miscanthus* under different temperature regimes. *Sustainable Chemical Processes*, 3, 15.
- Zhu, Z., Simister, R., Bird, S., McQueen-Mason, S.J., Gomez, L.D., & Macquarrie, D.J. (2015b). Microwave-assisted acid and alkali pretreatment of *Miscanthus* biomass for biorefineries. *AIMS Bioengineering*, 2(4), 449–468

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Pengaruh Cendawan *Askomicetes* terhadap Kekuatan Tarik Vinir Kayu Karet Terimpregnasi

Ihak Sumardi^{1*}, Noor Rahmawati¹, dan Rudi Dungani¹

¹Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati-Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa 10, Bandung, 40132
E-mail: ihak@sith.itb.ac.id

ABSTRACT

Wood degradation due to fungi causes a decrease in mechanical properties and chemical components of wood. This study examined the relationship between changes in wood strength due to attack by a soft rot fungus. The study was conducted on rubber shavings and veneers (control and impregnated PF 20%). Inoculation of soft rot was carried out for 6 months to see a modification in wood chemistry, the change of weight and the degree of strength degradation which was approximated by tensile strength. The results showed that there had been changes in the constituent chemistry, especially in cellulose and hemicellulose. The change of weight during 6 months of feeding was relatively small, compared to the tensile strength degradation of the veneers tested which reached 30%. This indicates that the changes that occur in wood due to fungal attack will be significant for the mechanical ability of the wood, so early detection or prevention of fungal attack is important to do especially for the industry and the end use of the product.

Keywords: Soft Rot Function, Veneer, Pf, Tensile Strength, Weight Loss, and Chemical Components

ABSTRAK

Kerusakan kayu akibat jamur menyebabkan penurunan kemampuan kayu pada sifat mekanik karena terjadinya perubahan komponen kimia kayu. Penelitian ini mengkaji bagaimana hubungan perubahan kekuatan kayu akibat serangan jamur pembusuk lunak (*soft rot*). Penelitian dilakukan pada serutan dan vinir karet (kontrol dan terimpregnasi phenol formaldehyde 20%). Inokulasi jamur pelapuk lunak dilakukan selama 6 bulan untuk melihat perubahan kimia kayu, perubahan berat, dan tingkat perubahan kekuatan yang dilakukan dengan perubahan kekuatan tarik. Hasil penelitian menyatakan telah terjadi perubahan kimia penyusun khususnya pada selulosa dan hemiselulosa. Perubahan penurunan berat selama 6 bulan pengumpanan terjadi relatif kecil dibandingkan perubahan kekuatan tarik pada vinir yang diuji yang mencapai 30%. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan yang terjadi pada kayu akibat serangan jamur akan signifikan terhadap kemampuan mekanik kayu, sehingga deteksi dini atau preventif dari serangan jamur menjadi penting untuk dilakukan, khususnya bagi industri maupun pemakaian akhir produk.

Kata Kunci: Soft Rot Fungi, Vinir, Pf, Kekuatan Tarik, Penurunan Berat, dan Komponen Kimia

PENDAHULUAN

Kayu adalah bahan organik alami yang sangat rentan terhadap proses biodegradasi oleh serangan insek, jamur, dan bakteri (Kalawate & Mahetre, 2015). Berbagai jenis jamur menghuni kayu (*wood-inhabiting fungi/WIF*), meliputi banyak spesies, di antaranya mold, *staining fungi* (fungi pewarna), dan *decay fungi* (fungi pelapuk). Kayu yang terkena paparan lingkungan menjadi rentan terhadap kerusakan dan pembusukan. Kayu secara efektif didekomposisi oleh agen mikroba. Pada kondisi di atas tanah dan di lingkungan yang tidak berair, kayu terdegradasi oleh fungi basidiomisetes. Pemaparan yang terus-menerus dari bahan kayu ke dalam lingkungan yang mendukung dapat mengakibatkan adanya proses disintegrasi dan deteriorasi dari kayu dan degradasi dari tiap-tiap komponen (Gu, 2003).



Pelapukan kayu dan produk kayu saat digunakan adalah masalah yang serius dan mahal bagi industri hasil hutan. Pelapukan kayu menyebabkan kerugian ekonomi pada saat penggunaan kayu (Scheffer, 1973). Hasil survei kerusakan komponen rumah di berbagai daerah menunjukkan bahwa kasus kerusakan oleh fungi pelapuk putih (*white rot fungi*) menempati persentase tertinggi (47%) diikuti fungi pelapuk cokelat (*Brown rot fungi*) 36 %, dan fungi pelapuk lunak (*soft rot fungi*) sebesar 17%. Di Bogor, kerugian akibat pelapukan bangunan rumah Rp3,7 miliar/tahun; di Malang Rp3,9 miliar/tahun, sedangkan di Semarang Rp7,7 miliar/tahun (Priyadi, 2011). Kerusakan struktural yang disebabkan oleh fungi pelapuk kayu telah meningkat tajam, sehingga dibutuhkan penelitian-penelitian tentang fungi perusak kayu yang banyak menyerang kayu pada berbagai tahap pengolahan kayu.

Penelitian jamur yang menyerang kayu telah banyak dilakukan selama awal pembusukan kayu. Perubahan kecil pada komposisi kimia kayu dapat menghasilkan pengurangan kekuatan yang dapat diukur sebelum penurunan berat terjadi secara signifikan (Wilcox, 1978; Winandy & Morrell, 1993; Curling dkk., 2002). Oleh karena itu, mendeteksi atau mengidentifikasi kerusakan biologis pada kayu penting dilakukan sejak dini. Banyak teknik untuk menilai kerusakan kayu, seperti penurunan berat (Carneiro dkk., 2009), kekuatan dan modulus loss (Yu dkk., 2011), mikroskop teknik (Schwarze, 2007), analisis difraksi sinar-X (Li dkk., 2011), perubahan berat molekul (Wang dkk., 2013), termogravimetri analisis (Popescu dkk., 2010), perubahan inframerah spektrum (Popescu dkk., 2011), magnet nuklir solid-state ¹³C resonansi (Tomak dkk., 2013). Beberapa penelitian yang sudah dilakukan umumnya diterapkan untuk kayu solid, sementara untuk kayu komposit atau komponen komposit belum banyak dilakukan.

Beberapa permasalahan dalam industri terjadi setelah kayu komposit dihasilkan dan terserang jamur, sehingga perlu dilihat lebih jauh tingkat serangan dan jenis jamur yang menyerang. Rahmawati dkk., (2020) menyatakan bahwa terdapat 5 jenis jamur kelompok askomisetes ini yang menyerang kayu composite (Laminated Veneer Lumber/LVL). Kelompok askomisetes mampu mengubah struktur komponen kimia kayu, tetapi penelitian belum menghubungkannya dengan tingkat kekuatan akibat serangan jamur yang terjadi. Oleh karena itu, penelitian perubahan kekuatan sebagai akibat serangan jamur menjadi penting untuk dilakukan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan komponen kimia dan kemunduran kekuatan tarik akibat serangan jamur pelapuk lunak yang dikorelasikan dengan perubahan berat. Pengujian dilakukan pada vinir sebagai bahan pembuatan LVL sehingga kajian penelitian menjadi lebih fokus. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai fungi yang banyak menyerang kayu pada setiap tahap pengolahan kayu, sehingga ke depan dapat dilakukan perlakuan yang sesuai agar produk LVL dapat tahan terhadap jamur perusak kayu dalam kelompok askomisetes.

BAHAN DAN METODE PERCOBAAN

1. Jamur

Jenis jamur yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil isolasi dari kayu karet lamina terimpregnasi yang mengalami serangan jamur perusak. Jenis isolat yang sudah ditemukan dan diujikan pada penelitian ini adalah dari kelompok askomycetes yang ditumbuhkan pada cawan petri dengan menggunakan medium



Gambar 1. Hasil Isolat Jamur Kelompok Askomisetes yang Sudah Dibiakan pada Medium PDA di Cawan Petri.



PDA. Jenis jamur yang digunakan terdiri dari *Aspergillus tamarii*, *Penicillium citrinum*, *Trichoderma longibrachiatum*, dan *Fusarium solani* (Gambar 1).

2. Kayu

Kayu yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu karet dalam bentuk serutan dari vinir kayu karet (terimpregnasi PF 20% dan tanpa impregnasi) yang diambil dari salah satu industri plywood di daerah Tangerang. Isolat jamur yang akan digunakan ditumbuhkan pada medium PDA dan diinkubasikan selama 7 hari sebelum ditanamkan pada serut/vinir kayu, baik yang sudah mengalami impregnasi maupun tanpa impregnasi.

3. Prosedur Pengujian

Serutan kayu ditimbang sebanyak 5 gr dan dimasukkan ke dalam botol jar dan ditutup dengan plastik tahan panas. Botol jar berisi kayu serutan selanjutnya dilakukan sterilisasi pada autoklaf pada suhu 121°C tekanan 1 atm selama 30 menit. Isolat jamur dari medium PDA dipotong sebesar 1x1 cm² sebanyak 5 buah dan dimasukkan ke dalam botol jar yang berisi media serutan kayu yang sudah disterilisasi. Proses inkubasi dilakukan selama 6 bulan pada suhu ruang (Gambar 2). Pengamatan secara visual dilakukan 1 bulan sekali, dan pada akhir perlakuan dilanjutkan dengan analisis selulosa, hemiselulosa, dan lignin.

Kadar selulosa, hemiselulosa, dan lignin diuji dengan metode Chesson-Datta (1981). Tes Chesson-Datta berfungsi untuk menyatakan persentase massa dari tiga senyawa yang terdapat dalam sampel, yaitu lignin, selulosa, dan hemiselulos.

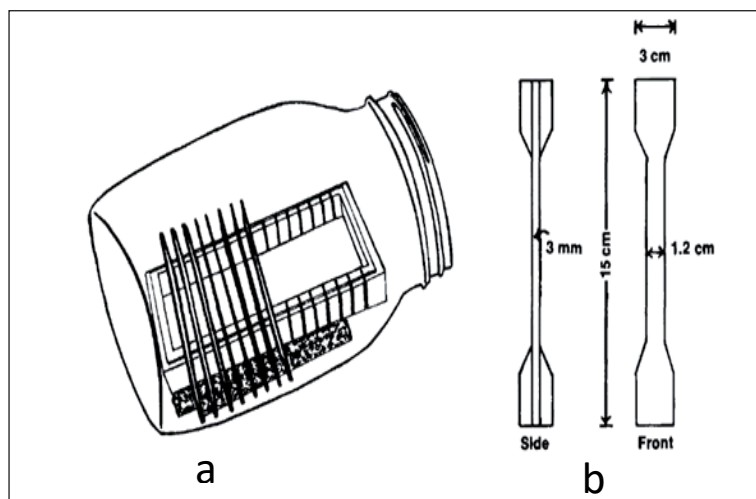
Isolat jamur yang sama juga diumpankan pada vinir karet, baik yang sudah terimpregnasi maupun belum dengan tujuan melihat perubahan kekuatan dan perubahan berat vinir akibat dari serangan jamur. Impregnasi phenol 20% diberikan pada vinir karet dan untuk kontrol pengaruh impregnasi digunakan vinir karet yang tidak dilakukan impregnasi.

Spesimen uji tarik dibuat dari vinir karet berukuran (0,3 cm x 3 cm x 15 cm), kemudian dipotong untuk membentuk strip selebar 1,2 cm di bagian tengah seperti pada Gambar 3. Ruang pengujian yang digunakan adalah stoples kaca mulut lebar (3,8 liter) dengan tutup ulir dan ditempatkan secara horizontal. Sebuah kotak geser kayu (15 cm x 9,4 cm x 4,4 cm) ditempatkan di setiap stoples. Sisi panjang kotak ditempatkan untuk menahan 15 strip vinir (dengan jarak yang sama) dalam posisi horizontal (Gambar 3).

Penempatan kotak ditujukan agar hanya bagian tengah dari strip vinir yang diserang oleh jamur. Strip vinir direndam dalam larutan nutrisi monosodium glutamate 0,4% (MSG) (Nilsson, 1973) selama 30 menit, dikukus pada suhu 100°C selama 10 menit, dan ditempatkan di slot. Spon lembap yang steril ditempatkan di bawah setiap kotak sebagai penyangga dan untuk menjaga kelembapan tetap tinggi. Tiga puluh gram vermikulit yang diautoklaf (45 menit pada suhu 121°C) kemudian dikemas ke dalam



Gambar 2. Kondisi Pengujian Inkubasi Jamur pada Serutan Kayu



Sumber: Morrell and Zaber (1985)

Gambar 3. Skematik pengujian vinir. Spesimen vinir karet yang diumpankan pada spesimen ke jamur soft rot untuk pengujian kekuatan tarik sejajaj serat. a) Gambar skema ruang peluruhan dengan setengah dari strip uji dipasang untuk menggambarkan perakitan. b) Sketsa tampilan samping dan depan strip uji vinir dengan blok geser terpasang, siap untuk pengujian kekuatan tarik.

setiap kotak untuk mengelilingi dan menutupi strip vinir. Nutrisi larutan (120 ml per ruang) dituangkan secara merata di atas vermikulit. Ruang pengujian kemudian diautoklaf selama 45 menit pada 121°C, didinginkan selama 24 jam, dan diautoklaf ulang selama 15 menit pada

Setelah pendinginan, ruang diinokulasi dengan penambahan 20 ml suspensi miselium untuk setiap jamur uji. Selain itu, satu ruang pengujian untuk setiap pengujian kayu hanya menerima 20 ml medium malt ekstrak (ME) steril dan berfungsi sebagai kontrol sterilisasi. Setelah satu bulan, 5 strip uji dikeluarkan dari setiap ruang pengujian, dibersihkan dari miselium dan Vermikulit yang menempel, dan dikeringkan untuk menonaktifkan jamur.

Dua puluh ml air suling steril ditambahkan ke setiap ruang pengujian sebelum dimasukkan kembali ke ruang inkubator. Setelah 6 bulan, spesimen uji diambil dari ruang inkubator dan ditangani dengan cara yang sama. Pada akhir percobaan, contoh uji dikeluarkan dan dibersihkan dari miselium yang melekat secara hati-hati, dan ditimbang pada kondisi sebelum dan sesudah pengujian dikeringkan dengan oven, untuk mengetahui persentase kehilangan beratnya. Selanjutnya, sampel uji dilakukan pengujian tarik menggunakan Mesin Uji Tarik Instron (Instron Engineering Corp., Quincy, MA). Load cell 0 sampai 1.000 pon digunakan. Uji kekuatan serupa dilakukan pada kontrol.

4. Evaluasi Mekanik

Evaluasi sifat mekanik dan perubahan penurunan berat dilakukan untuk mengetahui penurunan kekuatan akibat serangan jamur pada kayu. Jenis uji yang dipakai adalah pengujian kekuatan tarik sebelum dan sesudah pengujian jamur. Semua pengujian dilakukan dengan 5 ulangan untuk setiap parameter pengujian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Komposisi kimia

Perubahan kimia komponen kayu disampaikan pada Gambar 4. Perbedaan warna dari serutan kayu sebelum pengujian dan setelah pengujian diamati untuk satu bulan pengujian. Secara visual, belum



terlihat jelas perubahan serutan kayu yang terserang oleh jamur, yang terlihat hanya perubahan warna yang cenderung lebih gelap, mengingat masa inkubasi baru berjalan selama 1 bulan dan belum diambil data yang periodik untuk pengamatan lebih lanjut. Tingkat inkubasi jamur secara umum terjadi perlahan, keberadaan jamur yang memerlukan kondisi lembap dan banyaknya serutan kayu yang menjadi sampel sulit terdeteksi untuk kondisi pada awal pengujian.

Pada serutan kayu yang mengalami degradasi jamur, terjadi perubahan warna dari coklat muda ke coklat tua. Selain itu, terjadi peningkatan kelembapan *chamber* dan kelembapan kayu sehingga meningkatkan berat kayu yang diuji. Perubahan ini terjadi pada vinir yang sudah mengalami impregnasi maupun tidak dengan kecepatan yang berbeda. Perubahan kandungan kimia kayu terjadi pada vinir kayu yang mengalami serangan jamur pelapuk kayu lunak, terutama pada kandungan selulosa dan hemiselulosa (Tabel 1).

Kadar selulosa dan hemiselulosa pada kayu karet impregnasi yang terinfeksi jamur sedikit lebih rendah dibandingkan dengan kayu yang tidak terinfeksi jamur (Tabel 1). Penurunan kadar selulosa dan hemiselulosa pada kayu karet yang diresapi jamur disebabkan oleh jamur yang menyerang selulosa dan hemiselulosa.

Proses serangan jamur pada kayu terjadi dengan tahapan isolat yang melunakkan permukaan kayu, memutihkan dan mengubah warna kayu, dan menutup banyak lumen sel dengan hifa yang melimpah (Gambar 5). Serangan awal isolat paling menonjol di tepi sampel, terutama yang berdekatan dengan permukaan penampang, dan menurun ke arah tengah dari sampel-hal ini belum terjadi pada sampel yang diujikan.



Gambar 4. Perubahan Warna Serutan Kayu Sebelum dan Setelah Pengujian pada Bulan Pertama



Gambar 5. Hifa Jamur yang Mengoloni Serut Kayu (a) Proses Degradasi Serut Kayu oleh Jamur yang Ditandai Perubahan Warna dari Cokelat Muda Menjadi Cokelat Tua



Tabel 1. Karakteristik Kandungan Kimia pada Sampel Kayu untuk Substrat Pengujian Jamur Selama Enam Bulan

Material	Perlakuan Inkubasi Jamur Soft rot	Alcohol Benzene Extractive Content (%)	Kadar Cellulose (%)	Kadar Hemicellulose (%)	Kadar Lignin (%)	Kadar Abu (%)
Vinir karet	Sebelum Perlakuan	18,22 (1,03)	21,01 (1,56)	11,62 (1,27)	46,54 (1,26)	0,76 (0,11)
	Sesudah Perlakuan	16,02 (1,06)	20,04 (1,42)	5,72 (1,67)	56,34 (1,76)	1,91 (0,51)
Vinir karet terimpregnasi 20% PF	Sebelum Perlakuan	19,67 (1,24)	16,56 (1,43)	16,07 (1,33)	46,97 (1,05)	4,26 (0,72)
	Sesudah Perlakuan	17,36 (1,32)	14,87 (1,43)	7,77 (1,09)	58,89 (1,87)	3,16 (0,52)

Rendahnya kadar selulosa pada kayu impregnasi yang terkena serangan jamur diduga karena adanya kandungan phenol folmalhedyde yang mampu mendegradasi selulosa sehingga menurunkan kandungan selulosa. Di sisi lain, kandungan lignin yang tinggi pada kayu impregnasi yang diserang jamur dikaitkan dengan penambahan fenol sebagai bagian dari proses impregnasi.

2. Penurunan berat

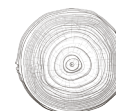
Penurunan berat pada masing-masing contoh uji terlihat meningkat seiring dengan lamanya waktu inkubasi jamur pada contoh uji. Penurunan berat terbesar terjadi pada vinir control mencapai 7,09% sampai bulan ke-6, sedangkan pada vinir karet terimpregnasi relatif lebih kecil hanya mencapai 2,04% dari berat awal (Tabel 2). Secara umum, tren penurunan berat sama pada kedua contoh uji, dan terlihat penurunan terbesar terjadi setelah masa inkubasi bulan ke-3, di mana sebelumnya relatif rendah. Fenomena ini sesuai dengan pernyataan Wilcox (1978) bahwa penurunan berat sulit terdeteksi pada tahap awal infeksi jamur dan akan meningkat seiring dengan lamanya masa inkubasi jamur pada kayu.

Jenis jamur ini menyebabkan penurunan bobot terkecil pada vinir terimpregnasi, penurunan berat relatif konstan sampai bulan ke-3, dan meningkat setelahnya walaupun peningkatannya tidak terlalu besar. Jumlah besar kerusakan busuk lunak, terutama pembentukan rongga, umumnya dikaitkan dengan kehilangan berat yang lebih tinggi di dalam kayu. Namun, serangan terkonsentrasi di zona luar kayu mengakibatkan penurunan berat awal yang relatif besar. Serangan lanjutan dari wilayah ini mengakibatkan penghilangan hampir seluruh material dinding sel (Morell & Zaber, 1985).

Keberadaan phenol formaldehyde pada vinir karet terimpregnasi memengaruhi tingkat serangan jamur yang terjadi, walaupun secara umum impregnasi phenol pada vinir karet belum bisa mengatasi secara baik serangan jamur dan hanya mampu memperlambat tingkat serangan dengan rata-rata penurunan tingkat serangan sebesar 50% dibandingkan vinir karet kontrol. Hal ini sejalan dengan pernyataan Bakar dkk. (2013) dan Nurizreen dkk. (2011) bahwa PF tidak hanya secara langsung menghambat laju pertumbuhan jamur pelapuk kayu, tetapi juga bekerja dengan baik dalam melindungi kayu karena PF resin dapat menembus dinding sel kayu dan meningkatkan durabilitasnya.

3. Perubahan kekuatan

Perubahan kekuatan tarik yang terjadi pada vinir karet yang terinfeksi jamur dijelaskan pada Tabel 3. Perubahan kekuatan tarik meningkat seiring dengan waktu inkubasi jamur pelapuk lunak. Perubahan kekuatan terbesar terjadi pada vinir kontrol mencapai 60,03% pada bulan ke-6 dan hanya 40,32% pada



Tabel 2. Persentase Kehilangan Berat Vinir Karet pada Kontrol dan Vinir Terimpregnasi yang Diinkubasi dengan Jamur

Material	Berat (g)	Bulan							
		0	1	2	3	4	5	6	
Vinir karet	mean	3,13	0	0,54	0,89	1,74	3,12	5,45	7,09
	sd	0,24	0	0,14	0,27	0,65	0,73	0,97	1,2
Vinir karet terimpregnasi 20% PF	mean	4,39	0	0,21	0,45	0,92	1,23	1,75	2,04
	sd	0,48	0	0,08	0,11	0,07	0,14	0,53	0,89

Tabel 3. Perubahan Nilai Kekuatan Tarik (MPa) dan Persentase Kehilangan Kekuatan pada Vinir Karet dan Vinir Karet Terimpregnasi akibat Inkubasi Jamur

Sample condition		Bulan						
		1	2	3	4	5	6	
Vinir karet	Kekuatan Tarik (MPa)	mean	410,42	397,90	367,20	301,29	216,53	90,42
		sd	239,35	201,40	152,34	140,79	104,02	02,09
	Perubahan kekuatan (%)	5,23	8,12	15,21	30,43	50,01	56,03	
Vinir karet terimpregnasi 20% PF	Kekuatan Tarik (MPa)	mean	526,47	511,38	490,15	430,70	376,15	354,00
		sd	211,04	201,76	227,76	173,22	162,36	186,18
	Perubahan kekuatan (%)	2,32	5,12	9,06	20,09	30,21	34,32	

vinir karet terimpregnasi. Jika dilihat dari nilai standar deviasi untuk kedua material yang diuji relatif besar. Besarnya variasi kekuatan mungkin disebabkan oleh mode serangan jamur yang tidak merata. Penurunan kekuatan oleh jamur busuk lunak yang diuji tampaknya mampu merusak dinding sel yang sehingga berpotensi memengaruhi kekuatan kayu (Morell & Zaber, 1985).

Kehilangan kekuatan vinir karet pada bulan ke-4 setara dengan kehilangan kekuatan pada beech dan pinus (Morell & Zaber, 1985) dan berbeda dengan vinir terimpregnasi. Impregnasi PF pada vinir karet ternyata mampu meningkatkan kekuatan tarik dibandingkan kontrol dan mampu menahan laju penurunan kekuatan akibat serangan jamur. Keberadaan PF resin pada struktur sel kayu mengakibatkan kerapatan vinir menjadi lebih tinggi dan secara umum meningkatkan kekuatan vinir. Hasil ini sejalan dengan penelitian Ryu dkk. (1991) bahwa penggunaan resin fenol formaldehida (PF) sebagai impregnan pada kayu mampu mencegah kerusakan kayu oleh jamur pelunak dan kandungan fenolik dapat meningkatkan daya tahan terhadap rayap tanah dan pembusukan busuk putih (Aik Fei, 2010; Nurizreen dkk., 2011).

Proporsi kehilangan kekuatan kecil di awal infeksi dan meningkat tajam setelah bulan ke-3, baik pada kontrol maupun vinir terkomregnasi, disebabkan oleh persentase sel jari-jari kayu karet yang rendah. Setelah itu, kolonisasi (bulan ke-5) jamur yang mudah mengakses karbohidrat mengakibatkan kolonisasi menyerang lebih cepat pada dinding trakeid longitudinal menyebabkan kehilangan kekuatan yang lebih besar (Morell & Zaber, 1985).

Setelah bulan ke-5, tren kehilangan kekuatan menurun dibanding bulan ke-3 sampai ke-5. Kemungkinan penyebabnya adalah dimensi spesimen tarik yang kecil. Karena busuk lunak efek permukaan secara drastis mengurangi kekuatan di zona serangan jamur (Henningsson, 1967), ukuran spesimen yang kecil dan luas permukaan yang besar memungkinkan terjadinya infeksi jamur. Ini menjelaskan mengapa tren penurunan kekuatan setelah bulan ke-5 cenderung menurun, baik untuk kontrol maupun vinir terimpregnasi.



KESIMPULAN

Impregnasi PF resin pada vinir memberikan ketahanan material yang lebih baik terhadap serangan pembusukan dibandingkan dengan karet kontrol. Peningkatan ketahanan serangan jamur pelapuk lunak pada vinir terimpregnasi meningkat 50% dibandingkan dengan kontrol, serta mampu memperkecil kehilangan kekuatan akibat serangan jamur. Kandungan kimia kayu yang terdegradasi jamur didominasi oleh hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Serangan jamur secara signifikan terjadi setelah inkubasi jamur di atas 3 bulan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (Program Riset PDUPT 2020) yang mendukung terlaksananya penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Aik Fei, A. (2010). *Properties and decay resistance of mahang (Macaranga sp.) treated with phenolic resin and acrylic monomer using vacuum-pressure process* [disertasi]. University Putra Malaysia.
- Bakar, E.S., Hao, J., Ashaari, J., & Yong, A.C.C. (2013). Durability of phenolic-resin-treated oil palm wood against subterranean termites and white-rot fungus. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 126–130.
- Carneiro, J.S., Emmert, L., Sternadt, G.H., Mendes, J.C., & Almeida, G.F. (2009). Decay susceptibility of Amazon wood species from Brazil against white rot and brown rot decay fungi. *Holzforchung*, 63, 767–772.
- Curling, S.F., Clausen, C.A., & Winandy, J.E. (2002). Relationships between mechanical properties, weight loss, and chemical compositions of wood during incipient brown-rot decay. *For. Prod. Soc.*, 52, 34–39.
- Datta, R. (1981). Acetogenic fermentation of lignocellulose-acid yield and conversion of components. *Biotechnology and Bioengineering*, 23(9), 2167–2170.
- Gu, J.D. (2003). Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: recent research advances. *Int. Biodeter. & Biodegr.*, 52, 69–91.
- Henningsson, B. (1967). *Changes in impact bending strength, weight and alkali solubility following fungal attack on birch wood*. Studia forestalia Suecica.
- Kalawate, A & Mehetre, S. (2015). Isolation and characterization of mold fungi and insects infecting sawmill wood, and their inhibition by gamma radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 117, 191–197.
- Li, G., Huang, L., Hse, C.Y., & Qin, T. (2011). Chemical compositions, infrared spectroscopy, and x-ray diffractometry study on brown-rotted woods. *Carbohydr. Polym.*, 85, 560–564.
- Morell, J.J & Zabel, R. A. (1985). Wood strength and weight losses caused by soft rot fungi isolated from treated southern pine utility poles. *Wood Science and Fiber*, 17(1), 132–143.
- Nilsson. (1973). *Studies on wood degradation and cellulolytic activity of microfungi*. Studia Forestalia Suecica.
- NurIzreen, F.A., Zaidon, M.A., Adawiah, R., Bakar, E.S., & Paridah. M.T. (2011). Enhancing the properties of low-density hardwood *Dyera costulata* through impregnation with phenolic resin admixed with formaldehyde scavenger. *Journal of Applied Science*, 11, 3474–3481.
- Popescu, C.M., Larsson, P.T., & Vasile, C. (2011). Carbon-13 CP/MAS solid state NMR and x-ray diffraction spectroscopy studies on lime wood decayed by *Chaetomium globosum*. *Carbohydr. Polym.*, 83, 808–812.
- Popescu, C.M., Lisa, G., Manoliu, A., Gradinariu, P., & Vasile, C. (2010). Thermogravimetric analysis of fungus-degraded lime wood. *Carbohydr. Polym.*, 80, 78–83.
- Priyadi, T. (2011). Frekuensi dan intensitas serangan jamur pelapuk pada bangunan rumah serta kerugian yang ditimbulkannya. Repositori IPB
- Rahmawati, N., Sumardi, I., & Dungani, R. (2020). *Isolation and identification of fungi inhabiting rubber-impregnated wood, and their role of quality changing the impregnated wood*. *BioResources*, 15(2), 2839–2849.
- Ryu, J.Y., Takahashi, M., Imamura, Y., & Sato, T. (1991). Biological resistance of phenol resin treated wood. *Mokuzai Gakkaishi*, 37, 852–858.



- Scheffer, T.C. (1973). *Mycrobiological degradation and Its causal organisms in wood deterioration*. Vol 1. [D.D. Nicholas, ed.]. Syracuse University Press.
- Schwarze, F.W.M.R. (2007). Wood decay under the microscope. *Fungal Biol. Rev.*, 21, 133–170.
- Tomak, E.D., Topaloglu, E., Gumuskaya, E., Yildiz, U.C., & Ay, N. (2013). An FT-IR study of the changes in chemical composition of bamboo degraded by brown-rot fungi. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 85, 131138.
- Wang, K., Li, W., Gong, X., Li, Y., Wu, C., & Ren, N. (2013). Spectral study of dissolved organic matter in biosolid during the composting process using inorganic bulking agent: UV-vis, GPC, FTIR and EEM. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 85, 617–623.
- Wilcox, W.W. (1978). Review of literature on the effects of early stages of decay on wood strength. *Wood Fiber Sci.*, 9, 252–257.
- Winandy, J.E., & Morrell, J.J. (1993). Relationship between incipient decay, strength, and chemical composition of douglas-fir heartwood. *Wood Fiber Sci.*, 25, 278–288.
- Yu, L., Cao, J., Gao, W., & Su, H. (2011). Evaluation of ACQ-D treated chinese fir and mongolian scots pine with different post-treatments after 20 months of exposure. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 65, 585–590

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Pemanfaatan Fungisida Nabati Berbasis Minyak Asiri Kayu Putih dalam Pengendalian Penyakit Busuk Buah Kakao

Dita Meisyara*, Titik Kartika, Deni Zulfiana, dan Anugerah Fajar

Pusat Penelitian Biomaterial, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jln. Raya Bogor KM 46, Cibinong, 16911
E-mail: ditameisyara@gmail.com

ABSTRACT

The objective of this study is to develop bio-based fungicide by using Melaleuca leucadendra essential oil as the control of black-pod cacao disease which is caused by the fungus Phytophthora palmivora. The fungicide formulation was a mixture of M. leucadendra essential oil, tween 80 as surfactant, and polyglycol as co-surfactant. The formulation was sprayed to the entire surface of the cacao fruit. The results showed that M. leucadendra essential oil formulation was able to control cocoa black-pod disease with the effectiveness up to 40%. This is not significantly different from the effectiveness result from the commercial fungicide, which is 43%. The results showed that the essential oil M. leucadendra has the potency to be developed further as an alternative fungicide to control black-pod cacao disease.

Keywords: Cacao, essential oils, fungicide, Melaleuca leucadendra, and Phytophthora palmivora;

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan pemanfaatan fungisida nabati berbahan dasar minyak asiri kayu putih untuk mengendalikan penyakit busuk buah kakao karena infeksi jamur *Phytophthora palmivora*. Formulasi minyak asiri kayu putih dibuat dengan cara mencampurnya dengan tween 80 sebagai surfaktan dan poliglikol sebagai ko-surfaktan. Formulasi ini kemudian disemprotkan ke seluruh permukaan buah kakao yang baru dipetik. Hasil yang didapatkan adalah fungisida nabati berbasis minyak asiri kayu putih mampu mengendalikan penyakit busuk buah kakao dengan nilai efektivitas sebesar 40%. Nilai ini tidak berbeda nyata dengan efektivitas fungisida komersial yang sebesar 43%. Hasil penelitian menunjukkan adanya potensi pemakaian fungisida nabati berbahan dasar minyak asiri kayu putih untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai alternatif fungisida untuk mengendalikan penyakit busuk buah kakao.

Kata kunci: Asiri, Fungisida, Kakao, Kayu Putih, dan *Phytophthora Palmivora*

PENDAHULUAN

Sektor pertanian memiliki kontribusi yang besar dalam perekonomian Indonesia. Salah satu komoditas ekspor penting dari sektor pertanian adalah kakao. Indonesia menempati urutan ketiga sebagai produsen dan eksportir kakao terbesar di dunia setelah Ghana dan Pantai Gading. Produksi biji kakao pada 2018 mencapai 577,04 ribu ton. Sebagian besar biji kakao Indonesia berasal dari perkebunan rakyat dengan presentase mencapai 97,29 % sedangkan sisanya berasal dari perkebunan besar swasta dan perkebunan besar negara (BPS, 2018).

Produksi kakao yang besar ini menghadapi ancaman penyakit dan hama, salah satunya adalah penyakit busuk buah kakao yang disebabkan oleh jamur *P. palmivora*. Infeksi jamur ini berasal dari tanah yang mengandung zoospora atau sporangium jamur *P. palmivora* aktif. Zoospora atau sporangium ini dapat menempel di permukaan tumbuhan, kemudian membentuk flagella yang kemudian berubah menjadi *germ tube* yang dapat menembus epidermis tumbuhan (Perrine-Walker, 2020).

Gejala awal infeksi jamur *P. palmivora* terlihat dengan munculnya warna coklat kehitaman pada permukaan buah kakao dan terbentuknya miselium atau benang-benang berwarna putih. Bercak kehitaman ini akan menyebar ke seluruh permukaan buah kakao dan mengakibatkan pembusukan buah (Marelli dkk.,



2019). Jamur ini juga dapat menyerang bagian tumbuhan lain, seperti bagian daun, dan mengakibatkan gejala bercak hitam yang sama (Harni dkk., 2020).

Pengendalian dan pencegahan penyakit buah kakao umumnya menggunakan praktik budaya secara turun-temurun dan fungisida kimia, contohnya *metalxyl*, benzalkonium klorida, dan tembaga oksiklorida (Sibirina dkk., 2020). Meskipun fungisida kimia efektif untuk pengendalian penyakit busuk buah kakao, penggunaannya secara terus-menerus dan berlebihan dapat merugikan kesehatan manusia dan lingkungan. *Metalaxyl* (EPA 1994) dilaporkan dapat menyebabkan iritasi mata, sedangkan benzalkonium klorida (Elersek dkk., 2018) dan tembaga oksiklorida (EFSA, 2008) dapat merusak ekosistem akuatik.

Oleh karena itu, diperlukan alternatif pengendalian jamur *P. palmivora* yang lebih ramah lingkungan. Salah satu bahan berbasis tumbuhan yang memiliki potensi sebagai fungisida adalah minyak asiri. Indonesia merupakan salah satu penghasil minyak asiri terbesar di dunia karena biodiversitas tumbuhan di Indonesia sangat tinggi (Barbieri & Borsotto, 2018). Namun, potensi minyak asiri sebagai pengendali penyakit busuk buah kakao belum banyak diteliti. Salah satu minyak asiri yang berpotensi sebagai antifungal adalah minyak kayu putih yang berasal dari tanaman *M. leucadendra*. Tanaman ini dilaporkan memiliki potensi menghambat pertumbuhan jamur patogen tanaman, yaitu *Fusarium oxysporum*, *Thanateporus cucumeris*, dan *Rhizopus oryzae* (Patramutri dkk., 2020). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis potensi minyak asiri kayu putih sebagai fungisida yang dapat menghambat infeksi jamur *P. palmivora*. Hipotesis penelitian ini adalah formulasi fungisida yang digunakan dapat menekan pertumbuhan *P. palmivora* dengan cara menghambat kebusukan buah kakao.

BAHAN DAN METODE PERCOBAAN

1. Bahan dan Alat

Penelitian ini dilakukan di laboratorium mikrobiologi di Pusat Penelitian Biomaterial LIPI. Periode penelitian dari bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain isolat jamur *P. palmivora*, minyak asiri kayu putih, fungisida ridomil, aquades, tween 80, poliglitol, dan buah kakao.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *Digital ultrasonic* merek Daihan model WUC-DO3H, timbangan, vortex, dan sprayer.

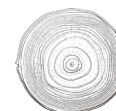
2. Metode

Kelompok perlakuan dibagi menjadi 4 kelompok, yaitu kelompok kontrol, formulasi tanpa minyak asiri kayu putih, formulasi minyak asiri kayu putih 1%, dan formulasi fungisida komersial. Formulasi tanpa minyak asiri sebagai kontrol negatif, hanya mengandung surfaktan dan ko-surfaktan. Formulasi fungisida komersial sebagai kontrol positif mengandung bahan aktif mancozeb 64% dan mefenoksan 4% dengan dosis pemakaian 3,5g/L air.

Penyiapan larutan minyak asiri kayu putih dimulai dengan mencampur minyak asiri kayu putih dengan tween 80 dan poliglitol. Kemudian campuran diaduk perlahan dengan *sonic homogenizer* hingga merata. Lalu, ditambahkan air sampai volume mencapai 100%.

Minyak asiri kayu putih yang digunakan adalah minyak kayu putih yang tersedia secara komersial. Konsentrasi minyak asiri 1% dipilih berdasarkan hasil skrining *in vitro* antara minyak asiri kayu putih dan *P. palmivora* (data tidak dipublikasikan).

Aplikasi formulasi minyak asiri 1% pada buah kakao adalah dengan cara disemprot lalu didiamkan selama 2 jam. Setelah itu, buah kakao yang telah diberi perlakuan, akan diinfeksi dengan jamur *P. palmivora*. Buah kakao yang digunakan adalah buah yang sehat dan berumur kurang lebih empat bulan. Buah berumur muda dipilih karena lebih rentan diserang jamur *P. palmivora* (Komalasari dkk., 2018).



Pengamatan luasan bercak infeksi pada kulit buah dilakukan selama 7 hari. Kemudian efektivitas dari setiap grup perlakuan dihitung dengan rumus:

$$\text{Efektivitas \%} = \frac{(\text{Rerata luas bercak kontrol negatif} - \text{Rerata luas bercak grup perlakuan})}{\text{Rerata bercak kontrol negatif}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan selama 7 hari menunjukkan bahwa pada setiap kelompok muncul bercak hitam infeksi di permukaan buah kakao dengan luasan bercak yang berbeda (Tabel 1). Munculnya bercak terlihat pada hari kedua di setiap kelompok perlakuan, kecuali kelompok perlakuan fungisida yang mulai muncul bercak pada hari ke-3. Munculnya bercak putih ini tidak berbeda jauh dengan laporan Nurfiandi dan Umrah (2019) yang mengatakan bahwa munculnya bercak dimulai dari hari ke-3 sampai ke-7. Gambar 1 menunjukkan bahwa pada hari ke-5 rata-rata luasan bercak infeksi jamur *P. palmivora* meningkat pesat pada semua kelompok perlakuan (Gambar 1).

Infeksi jamur *P. palmivora* dapat terjadi di seluruh bagian tumbuhan, yaitu bagian batang, buah, bunga, dan permukaan daun. Jamur ini juga dapat menyerang buah pada setiap tahapan pertumbuhan, tetapi buah muda lebih mudah diserang (Komalasari dkk., 2018).

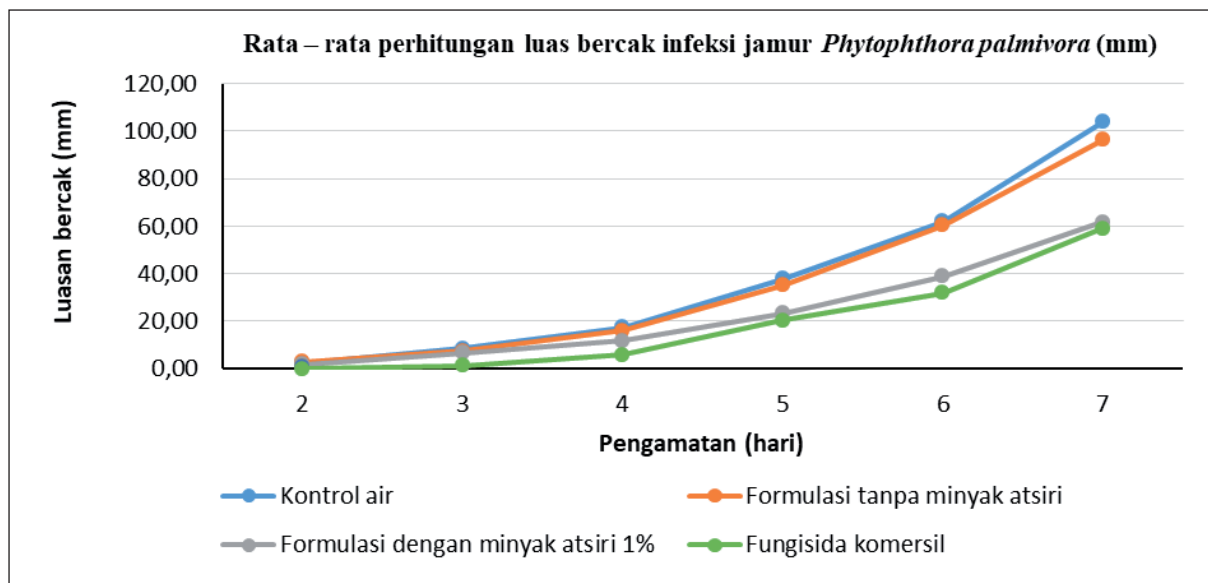
Kelompok perlakuan kontrol air menunjukkan rata-rata luas bercak tertinggi pada hari ke-7 mencapai 103,84 mm (Gambar 1) diikuti dengan kelompok formulasi tanpa minyak asiri kayu putih dengan rata-rata luas bercak 96,45 mm. Kelompok formulasi dengan minyak asiri kayu putih 1% dan fungisida komersial menunjukkan rata-rata luas bercak infeksi yang rendah dengan nilai masing-masing pada hari ke-7 adalah 61,81 mm dan 58,98 mm (Gambar 1). Hal ini menunjukkan bahwa formulasi minyak asiri 1% dan fungisida komersial berpotensi menghambat infeksi jamur *P. palmivora* pada buah kakao.

Perhitungan efektivitas kelompok perlakuan terhadap kontrol menunjukkan bahwa formulasi tanpa minyak asiri memiliki efektivitas terendah sebesar 7% (Gambar 2), sedangkan persentase kelompok perlakuan formulasi dengan minyak asiri kayu putih 1% dan fungisida komersial tidak terlalu berbeda jauh dengan nilai masing-masing 40% dan 43% (Gambar 2). Perhitungan statistik menunjukkan perbedaan persentase antara kedua kelompok tersebut tidak berbeda nyata. Jadi dapat dikatakan bahwa efektivitas minyak asiri kayu putih sama dengan efektivitas fungisida komersial dalam menghambat infeksi jamur *P. palmivora* pada buah kakao.

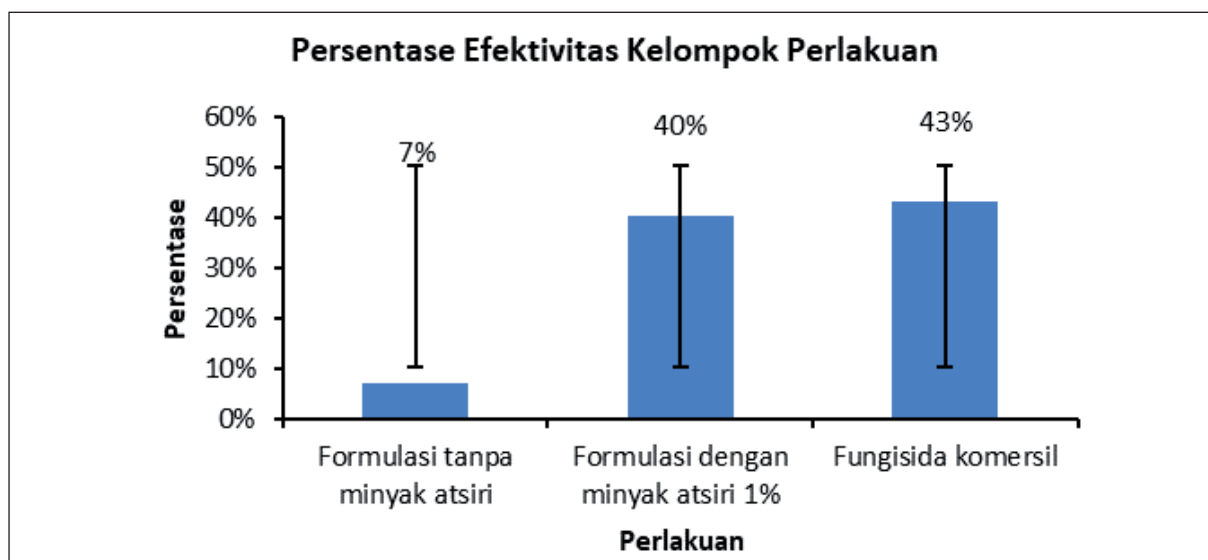
Minyak asiri kayu putih mengandung senyawa aktif terbanyak, yaitu 1,8-cineole, diikuti oleh α -terpineol, D(+)-limonene, dan β -caryophyllene. Senyawa aktif yang berperan sebagai antifungal utamanya adalah α -terpineol dan 1,8-cineole. Kedua senyawa ini dilaporkan memiliki aktivitas tinggi dalam menghambat pertumbuhan jamur pathogen tumbuhan, yaitu *F. oxysporum* dan *T. cucumeris* (Pujiarti, 2017).

Tabel 1. Rata-Rata Perhitungan Luas Bercak Infeksi Jamur *P. palmivora* (mm).

Perlakuan	Rata – rata luas bercak infeksi pada hari ke- (mm)					
	2	3	4	5	6	7
Kontrol air	2,49	8,61	17,49	37,82	62,03	103,84
Formulasi tanpa minyak asiri kayu putih	2,85	7,53	16,24	35,20	60,31	96,45
Formulasi dengan minyak asiri kayu putih 1%	1,95	6,63	11,68	23,47	38,86	61,81
Fungisida	0,00	1,45	5,89	20,32	31,81	58,98



Gambar 1. Grafik Rata- Rata Perhitungan Luas Bercak Infeksi Jamur *P. palmivora* (mm)



Gambar 2. Persentase Efektivitas Kelompok Perlakuan

Minyak asiri kayu putih umum digunakan masyarakat Indonesia sebagai obat tradisional. Kegunaan minyak asiri dalam bidang kesehatan, yaitu antiinflamasi saluran napas, antiinflamasi, antimikroba, antivirus, antikanker, antispasmodik, analgesik, obat penenang, hipertensi, dan farmakokinetik (Sudradjat, 2020). Minyak asiri juga dilaporkan efektif dalam mengontrol hama gudang *Sitophilus oryzae* dan *Tribolium castaneum* (Adak dkk., 2020). Sebagai fungisida, minyak asiri kayu putih juga dapat menghambat pertumbuhan miselium jamur penyebab busuk buah anggur, yaitu *Botrytis cinerea* dan *Colletotrichum acutatum* (Pedrotti dkk., 2019).

KESIMPULAN

Formulasi fungisida nabati berbasis minyak asiri kayu putih dengan konsentrasi 1% dapat menekan pertumbuhan *P. palmivora* dengan cara menghambat kebusukan buah kakao. Formulasi ini memiliki potensi menghambat pertumbuhan jamur *P. palmivora* di permukaan buah kakao sebesar 40% dibandingkan terhadap kontrol. Efektivitas minyak asiri kayu putih tidak berbeda nyata dengan efektivitas fungisida komersial yang sebesar 43%.



UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada RISTEKBRIN atas pendanaan untuk penelitian ini melalui Program Insentif Riset Sistem Inovasi Nasional (INSINAS) Tahun Anggaran 2018–2019.

DAFTAR ACUAN

- Adak, T., Barik, N., Patil, N. B., Govindharaj, G-P-P., Gadratagi, B. G., Annamalai, M., Mukherjee, A. K., & Rath, P.C. (2020). Nanoemulsion of eucalyptus oil: an alternative to synthetic pesticides against two major storage insects (*Sitophilus oryzae* (L.) and *Tribolium castaneum* (Herbst)) of rice. *Industrial Crops and Products*, 143, 111849.
- Barbieri, C., & Borsotto, P. (2018). *Essential oils: market and legislation*. Intech Open.
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2018). Statistik kakao Indonesia 2018.
- European Food Safety Authority (EFSA). (2008). Conclusion on pesticide peer review: Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance aluminium phosphide. *EFSA Scientific Report*, 187, 1–101.
- Elsersek, T., Ženko, M., & Filipič, M. (2018). Ecotoxicity of disinfectant benzalkonium chloride and its mixture with antineoplastic drug 5-fluorouracil towards alga *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Peer J.*, 6, 4986.
- Harni, R., Amaría, W., Ferry, Y., & Marhaeni, L. S. (2020). Effect of trichoderma spp. and potassium fertilizer on phytophthora palmivora infection in cacao seedlings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. (pp. 2–11).
- Komalasari, I., Suryanti, S., & Hadisutrisno, B. (2018). Identification of the causal agent of cocoa pod rot disease from various locations. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 22(1), 13.
- Marelli, J.-P., Guest, D. I., Bailey, B. A., Evans, H. C., Brown, J. K., Junaid, M., Barreto, R. W., Lisboa, D. O., & Puig, A. S. (2019). Chocolate Under Threat from Old and New Cacao Diseases. *Phytopathology*®, 109(8), 1331–1343.
- Nurfianti, U. (2019). Pengamatan gejala infeksi *Phytophthora palmivora* penyebab penyakit busuk buah pada kakao. *Biocelebes*, 13(3), 253–261.
- Patramurti, C., Amin, R., Nastiti, C. M. R. R., & Hariono, M. (2020). A review on the potency of *Melaleuca Leucadendron* leaves solid waste in wood preservation and its in silico prediction upon biological activities. *International Journal of Forestry Research*, 2020, 8885259. <https://doi.org/10.1155/2020/8885259>
- Pedrotti, C., Marcon, Â. R., Delamare, A. P. L., Echeverrigaray, S., da Silva Ribeiro, R. T., & Schwambach, J. (2019). Alternative control of grape rots by essential oils of two eucalyptus species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(14), 6552–6561.
- Perrine-Walker, F. (2020). *Phytophthora palmivora-cocoa interaction*. *J Fungi (Basel)*, 6(3),167.
- Pujiarti, R., Ohtani, Y., & Ichiura, H. (2017). Chemical compositions, antioxidant and antifungal activities of melaleuca leucadendron linn. Leaf oils from Indonesia. *Wood Research Journal*, 3(1), 23–29.
- Sibirina, S., Koutoua, A., Victoire., Balakissa, F., Nakpalo, S., Arsene, SORO. N., & Daoda, K. (2020). *Journal of Global Biosciences*, 9(10), 8088–8101.
- Sudradjat, S. (2020). Minyak kayu putih, obat alami dengan banyak khasiat: Tinjauan sistematis. *Jurnal Kedokteran Meditek*, 26(2), 51–59.
- U.S. EPA (United State Enviromental Protection Agency). (1994). R.E.D facts-metalaxyl. prevention, pesticides and toxic substances (7508W).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Capaian Seminar Nasional Lignoselulosa Pusat Penelitian Biomaterial LIPI dalam Mewadahi Penelitian Material Berbasis Lignoselulosa di Indonesia

Indira Riastiwi, Kusuma Rahmawati, Yasper Michael Mambrasar,
dan I Putu Gede P. Damayanto*

Pusat Penelitian Biologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
E-mail: parlida.damayanto.tab@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to describe the achievements of Seminar Nasional Lignoselulosa at the Research Center for Biomaterial-LIPI in accommodating lignocellulose-based material research. The data used in this study were collected from all publications of proceedings that have been published from the results of Seminar Nasional Lignoselulosa, from 2016 to 2019. The data, such as the number and institutions of the seminar participants, the number of article titles, the topic of the articles, and the institutions of article's authors, were collected. The supporting data of the physical characters of the proceedings were also collected. The data were then analyzed and described descriptively. Seminar Nasional Lignoselulosa plays an active role in accommodating lignocellulose-based material research, through the publication of several research results on the topic of lignocellulose in four scientific proceedings, and disseminating information on the results of research on lignocellulose to at least 407 seminar participants from various institution backgrounds. Seminar Nasional Lignoselulosa also facilitates research collaborations, thus encouraging the emergence of various cross-disciplinary research topics related to lignocellulose. Seminar Nasional Lignoselulosa is part of the dissemination capacity of the Center of Excellence in Science and Technology of Lignocellulose as the only lignocellulose-based biomaterial development institution, established by the Ministry of Research, Technology and Higher Education in 2016. In the end, it is hoped that this study will be used as an evaluation for conducting similar seminars in the future.

This study aims to describe the achievements of Seminar Nasional Lignoselulosa at the Research Center for Biomaterial-LIPI in accommodating lignocellulose-based material research. Data used in this study were collected from all publications of proceedings that have been published from the results of Seminar Nasional Lignoselulosa from 2016 to 2019. Data such as the number and institutions of the seminar participants, the number of article titles, the topic of the articles, and the institutions of article's authors, were collected. Supporting data of physical characters of the proceedings were also collected. Data were then analyzed and described descriptively. Seminar Nasional Lignoselulosa plays an active role in accommodating lignocellulose-based material research through the publication of several research results on the topic of lignocellulose in four scientific proceedings. Seminar Nasional Lignoselulosa plays an active role in disseminating information on the results of research on lignocellulose to at least 407 seminar participants from various institution backgrounds. Seminar Nasional Lignoselulosa also facilitates research collaboration, thus encouraging the emergence of various cross-disciplinary research topics related to lignocellulose. Seminar Nasional Lignoselulosa is part of the dissemination capacity of the Center of Excellence in Science and Technology of Lignocellulose as the only lignocellulose-based biomaterial development institution established by the Ministry of Research, Technology and Higher Education in 2016. In the end, it is hoped that this study will be used as an evaluation for conducting similar seminars in the future.

Keywords: Lignocellulose, proceeding, seminar, Research Center for Biomaterial-LIPI

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan menjabarkan capaian Seminar Nasional Lignoselulosa pada Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI dalam mewadahi penelitian material berbasis lignoselulosa. Data yang digunakan dalam kajian ini dikumpulkan dari seluruh publikasi berupa prosiding yang telah diterbitkan dari hasil Seminar Nasional Lignoselulosa pada tahun 2016 hingga 2019. Data yang dikumpulkan meliputi jumlah dan instansi asal peserta seminar, jumlah judul artikel, topik artikel, serta instansi asal penulis artikel. Data penunjang berupa karakteristik fisik prosiding juga dikumpulkan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dan dijabarkan secara deskriptif. Seminar Nasional Lignoselulosa berperan



aktif dalam mewadahi penelitian material berbasis lignoselulosa melalui diterbitkannya beberapa hasil penelitian dengan topik lignoselulosa dalam empat prosiding ilmiah. Seminar Nasional Lignoselulosa ikut berperan aktif dalam menyebarkan informasi hasil penelitian lignoselulosa kepada setidaknya 407 orang peserta seminar dari berbagai latar belakang instansi. Seminar Nasional Lignoselulosa juga mewadahi terjadinya kolaborasi penelitian sehingga mendorong munculnya beragam topik penelitian lintas disiplin ilmu terkait lignoselulosa. Seminar Nasional Lignoselulosa merupakan bagian dari kapasitas diseminasi Pusat Unggulan IPTEK Lignoselulosa sebagai satu-satunya lembaga pengembangan biomaterial berbasis lignoselulosa yang ditetapkan oleh Kemenristekdikti pada tahun 2016. Kajian ini pada akhirnya diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi dalam melaksanakan kegiatan seminar serupa di masa yang akan datang.

Kata kunci: Lignoselulosa, prosiding, seminar, Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI

PENDAHULUAN

Lignoselulosa adalah suatu supermolekul yang terdiri dari kombinasi lignin, selulosa, hemiselulosa, abu, dan beberapa molekul lainnya, misalnya tanin (Dotan, 2014). Supermolekul ini terbentuk dari selulosa yang terbungkus oleh struktur padat dari susunan hemiselulosa dan lignin yang akan membentuk struktur jaringan tiga dimensi yang sangat kompleks (Chen, 2015). Struktur tersebut biasanya memiliki lebih dari dua gugus hidroksil per molekul (Dotan, 2014) dan mulai terdegradasi mendekati suhu 220°C (Fortunati dkk., 2019).

Lignoselulosa merupakan penyusun utama dinding sel tumbuhan. Sumber utama untuk mendapatkan lignoselulosa adalah dari kayu alam, selain tanaman penghasil serat alam, seperti bambu, kenaf, dan sisal (Astari dkk., 2017). Kini, limbah hasil samping pertanian dan perkebunan, seperti pelepah, batang dan tandan kosong kelapa sawit, pohon karet yang tidak produktif, sekam dan jerami padi atau gandum, serta bagas tebu, sudah mulai digunakan sebagai sumber lignoselulosa pengganti kayu alam (Mulyadi, 2017). Pemanfaatan sumber lignoselulosa nonkayu yang potensial diharapkan dapat menjaga kelestarian alam (Astari dkk., 2017).

Lignoselulosa dapat dimanfaatkan sebagai bahan utama pembuatan bubur kertas (*pulp*), mebel, bahan bangunan (Mulyadi, 2017), gula dari hasil fermentasi, sumber karbon, pupuk organik, bahan bakar cair (bioetanol), energi (biogas) (Anindyawati, 2010), biopolimer, dan material komposit konvensional (PPB, 2020b). Lignoselulosa merupakan sumber daya alam terbarukan dan ramah lingkungan sehingga berpotensi menggantikan bahan bakar fosil di masa depan.

Menilik manfaat lignoselulosa yang begitu potensial, tidak mengherankan apabila Pusat Penelitian Biomaterial, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), menyelenggarakan diseminasi melalui seminar bertema material maju dan bioproduk, terutama material berbasis lignoselulosa, dengan nama Seminar Nasional Lignoselulosa. Seminar ini bertujuan mewadahi dan menyebarkan hasil-hasil penelitian yang berkaitan dengan material berbasis lignoselulosa dari seluruh Indonesia. Seminar ini merupakan sarana untuk diskusi, bertukar pikiran, dan menjalin kerja sama sehingga eksplorasi bahan berlignoselulosa potensial dapat dikembangkan menjadi produk yang bermanfaat (Astari dkk., 2017).

Kegiatan Seminar Nasional Lignoselulosa merupakan acara rutin sebagai bentuk peningkatan kapasitas diseminasi karena Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI merupakan Pusat Unggulan Iptek (PUI) Lignoselulosa yang telah disahkan oleh Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi pada tahun 2016 dengan SK nomor 365/M/KPT/2016. Kegiatan Seminar Nasional Lignoselulosa merupakan bukti komitmen Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI dalam perannya sebagai PUI Lignoselulosa (PPB, 2020b). Untuk itu, Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI menjadi lembaga penelitian acuan nasional dalam bidang penelitian bahan berlignoselulosa untuk material maju dan bioproduk. Melalui seminar tersebut, Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI memberikan wadah bagi para peneliti untuk menyampaikan dan mendiskusikan perkembangan penelitian di bidang lignoselulosa (Ermawar dkk., 2016).

Bentuk acara Seminar Nasional Lignoselulosa berupa pemaparan dan diskusi dari para ahli di bidang biomaterial dan lignoselulosa serta pemaparan penelitian-penelitian terbaru di bidang biomaterial dan



Tabel 1. Profil Seminar Nasional Lignoselulosa Tahun 2016–2020

Tanggal kegiatan	Tema Seminar
6 Oktober 2016	Teknologi hijau berbasis lignoselulosa untuk material maju dan bioproduk
12 September 2017	Eksplorasi dan rekayasa sumberdaya lignoselulosa untuk material maju dan bioproduk
19 September 2018	Tingkat kesiapterapan teknologi bioproduk melalui laboratorium bioproduk terintegrasi
30 Oktober 2019	Inovasi berkelanjutan bioproduk berbasis lignoselulosa untuk peningkatan nilai tambah di era industri 4.0
23 November 2020	Tantangan dan peluang industrialisasi produk berbasis lignoselulosa

lignoselulosa melalui presentasi poster. Materi yang telah dipresentasikan akan diterbitkan menjadi prosiding dan beberapa artikel terpilih diterbitkan pada *Journal of Lignocellulose*. Topik bahasan dari artikel tersebut cukup beragam, kendati masih dalam bidang lingkup lignoselulosa, seperti ilmu material, bioproduk, bioenergi, pangan dan aspek lingkungan (PPB, 2020a).

Seminar Nasional Lignoselulosa pertama kali diadakan pada tahun 2016 oleh Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI dan selalu rutin dilaksanakan setiap tahunnya (PPB, 2020b) dengan tema seminar yang mengikuti perkembangan ilmu pengetahuan (Tabel 1). Hingga tahun 2019, telah berlangsung empat kegiatan seminar dan menghasilkan empat prosiding yang berkualitas karena melibatkan mitra bestari (*reviewer*) dalam proses penerbitannya. Prosiding tersebut seharusnya mampu mewartakan dan mendiseminasikan hasil-hasil penelitian di bidang lignoselulosa di Indonesia. Capaian Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI melalui Seminar Nasional Lignoselulosa dalam mewartakan penelitian material berbasis lignoselulosa dapat dilihat melalui prosiding yang dihasilkan.

Kajian ini bertujuan menjabarkan capaian Seminar Nasional Lignoselulosa pada Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI dalam mewartakan penelitian material berbasis lignoselulosa. Kajian ini diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi dalam melaksanakan kegiatan seminar serupa di masa yang akan datang.

BAHAN DAN METODE PERCOBAAN

1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam kajian ini adalah seluruh publikasi berupa prosiding yang telah diterbitkan secara daring dari hasil Seminar Nasional Lignoselulosa dari tahun 2016 sampai dengan 2019. Prosiding tersebut dapat diakses pada laman <https://biomaterial.lipi.go.id/mainweb/index.php/prosiding-seminar-lignoselulosa/>.

2. Metode

Setiap artikel dalam prosiding seminar lignoselulosa dari tahun 2016 sampai dengan 2019 didata dan dikumpulkan dalam sebuah matriks. Data yang dikumpulkan meliputi jumlah dan instansi asal peserta seminar, jumlah judul artikel, topik artikel, serta instansi asal penulis artikel. Data penunjang berupa karakteristik fisik prosiding juga dikumpulkan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dan dijabarkan secara deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

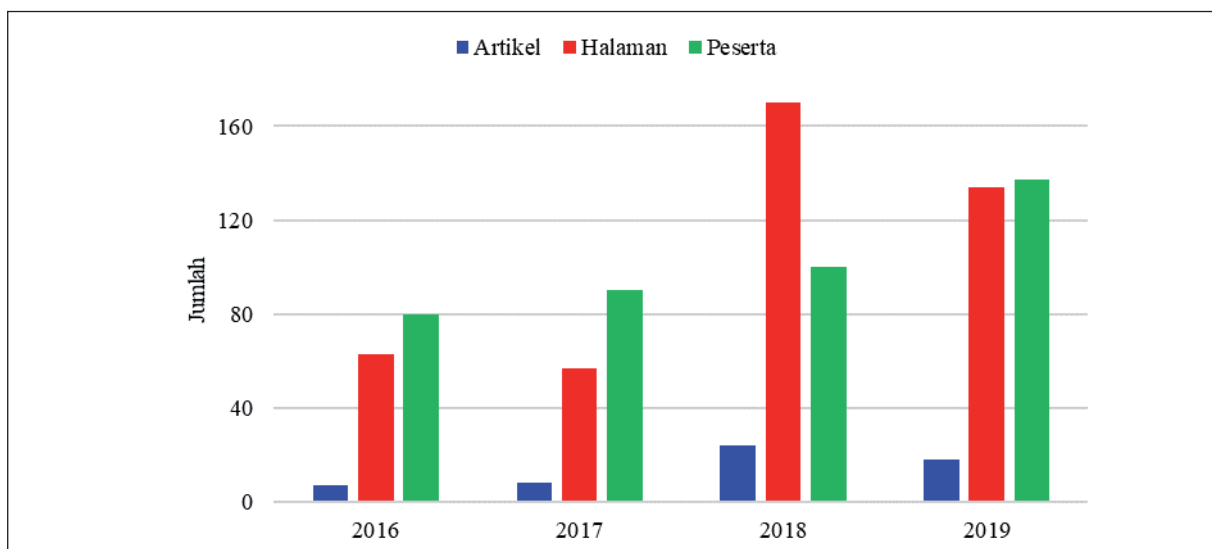
Seminar Nasional Lignoselulosa hingga kini (2019) telah diselenggarakan sebanyak empat kali sejak tahun 2016 hingga 2019. Setiap seminar memiliki tema berbeda (Tabel 1). Seminar pertama diselenggarakan pada tahun 2016, bertempat di Auditorium Pusat Inovasi-LIPI (kini bernama Pusat Pemanfaatan dan Inovasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi-LIPI), Cibinong, Bogor. Seminar tahun 2017, 2018, dan 2019



diselenggarakan di Auditorium Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI, Cibinong, Bogor. Seminar tahun 2018 dan 2019 didukung penuh oleh Pusat Unggulan Iptek (PUI) Lignoselulosa dan beberapa sponsor (Masruchin dkk., 2018; 2019).

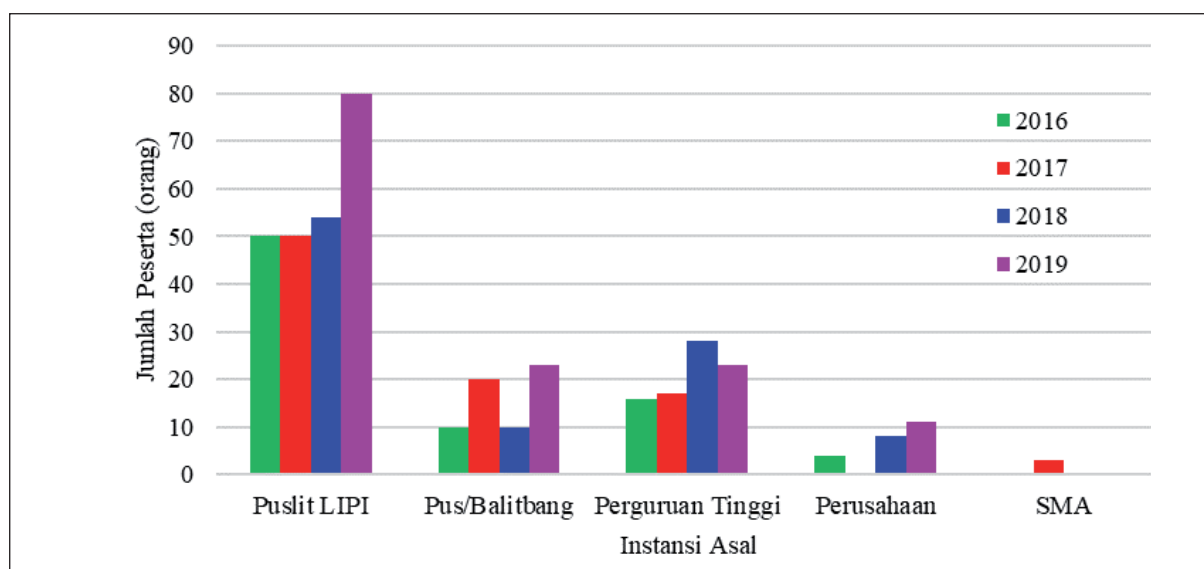
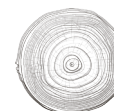
Prosiding yang telah dihasilkan dari Seminar Nasional Lignoselulosa sebanyak empat buah dengan judul dan karakteristik yang cukup berbeda tiap tahunnya. Tahun 2016 dan 2017, judul prosiding lebih pendek, yaitu “Prosiding Seminar Lignoselulosa (diikuti tahun)”, sementara tahun 2018 dan 2019 diberi judul lebih panjang, yaitu “Prosiding Ilmiah Nasional Seminar Lignoselulosa (diikuti tahun)” (agar lebih singkat, dalam tulisan ini digunakan nama “prosiding seminar lignoselulosa”). Konten prosiding juga berkembang dari tahun ke tahun, misalnya tersedianya informasi pembicara kunci, notulensi, dan foto dokumentasi kegiatan pada prosiding tahun 2018 dan 2019, sementara prosiding tahun 2016 dan 2017 tidak menyediakan informasi tersebut. Format penulisan juga berubah dari satu kolom pada prosiding tahun 2016 dan 2017 menjadi dua kolom pada prosiding tahun 2018 dan 2019.

Karakteristik lain yang berkembang dari tahun ke tahun pada prosiding seminar lignoselulosa adalah jumlah artikel, halaman, dan peserta seminar (Gambar 1). Seminar tahun 2016 memiliki paling sedikit artikel (7 judul) dibandingkan dengan tahun 2017, 2018, dan 2019 (masing-masing berturut-turut 8, 24, dan 18 judul) (Gambar 1). Tahun 2018 menjadi prosiding dengan jumlah judul artikel terbanyak. Sejalan dengan jumlah artikel, banyaknya jumlah halaman prosidingnya pun mengikuti banyaknya jumlah judul artikel. Sementara itu, jumlah peserta seminar terbanyak terjadi pada seminar tahun 2019 (137 orang), lalu tahun 2018 (100 orang), 2017 (90 orang), dan paling sedikit tahun 2016 (80 orang) (Gambar 1).



Gambar 1. Karakteristik Prosiding Seminar Lignoselulosa Tahun 2016–2019

Keberagaman peserta Seminar Nasional Lignoselulosa dapat dikelompokkan ke dalam lima kategori, yaitu (1) kelompok peserta yang berasal dari Pusat Penelitian (Puslit) di LIPI, seperti Puslit Biomaterial, Puslit Biologi, Puslit Bioteknologi, Puslit Konservasi Tumbuhan dan Kebun Raya, Puslit Kimia, Puslit Fisika, dan Pusat Inovasi (sekarang Pusat Pemanfaatan dan Inovasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi); (2) Puslit atau Balai Penelitian dan Pengembangan (Pus/Balitbang) dari Kementerian seperti Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Balitbang Teknologi Serat Tanaman Hutan, Puslitbang Hasil Hutan, Puslitbang Sosial, Ekonomi, Kebijakan dan Perubahan Iklim); (3) Kementerian Perindustrian (Balai Besar Kimia dan Kemasan); (4) Kementerian Kelautan dan Perikanan (Balai Besar Riset Pengolahan Produk Bioteknologi Kelautan Perikanan) dan Kementerian Pertanian (Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat, Balai Besar Pascapanen); (5) serta dari perguruan tinggi (universitas, institut, dan politeknik), perusahaan, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) (Gambar 2).



Gambar 2. Demografi Peserta Seminar Nasional Lignoselulosa Tahun 2016–2019

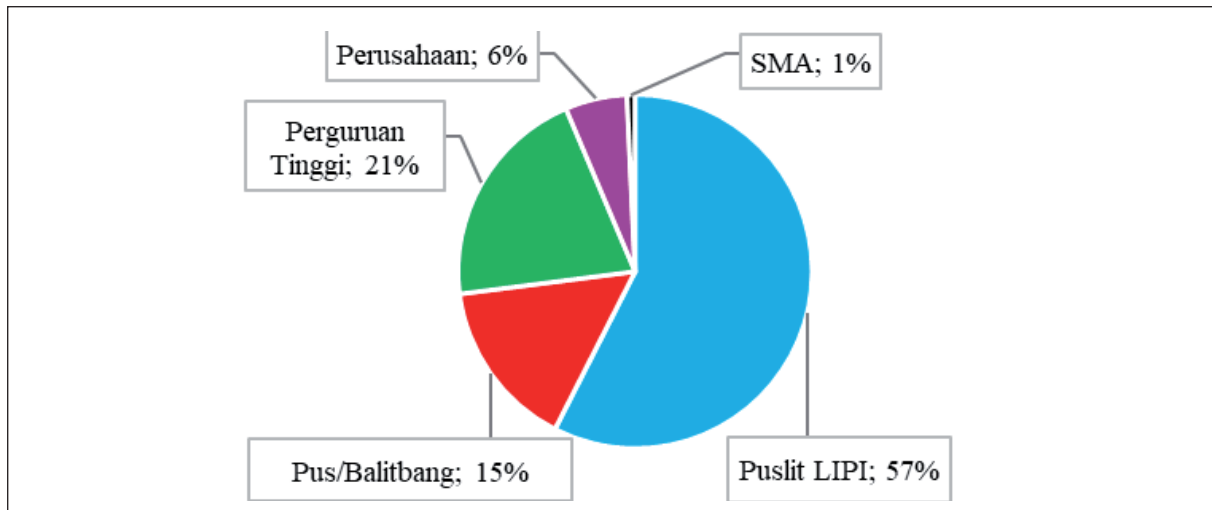
Peserta seminar (Gambar 2) masih didominasi oleh staf (peneliti) pusat penelitian yang ada di LIPI, bahkan pada seminar tahun 2019, lebih dari 58% peserta seminar berasal dari pusat penelitian yang ada di LIPI. Peserta dari kalangan pengusaha paling banyak di tahun 2019 (11 orang), namun tidak ada seorang pun pada tahun 2017. Peserta dari kalangan guru SMA (SMA Negeri 1 Tarakan) pernah hadir hanya pada seminar tahun 2017. Keberadaan kalangan pengusaha dan guru SMA dalam seminar ini dapat memberi pengaruh positif bagi penyebarluasan informasi terkait material berbasis lignoselulosa. Para guru akan menyebarkan informasi tersebut kepada para siswanya, sementara pengusaha akan berusaha mengadopsi hasil-hasil penelitian yang dijabarkan dalam seminar. Dengan demikian, harapan penyelenggara seminar agar Seminar Nasional Lignoselulosa ini berkontribusi nyata bagi masyarakat (Astari dkk., 2017) dapat terwujud.

Di sisi lain, peserta seminar dari kalangan peneliti akan menggunakan informasi yang diperolehnya dari seminar tersebut untuk mengembangkan keilmuan terkait lignoselulosa atau ilmu lain yang serupa. Dalam kegiatan seminar, peneliti dituntut menuangkan pemikirannya dalam bentuk tulisan atau lisan agar bisa saling berbagi pengalaman atau bertukar pendapat secara ilmiah. Melalui berbagi pengalaman dan bertukar pendapat, para peneliti diharapkan memperoleh ide atau gagasan baru untuk diteliti dan dikembangkan. Selain itu, kegiatan seminar juga bermanfaat bagi peneliti sebagai wadah untuk mengidentifikasi masalah dan mencari solusinya (Yani, 2020).

Persentase peserta Seminar Nasional Lignoselulosa, bila dilihat dari seluruh peserta seminar tahun 2016–2019 (Gambar 3), didominasi oleh peneliti pusat penelitian yang ada di LIPI (57%) dan paling sedikit diikuti oleh guru SMA (1%). Peserta dari kalangan perguruan tinggi cukup banyak (21%), terutama dari Institut Pertanian Bogor (IPB). IPB selalu menjadi peserta dari kalangan perguruan tinggi dengan jumlah terbanyak karena dekatnya lokasi kampus dengan lokasi seminar sehingga tidak mengherankan apabila tiap tahunnya selalu dijumpai peserta dari IPB dalam Seminar Nasional Lignoselulosa. Kendati demikian, beberapa peserta dari perguruan tinggi yang berlokasi jauh dari lokasi seminar juga pernah turut serta, seperti dari Sumatra Barat (Universitas Muhammadiyah Sumatra Barat), Bengkulu (Universitas Bengkulu), Kalimantan Barat (Universitas Tanjungpura), Yogyakarta (Universitas Gadjah Mada, Universitas Islam Indonesia, dan Politeknik LPP), Bali (Universitas Udayana), Sulawesi Selatan (Universitas Hasanudin), dan Papua Barat (Universitas Papua). Hal ini menandakan bahwa kegiatan Seminar Nasional Lignoselulosa berhasil menjaring peserta dari perwakilan pulau-pulau utama di Indonesia. Dengan demikian, kata “nasional” dalam Seminar Nasional Lignoselulosa layak disandangnya.



Peserta dari peneliti pada beberapa Puslitbang atau Balitbang Kementerian (15%) tidak sebanyak peserta dari kalangan perguruan tinggi (21%) (Gambar 3). Peserta dari kalangan Puslitbang atau Balitbang Kementerian didominasi oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, yaitu dari Balitbang Teknologi Serat Tanaman Hutan dan Puslitbang Hasil Hutan. Area penelitian Balitbang dan Puslitbang tersebut, berupa kajian terkait serat (Balihut, 2020) dan lignoselulosa (PPPHH, 2019), sejalan dengan lingkup kajian dalam Seminar Nasional Lignoselulosa.

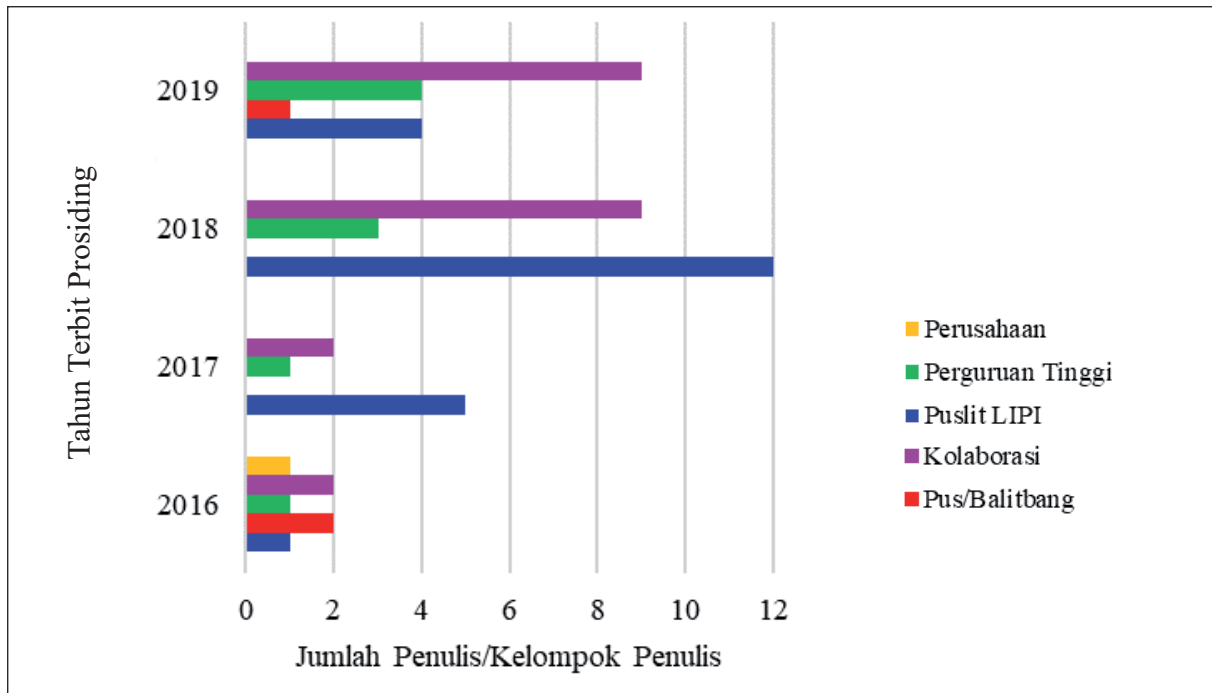


Gambar 3. Persentase Jumlah Peserta Seminar Nasional Lignoselulosa dari Tahun 2016 hingga 2019

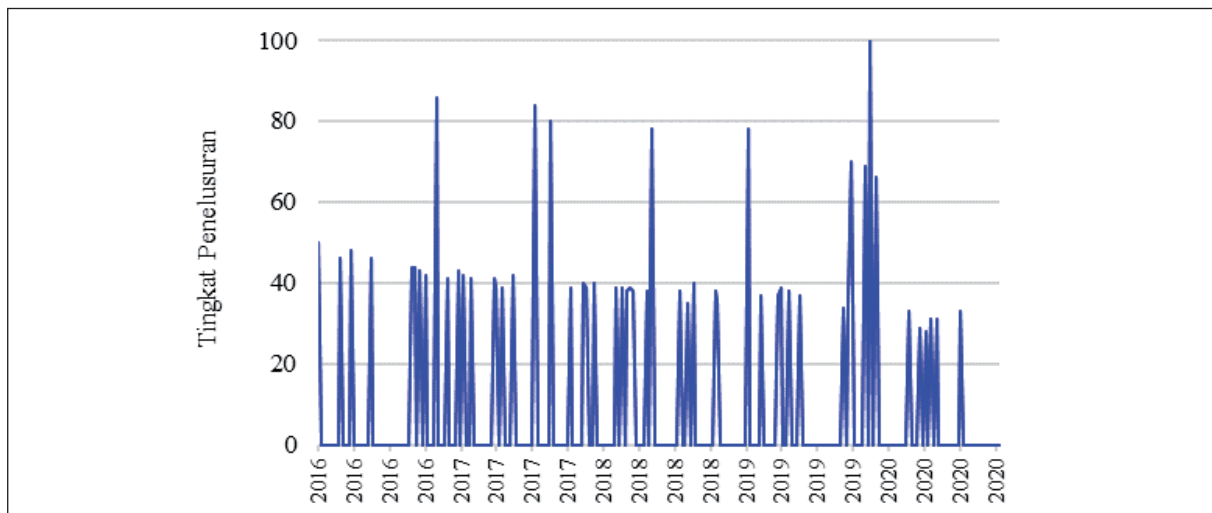
Peserta seminar dari kalangan perusahaan sebanyak 6% (Gambar 3) dan jumlahnya terlihat terus meningkat dari tahun ke tahun (Gambar 2). Peserta dari kalangan perusahaan dihadiri oleh perusahaan agrobisnis, bahan baku pakan ternak, serta produk dan layanan jasa laboratorium. Tidak dapat dipungkiri bahwa tujuan utama ikut sertanya peserta seminar dari kalangan perusahaan adalah untuk melakukan promosi produk dan layanan jasa mereka serta mengembangkan jejaring. Di satu sisi, peserta yang hadir dari kalangan peneliti dapat memanfaatkan momen tersebut sebagai ajang mencari produk atau jasa yang dibutuhkan dalam penelitian. Di sisi lain, para pengusaha dapat melakukan evaluasi produk atau jasa yang mereka tawarkan sesuai perkembangan iptek melalui informasi yang diterima dalam seminar.

Kalangan perusahaan tidak hanya hadir sebagai peserta seminar, tetapi juga pernah tercatat sebagai penulis artikel dalam prosiding seminar lignoselulosa (Gambar 4). Meskipun demikian, hanya tercatat satu judul artikel yang ditulis oleh penulis tunggal (Saptorahardjo, 2016) dan lainnya berupa kolaborasi dengan perguruan tinggi (Dermawan dkk., 2018) atau puslit yang ada di LIPI (Kusmara dkk., 2018). Penulis dalam artikel prosiding seminar lignoselulosa didominasi oleh Puslit Biomaterial-LIPI dan kolaborasi antar beberapa institusi (Gambar 4), seperti puslit yang ada di LIPI, perguruan tinggi, kementerian, lembaga penelitian lainnya, SMA, atau perusahaan.

Kegiatan kolaborasi penelitian secara umum dapat dilihat dalam kegiatan penulisan artikel ilmiah yang melibatkan banyak penulis antar institusi atau lembaga penelitian. Kolaborasi penelitian pada artikel prosiding seminar lignoselulosa terlihat terus meningkat dan paling banyak dijumpai pada prosiding tahun 2018 dan 2019 (masing-masing sembilan judul) (Gambar 4). Hal ini merupakan sebuah capaian positif karena kolaborasi penelitian mencerminkan adanya hubungan saling menguntungkan, saling percaya, dan saling menghormati (Hastuti, 2013) antar institusi atau lembaga penelitian. Secara umum, manfaat kolaborasi penelitian, yaitu (1) terjadinya transfer pengetahuan dan keahlian, (2) adanya pertukaran gagasan dari berbagai ilmu yang menambah wawasan dan perspektif baru sehingga memotivasi munculnya kreativitas, (3) membuka kesempatan persahabatan secara intelektual, dan (4) peningkatan produktivitas kerja (Wahid, 2012). Selain itu, adanya kolaborasi akan mendorong penulis untuk membahas beragam topik penelitian lintas disiplin ilmu.



Gambar 4. Demografi Penulis atau Kelompok Penulis Artikel dalam Prosiding Seminar Lignoselulosa dari Tahun 2016 Hingga 2019



Gambar 5. Tren penelusuran di internet menggunakan Google Trends dengan kata kunci "lignoselulosa" di Indonesia dari Januari 2016 Hingga Oktober 2020.

Berdasarkan judul artikel yang dimuat dalam prosiding seminar lignoselulosa dari tahun 2016 hingga 2019, terdapat topik yang beragam sesuai tema seminar yang ditawarkan setiap tahunnya. Namun demikian, artikel-artikel tersebut masih memiliki satu persamaan, yaitu pemanfaatan bahan alam, baik yang telah dibudidayakan maupun hasil hutan, serta inovasi dalam meningkatkan peran dan fungsi dari produk tersebut. Dengan tema yang tidak terspesifikasi pada satu fokus kajian, memungkinkan para penulis untuk memasukkan artikel dengan judul yang aplikatif dan multidisiplin ilmu. Setidaknya terdapat 18 judul artikel yang secara implisit atau pun eksplisit membahas topik terkait lignoselulosa yang cukup aplikatif dan multidisiplin ilmu dalam prosiding seminar lignoselulosa dari tahun 2016 hingga 2019 (Tabel 2).



Topik penelitian tentang lignoselulosa dalam prosiding seminar lignoselulosa meliputi *biopulping*, bioenergi, bioproduk, biokomposit, biopelet, bioetanol, biodekolorisasi, bioplastik, pendegradasian lignin dan selulosa, nanoselulosa, percepatan kristalisasi PLA, perlakuan prehidrolisis, sulfonasi lignin, dan karakterisasi material/produk (Tabel 2). Beberapa topik lainnya yang menunjang dan masih dalam lingkup topik lignoselulosa, antara lain pengujian kekuatan material, karakterisasi rayap, inventarisasi jenis-jenis kayu potensial, pemodelan bangunan, dan lain sebagainya.

Artikel yang mengkaji topik lignoselulosa yang didiseminasikan dalam Seminar Nasional Lignoselulosa perlu ditingkatkan jumlahnya. Hal ini dapat dilakukan melalui pemberian insentif kepada penulis yang mempublikasikan topik lignoselulosa dalam kegiatan Seminar Nasional Lignoselulosa di masa yang akan datang. Di sisi lain, penelitian dengan topik lignoselulosa sepertinya masih berpotensi untuk dikaji dan dikembangkan di Indonesia. Berdasarkan rekaman pencarian informasi di internet menggunakan Google Trends (GT, 2020), penelusuran kata “lignoselulosa” terlihat cukup tinggi untuk wilayah Indonesia (Gambar 5). Hal ini menandakan bahwa antusiasme masyarakat mengenai kajian lignoselulosa masih tinggi. Bisa jadi masyarakat Indonesia kini mulai merasakan dampak nyata pemanfaatan material berbasis lignoselulosa dalam kehidupan sehari-hari. Dengan demikian, penelitian dan pengembangan material berbasis lignoselulosa adalah sebuah keniscayaan.

Tabel 2. Penelitian terkait Topik Lignoselulosa dalam Prosiding Seminar Lignoselulosa dari Tahun 2016 Hingga 2019

Topik penelitian	Referensi
<i>Biopulping</i> kayu mahang menggunakan jamur	Aprianis dan Wahyuningsih (2016)
Prehidrolisis asam asetat pada bambu duri	Rizqiani dkk. (2016)
Sulfonasi lignin ampas tebu menjadi surfaktan natrium lignosulfonate	Setiati dkk. (2016)
Karakteristik komponen kimia kayu tekan pada pinus	Amin dkk. (2017)
Pengaruh proses prehidrolisis dan suhu fermentasi terhadap produksi etanol menggunakan kamir	Anita dkk. (2017)
Morfologi serat beberapa jenis kayu	Lestari dkk. (2017)
Modifikasi genetik dinding sel tumbuhan untuk bioenergi dan bioproduk	Ermawar dan Hartati (2018)
Pengaruh pemlastis dan serat pelepah sawit terhadap sifat mekanis biokomposit poli asam laktat	Kusumaningrum dkk. (2018)
Penapisan aktinomiset pendegradasi lignin dan selulosa asal sarang rayap	Krishanti dkk. (2018)
Karakteristik sifat kimia kayu jati platinum	Pramasari dkk. (2018)
Enzim lignolitik sebagai agen biodekolorisasi dari jamur pelapuk putih dengan biomasa lignoselulosa sebagai media tumbuh	Sari dkk. (2018)
Komponen kimia bambu andong sebagai bahan baku bambu laminasi tanpa perekat	Amalia dkk. (2019)
Isolasi nanoselulosa dari <i>pulp</i> bambu betung menggunakan hidrolisis asam organik	Kusumaningrum dkk. (2019)
Karakteristik serat tandan kosong sawit bagian dalam dan luar sebagai bahan baku <i>pulp</i>	Sumardi dkk. (2019)
Pemanfaatan nanoselulosa sebagai penguat pada pembuatan bioplastik (biofilm) dari tepung mocaf	Putri dkk. (2019)
Percepatan kristalisasi PLA dengan penambahan triasetin dan serat selulosa	Rezeki dkk. (2019)
Kajian komponen fisik, kimia dan nilai kalor limbah padat kopi sebagai bahan bakar biopelet	Rumidatul dkk. (2019)
Optimasi konsentrasi <i>pulp</i> dan surfaktan pada pembuatan bioetanol dari limbah kayu jabon	Winarni dan Alvino (2019)



KESIMPULAN

Seminar Nasional Lignoselulosa pada Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI telah berperan aktif dalam memudahhi penelitian material berbasis lignoselulosa melalui diterbitkannya beberapa hasil penelitian dengan topik material berbasis lignoselulosa dalam empat prosiding ilmiah. Seminar Nasional Lignoselulosa ikut berperan aktif dalam menyebarkan informasi hasil penelitian material berbasis lignoselulosa kepada setidaknya 407 orang peserta seminar dari berbagai latar belakang instansi. Seminar Nasional Lignoselulosa juga memudahhi terjadinya kolaborasi penelitian sehingga mendorong munculnya beragam topik penelitian lintas disiplin ilmu terkait lignoselulosa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI atas kemudahan dalam mengakses prosiding Seminar Nasional Lignoselulosa dari tahun 2016 hingga 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, Y. R., Suparto, I. H., Pramasari, D. A., & Kusumah, S. S. (2019, 30 Oktober). Komponen kimia bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea*) berdasarkan posisi aksial sebagai bahan baku bambu laminasi tanpa perekat. *Prosiding ilmiah nasional seminar lignoselulosa 2019* (73–80). Cibinong.
- Amin, Y., Nurbaity, R. A., Hastuti, N., & Adrin. (2017, 12 September). Karakteristik komponen kimia kayu tekan pada kayu pinus (*pinus merkusii* Jungh et de Vriese). *Prosiding seminar lignoselulosa 2017* (36–41). Cibinong.
- Anindyawati, T. (2010). Potensi selulase dalam mendegradasi lignoselulosa limbah pertanian untuk pupuk organik. *Berita Selulosa*, 45(2), 70–77.
- Anita, S. H., Akbar, R., Oktaviani, M., & Hermiati, E. (2017, 12 September). Pengaruh proses prehidrolisis dan suhu fermentasi terhadap produksi etanol menggunakan *kluyveromyces marxianus* Inacc Y119. *Prosiding seminar lignoselulosa 2017* (29–35). Cibinong.
- Aprianis, Y., & Wahyuningsih, S. (2016, 6 Oktober). Biopulping kayu mahang (*Macaranga hypoleuca*) menggunakan jamur *Phanerochaete chrysosporium*. *Prosiding seminar lignoselulosa 2016* (20–28). Cibinong.
- Astari, L., Fatriasari, W., Kartika, T., Syamani, F.A., Zulfiana, D., Anita, S. H., Lestari, A. S., Kusumaningrum, W. B., & Zulfitri, A. (Dewan Redaksi). (2017). *Prosiding seminar lignoselulosa 2017*. Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI.
- Balihut. (2020, Oktober 24). Kedudukan, tugas dan fungsi. <https://balihut-kuok.org/v2/hal-kedudukan-tugas-dan-fungsi.html>
- Chen, H. (2015). *Lignocellulose biorefinery engineering, principles and applications*. Elsevier.
- Dermawan, D., Pertiwi, D. S., & Afiff, S. (2018, 19 September). Pembuatan dan aplikasi melamin asetat sebagai aditif resin urea–formaldehida untuk pembuatan kayu lapis. *Prosiding ilmiah nasional seminar lignoselulosa 2018* (13–19). Cibinong.
- Dotan, A. (2014). 15 - Biobased thermosets. Dalam H. Dodiuk & S. H. Goodman (Eds.). *Handbook of thermoset plastics* (577–622). Elsevier.
- Ermawar, R. A., & Hartati, S. (2018, 19 September). Modifikasi genetik dinding sel tumbuhan untuk aplikasi bioenergi dan bioproduk. *Prosiding ilmiah nasional seminar lignoselulosa 2018* (3–11). Cibinong.
- Ermawar, R. A., Hermiati, E., Fatriasari, W., Syamani, F. A., Yanto, D. H. Y., Astari, L., Zulfiana, D., Anita, S. H., Oktaviani, M., Zulfitri, A. (Dewan Redaksi). (2016). *Prosiding seminar lignoselulosa 2016*. Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI.
- Fortunati, E., Kenny, J. M., & Torre, L. (2019). Lignocellulosic materials as reinforcements in sustainable packaging systems: processing, properties, and applications. Dalam D. Verma, E. S. Jain & X. Zhang (Eds.). *Biomass, biopolymer-based materials, and bioenergy construction, biomedical, and other industrial applications a volume in Woodhead publishing series in composites science and engineering* (pp. 87-107). Elsevier.
- GT (Google Trends). (2020, November 2). Google trends “lignoselulosa”. <https://trends.google.co.id/trends/explore?date=2016-01-01%202020-11-02&geo=ID&q=Lignoselulosa>
- Hastuti, T. S. (2013, September 3). Kolaborasi penelitian adalah suatu keniscayaan. dari <https://www.forda-mof.org/index.php/berita/post/1441>



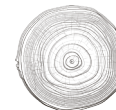
- Krishanti, N. P. R. A., Fadhilah, I., Zulfiana, D., Lestari, A. S., Zulfitri, A., & Kartika, T. (2018, 19 September). Penapisan aktinomiset pendegradasi lignin dan selulosa asal sarang rayap, *nasutitermes* sp. *Prosiding ilmiah nasional seminar lignoselulosa 2018* (52–60). Cibinong.
- Kusmara, R. M. R., Manurung, B. F., & Sumarno, A. (2018, 19 September). Pemanfaatan abu sekam padi sebagai binder alternatif pada geopolimer beton ditinjau uji kuat tarik belah. *Prosiding ilmiah nasional seminar lignoselulosa 2018* (91–96). Cibinong.
- Kusumaningrum, W. B., Amanda, P., & Rizki, K. (2019, 30 Oktober). Studi awal isolasi nanoselulosa dari *pulp* bambu betung (*Dendrocalamus asper* sp) dengan menggunakan hidrolisis asam organik. *Prosiding ilmiah nasional seminar lignoselulosa 2019* (58–64). Cibinong.
- Kusumaningrum, W. B., Syamani, F. A., Suryanegara, L., & Masruchin, N. (2018, 19 September). Pengaruh pemlastis dan serat pelepah sawit terhadap sifat mekanis biokomposit poli asam laktat. *Prosiding ilmiah nasional seminar lignoselulosa 2018* (127–134). Cibinong, 19 September 2018.
- Lestari, E., Amin, Y., Pramasari, D. A., Adi, D. S., & Dwianto, W. (2017, 12 September). Morfologi serat beberapa jenis kayu asal Pulau Enggano. Dalam: *Prosiding seminar lignoselulosa 2017* (15–20). Cibinong
- Masruchin, N., Syamani, F. A., Zulfiana, D., Astari, L., Lestari, A. S., Wibowo, E. S., Ardiati, F.C., & Triwibowo, D. (Eds.). (2018). *Prosiding ilmiah nasional seminar lignoselulosa 2018*. Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI.
- Masruchin, N., Adi, D. S., & Ramadhan, K. P. (Eds.). (2019). *Prosiding ilmiah nasional seminar lignoselulosa 2019*. Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI.
- Mulyadi, A. (2017, September 18). Tidak hanya kayu, sumber lignoselulosa juga bisa dari limbah. <http://lipi.go.id/berita/tidak-hanya-dari-kayu-sumber-lignoselulosa-juga-bisa-dari-limbah/19044#:~:text=Lignoselulosa%20secara%20sederhana%20adalah%20komponen,adalah%20berasal%20dari%20kayu%20hutan>
- PPB (Pusat Penelitian Biomaterial). (2020a, Oktober 20). Prosiding seminar lignoselulosa. <https://biomaterial.lipi.go.id/mainweb/index.php/prosiding-seminar-lignoselulosa/>
- PPB (Pusat Penelitian Biomaterial). (2020b, Oktober 20). Seminar lignoselulosa. <https://biomaterial.lipi.go.id/mainweb/index.php/seminar-lignoselulosa/>
- PPPHH (Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan). (2019). *Kementerian lingkungan Hidup dan Kehutanan, Badan Penelitian, Pengembangan dan Inovasi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Buku II: laporan tahunan hasil penelitian dan pengembangan tahun 2018*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
- Pramasari, D. A., Lestari, E., Adi, D. S., Amin, Y., & Kusumah, S. S. (2018, 19 September). Karakteristik sifat kimia kayu jati platinum berdasarkan umur pohon dan posisi radial kayu. *Prosiding ilmiah nasional seminar lignoselulosa 2018* (40–45). Cibinong.
- Putri, S. E., Amanda, P., Roosmariharso, Wahyuni, & Masruchin, N. (2019, Oktober 30). Pemanfaatan nanoselulosa sebagai penguat pada pembuatan bioplastik (biofilm) dari tepung mocaf. *Prosiding ilmiah nasional seminar lignoselulosa 2019* (81–87). Cibinong.
- Rumidatul, A., Hadiyane, A., Hidayat, Y., & Aulia, M. (2019, 30 Oktober). Kajian komponen fisik, kimia dan nilai kalor limbah padat kopi (*coffea arabica*) sebagai bahan bakar alternatif biopellet. *Prosiding ilmiah nasional seminar lignoselulosa 2019* (107–115). Cibinong.
- Rezeki, D., Suryanegara, L., & Ahsan, S. (2019, 30 Oktober). Percepatan kristalisasi PLA dengan penambahan triasetin dan serat selulosa. Dalam: *Prosiding ilmiah nasional seminar lignoselulosa 2019* (121–128), Cibinong.
- Rizqiani, K. D., Novriyanti, E., & Frianto, D. (2016, 6 Oktober). Pengaruh prehidrolisis asam asetat terhadap komposisi kimia bambu duri (*Bambusa blumeana* J. A. and J. H. Schultes). *Prosiding seminar lignoselulosa 2016* (29–34). Cibinong.
- Saptorahardjo, A. (2016, Oktober 6). Review: Proses *compounding* serat alam-termoplastik di industri. *Prosiding seminar lignoselulosa 2016* (12–19). Cibinong.
- Sari, F. P., Tahar, M., Madiyanti, R., Oktaviani, M., Anita, S. H., Laksana, R. P. B., & Yanto, D. H. Y. (2018, 19 September 19). Enzim lignolitik sebagai agen biodekolorisasi dari jamur pelapuk putih dengan biomasa lignoselulosa sebagai media tumbuh. *Prosiding ilmiah nasional seminar lignoselulosa 2018* (120–126). Cibinong.
- Setiati, R., Putri, E. A. M., Wahyuningrum, D., Siregar, S., Marhaendrajana, T., & Fajriah, S. (2016, 6 Oktober). Sulfonasi lignin ampas tebu menjadi surfaktan natrium lignosulfonat. *Prosiding seminar lignoselulosa 2016* (35–41). Cibinong.



- Sumardi, I., Hadiyane, A., & Rumidatul, A. (2019, 30 Oktober). Karakteristik serat tandan kosong sawit bagian dalam dan luar sebagai bahan baku *pulp*. *Prosiding ilmiah nasional seminar lignoselulosa 2019* (42—46), Cibinong.
- Saptorahardjo, A. (2016, 6 Oktober). Review: Proses *compounding* serat alam-termoplastik di industri. *Prosiding seminar lignoselulosa 2016* (12–19). Cibinong.
- Wahid, N. (2012, Mei 11). Kolaborasi, graf komunikasi, dan produktivitas peneliti dalam penulisan karya ilmiah. Diakses 24 Oktober, 2020, dari <http://digilib.undip.ac.id/v2/2012/05/11/kolaborasigraf-komunikasidan-produktivitas-peneliti-dalam-penulisan-karya-ilmiah/#:~:text=Adapun%20keuntungan%20kolaborasi%20bagi%20peneliti,Membuka%20kesempatan%20persahabatan%20intelektual>
- Winarni, I., & Alvino, A. Y. (2019, 30 Oktober). Optimasi konsentrasi *pulp* dan surfaktan pada pembuatan bioetanol dari limbah kayu jabon (*Antocephalus cadamba*). *Prosiding ilmiah nasional seminar lignoselulosa 2019* (26–29). Cibinong.
- Yani, D. E. (2020, Oktober 23). Pengertian, tujuan dan manfaat seminar. Diakses pada 23 Oktober, 2020 dari <https://www.pustaka.ut.ac.id/lib/wp-content/uploads/pdfmk/LUHT449002-M1.pdf>

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Influence of Formaldehyde to Urea Mole Ratios on Molecular Weight Distribution of Low Molar Ratio Urea-Formaldehyde Resins

Muhammad Adly Rahandi Lubis,* Widya Fatriasari, Maya Ismayati, Raden Permana Budi Laksana, Faizatul Falah, Nissa Nurfaejrin Solihat and Fahriya Puspita Sari

Research Center for Biomaterials, Indonesian Institute of Science, Cibinong, 16911, Indonesia
E-mail: marl@biomaterial.lipi.go.id

ABSTRAK

Upaya penurunan emisi formaldehida dari perekat urea-formaldehida (UF) merupakan upaya penting yang terus dilakukan di bidang perekat kayu dan komposit berbasis kayu. Salah satu cara menurunkan emisi formaldehida adalah dengan mengurangi perbandingan rasio mol antara formaldehida dan urea (F/U) pada perekat UF. Akan tetapi, penurunan rasio mol F/U berdampak pada sifat dan karakteristik perekat UF yang dihasilkan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh dari berbagai rasio mol F/U terhadap distribusi bobot molekul dari perekat UF dengan rasio mol yang rendah. Distribusi bobot molekul dianalisis menggunakan teknik kromatografi permeasi gel dengan bantuan polietilen glikol (PEG) sebagai standar. Perekat UF dengan rasio mol yang rendah disintesis dengan rasio mol F/U yang berbeda, yaitu 0,8, 1,0, 1,2, dan 1,4. Sifat dan karakteristik dasar perekat yang dihasilkan, seperti kadar padatan, viskositas, waktu gel, dan pH, diukur dan dilaporkan pada penelitian ini. Pengaruh berbagai rasio mol F/U pada distribusi bobot molekul perekat UF dibahas secara detail. Penurunan rasio mol F/U menghasilkan bobot molekul rata-rata berat (M_w), bobot molekul rata-rata jumlah (M_n), bobot molekul rata-rata viskositas (M_v), bobot molekul rata-rata Z (M_z), dan polidispersitas (PDI) yang rendah. Rasio mol F/U yang kecil, sekitar 0,8–1,0, menghasilkan perekat UF dengan struktur rantai panjang dan tidak bercabang yang memiliki distribusi bobot molekul yang rendah. Sedangkan perekat UF dengan rasio mol 1,2–1,4 akan menghasilkan perekat UF dengan struktur yang bercabang yang dicirikan dengan distribusi bobot molekul yang lebih besar.

Kata kunci: distribusi bobot molekul, kromatografi permeasi gel, perekat kayu, rasio mol rendah, urea-formaldehida

ABSTRACT

Reducing formaldehyde emission of the widely used urea-formaldehyde (UF) resins adhesive has become the primary concern in the field of wood adhesives and wood-based composites. A way to decrease the formaldehyde emission is by lowering the formaldehyde to urea (F/U) mole ratio of UF resins. Nevertheless, lowering the F/U mole ratio also affects other resins' properties. Therefore, this work focuses to examine the effect of F/U mole ratios on molecular weight distribution (MWD) of low molar ratio UF resins using Gel Permeation Chromatography (GPC) with poly (ethylene glycol) (PEG) as the standard. The low molar ratio UF resins were synthesized at different F/U mole ratios, i.e., 0.8, 1.0, 1.2, and 1.4. The resin's basic properties, such as non-volatile solids content, viscosity, gelation time, and pH, were reported. The influence of different F/U mole ratios on MWD of UF resins were discussed in detail. Decreasing F/U mole ratios result in lower weight average molecular weight (M_w), number average molecular weight (M_n), viscosity average molecular weight (M_v), Z-average molecular weight (M_z), and polydispersity index (PDI). Lower F/U mole ratios of 0.8–1.0 produce a linear structure of UF resins which presented narrow MWD, while greater F/U mole ratio UF resins of 1.2–1.4 have a more branched structure, thus resulted in broader MWD.

Keywords: molecular weight distribution, gel permeation chromatography, wood adhesive, low molar ratio, urea-formaldehyde resins



INTRODUCTION

The long-term formaldehyde emission from wood-based panels bonded with urea–formaldehyde (UF) resins has become a main concern because of its health-related issues (He et al., 2012). The pollution of indoor air from formaldehyde and other volatile organic compounds could cause sick building syndrome, particularly from wood-based panels that are bonded using UF resin adhesives (Salthammer, 2019; Yu & Crump, 1999). Owing to the susceptibility of UF resins to hydrolysis, UF-bonded products typically emit formaldehyde, either as free formaldehyde remaining in resins (Böhm et al., 2012) or from the hydrolysis of hydroxymethyl groups (Dutkiewicz, 1983). Therefore, decreasing formaldehyde emission from UF-bonded products has become an important research topic.

Decreasing formaldehyde to urea (F/U) molar ratio has been believed as one of the main approaches to lower formaldehyde emission from UF-bonded products (Lubis & Park, 2020a; Wibowo et al., 2020). However, lower F/U mole ratio UF resins have longer gelation time, slower curing, and lower cross-linking density than those of higher F/U mole ratios (Wang et al., 2018; Wibowo & Park, 2020), resulted in poor strength at the expense of low formaldehyde emission (Levendis et al., 1992). Low molar ratio UF resins were dominated with the linear structure of mono- and di-hydroxymethyl ureas, while greater F/U mole ratio UF resins consisted of the branched structure of di- and tri-hydroxymethyl ureas (Lubis & Park, 2020b; Park et al., 2003; Wang et al., 2018; Yadav et al., 2020).

The influence of F/U mole ratio on properties of low molar ratio UF resins has been investigated over the past decades. The theory and practice on the preparation of low molar ratio UF resins have been clearly reported by Pizzi and Valenzuela (Pizzi & Valenzuela, 1994). The curing characteristics of low molar ratio UF resins have been analyzed by Dongbin et al. (2006). The structures of low molar ratio UF resins have been examined comprehensively as well (Liang et al., 2018; Steinhof et al., 2015; Wang et al., 2018). In addition, the effect of low molar ratio on adhesion performance of UF resins has also been evaluated in plywood, particle board, and medium density fiberboard (Khonakdar Dazmiri et al., 2019; Nuryawan et al., 2014; Que et al., 2007). The effect of molecular weight distribution (MWD) of UF resins 1.0 and 1.2 F/U mole ratios have been investigated on their cure kinetics, interphase, penetration into wood, and bonding performance (Jeong & Park, 2019). This study revealed that 1.2 F/U mole ratio UF resins had MWD twice greater than that of 1.0 F/U mole ratio UF resins. Despite of that, none of the published works reported the influence of F/U mole ratio on MWD of low molar ratio UF resins below 1.0 F/U mole ratio, such as 0.8 F/U mole ratio.

This study was aiming to investigate the influence of F/U mole ratio on basic properties, such as solids content, viscosity, gelation time, pH, and MWD of low molar ratio UF resins. A total of four F/U mole ratios, i.e., 0.8, 1.0, 1.2, and 1.4, were synthesized using an alkaline-acid two-step reaction and were characterized using Gel Permeation Chromatography (GPC). This study was expected to give additional insight on low molar ratio UF resins adhesive.

MATERIALS AND METHODS

Urea granules (99%), formalin (37% HCHO), and aqueous solutions of both formic acid (HCOOH, 20% w/v) and sodium hydroxide (NaOH, 20% w/v) were used for the synthesis of UF resins. An aqueous solution of ammonium chloride (NH_4Cl , 20% w/v) was used as a hardener. Low molar ratio UF resins were synthesized using an alkaline-acid two-step reaction (Figure 1). Formulation to prepare low molar ratio UF resins at different F/U mole ratios of 0.8, 1.0, 1.2, and 1.4 are presented in Table 1. Approximately 250 g of formalin was placed in a reactor and stirred at 200–250 rpm. The mixture was adjusted to a pH of 8.0 using NaOH and the temperature was set to 40°C. Then, around 93.4 g of first urea was added to the reactor. The mixture was heated, and the temperature and pH were kept stable at 90°C and 8.0, respectively, for 1 h to maintain the methylolation reaction. Afterward, the temperature was adjusted to 80°C and the pH was adjusted to 4.6–5.0 using HCOOH for condensation reactions. The reactions were conducted until a target viscosity of 250–275 mPas was reached, which was measured using a bubble

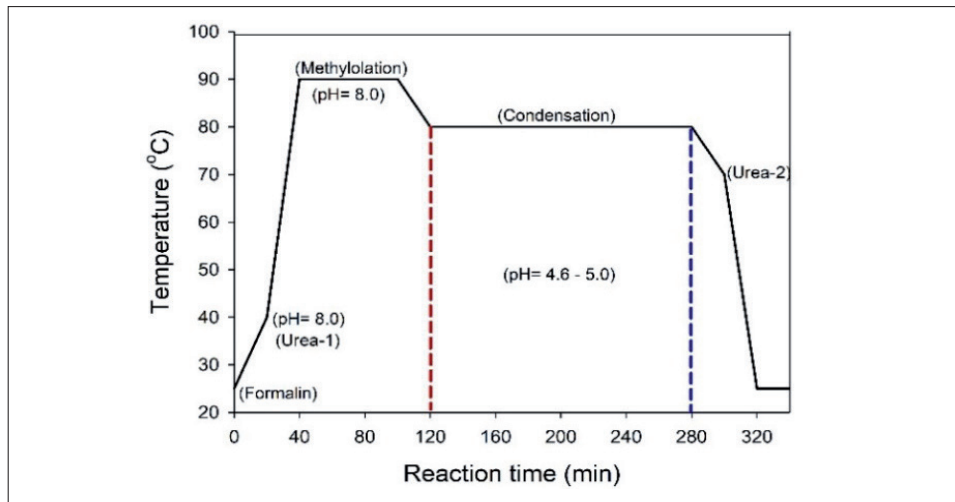


Figure 1. Reaction Condition for the Synthesis of UF Resins via an Alkaline-Acid Two-Step Reaction

viscometer (VG-9100, Gardner-Holdt Bubble Viscometer, USA). After the target viscosity was reached, different amounts of second urea were added to prepare four F/U mole ratios of UF resins, as presented in Table 1. After all of the urea was dissolved, the UF resins were cooled to room temperature, and the pH was adjusted to 8.0. The resins were kept 24 h prior to analysis.

The properties of low molar ratio UF resins were examined to evaluate the effect of different F/U mole ratios on UF resins. The non-volatile solids content of UF resins was obtained by drying 2 g of the sample in an oven at 105 °C for 3 h, then dividing the oven-dried weight by the initial weight. The viscosity of the resins was determined using a cone-plate viscometer (DV-II+, Brookfield, Middleboro, MA, USA) with a No. 2 spindle at 60 rpm, at $27 \pm 2^\circ\text{C}$. The gelation time of the resins was measured by adding 3% NH_4Cl (based on the non-volatile solids content of the resins) in boiling water using a gel time meter (Davis Inotek Instrument, North Carolina, USA).

Table 1. Formulation to Prepare Low Molar UF Resins at Different F/U Mole Ratios

F/U mole ratio	Mass (g)			Theoretical solids content (%)
	Formalin	Urea-1	Urea-2	
0.8	250.0	93.4	140.2	66.9
1.0	250.0	93.4	93.4	63.5
1.2	250.0	93.4	62.3	60.8
1.4	250.0	93.4	40.0	58.5

Table 2. Calibration Data of Poly(ethylene glycol) Standard for GPC Analysis

Retention time (min)	Mp (Da)	Error (%)	Retention time (min)	Mp (Da)	Error (%)
39.52	25,200	2.72	46.77	1030	1.40
40.50	12,600	-2.68	49.44	633	1.83
41.57	5800	-3.03	50.29	430	-2.31
42.58	4290	2.81	52.94	202	-0.94
45.56	1400	-0.44	54.61	106	0.87

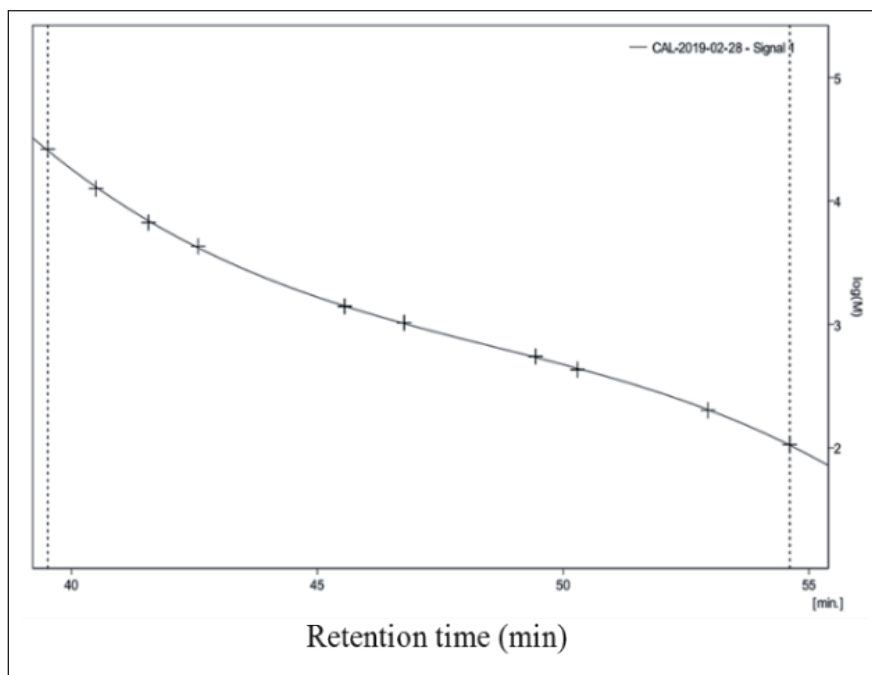


Figure 2. Calibration Standard for GPC Measurement

The molecular weight distribution (MWD) of UF resins at different F/U mole ratios was determined using a gel permeation chromatography (GPC) system (YL9100, Younglin, Seoul, Korea). The GPC samples were prepared by dissolving 0.1 g of UF resins with a mixture of 0.9 g dimethyl sulfoxide (DMSO) and 9.0 g dimethyl formamide (DMF) (Lubis & Park, 2020b, 2020a; Wibowo et al., 2020). The universal calibration was done with poly(ethylene glycol) standards from Polymer Standards Service GmbH, Germany, with molecular weights of 106–25,200 Dalton (Table 2). The analytical condition was set at 50°C, with a 0.5 mL/min flow rate of dimethyl formamide (DMF) as the mobile phase, and was analyzed for 70 min. The average molecular weight (M_w , M_n , M_z , M_v) and polydispersity index (PDI) were calculated using a calibration standard in YL-Clarity chromatography software (Figure 2) and equations below (Ferra et al., 2010):

$$M_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i}$$

$$M_w = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i}$$

$$M_v = \left[\frac{\sum N_i M_i^{a+1}}{\sum N_i M_i} \right]^{1/a}$$

$$M_z = \frac{\sum N_i M_i^3}{\sum N_i M_i^2}$$

Where the summation is from $i = 1$ to ∞ , and N_i is the number of molecules whose weight is M_i . The term a is an empirical constant that is dependent on the hydrodynamic volume.



RESULTS AND DISCUSSION

Low molar ratio UF resins were synthesized via an alkaline-acid two-step reactions at different F/U mole ratios, namely 0.8, 1.0, 1.2, and 1.4. Table 3 presents basic properties of UF resins, such as solids content, viscosity, gel time, and pH. Lowering F/U mole ratio affected the properties of UF resins remarkably. The solids content and gel time of UF resins decreased with a greater F/U mole ratio, while the viscosity increased. This meant that lowering F/U mole ratio also reduced reactivity of UF resins, as indicated by longer gel time at 0.8 F/U mole ratio than that of 1.4 F/U mole ratio. In addition, lower viscosity value of 0.8 F/U mole ratio than that of 1.4 F/U mole ratio indicates that the structure of poly-condensation products of UF resins is less in lower F/U mole ratio. As a result, the molecular mobility is less in the lower F/U mole ratio. A higher F/U mole ratio such as 1.4 shows a faster curing by means of a shorter gel time, indicating that the branched structure of 1.4 F/U mole ratio UF resins with much more reactive sites for cross-linking. These results are in agreement with previously published works (Lubis & Park, 2020b; Park et al., 2003; Wang et al., 2018).

Table 3. Basic Properties of Low Molar Ratio UF Resins at Different F/U Mole Ratios

F/U mole ratio	Solids content (%)	Viscosity (mPa.s)	Gel time (s)	pH
0.8	65.7	205	228	8.0
1.0	61.5	235	182	8.0
1.2	58.3	326	156	8.0
1.4	56.2	378	103	8.0

Figure 3 displays the GPC profiles of low molar ratio UF resins at different F/U mole ratios. The profiles show that the MWD of UF resins are detected from retention time of 40 min to 55 min. The MWD from 40 min to 50 min are assigned to high molecular weight (HMW) UF polymer, and 50 min to 55 min are attributed to low molecular weight (LMW) UF polymer, which were also reported in published works (Lubis & Park, 2020b, 2020a; Wibowo et al., 2020).

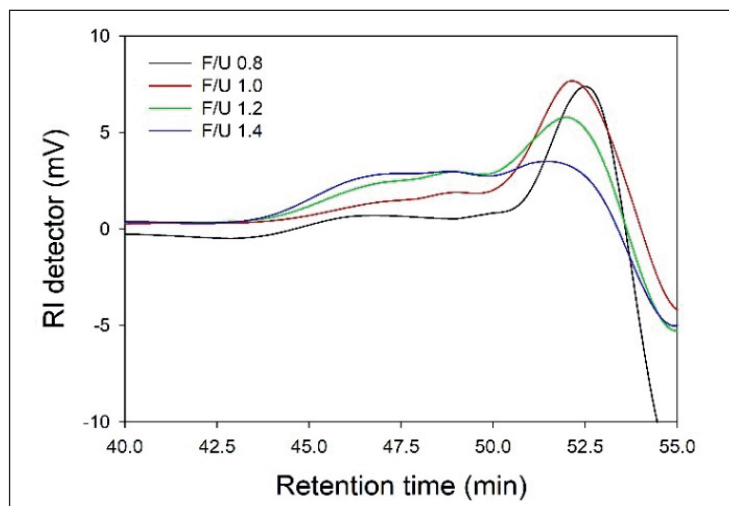
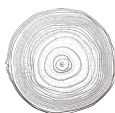


Figure 3. GPC Profiles of UF Resins at Different F/U Mole Ratios

The molecular weight distribution (MWD) of low molar ratio UF resins is shown in Figure 4. Lowering the F/U mole ratio results in greater LMW chemical species and fewer HMW chemical species, indicating that 0.8 F/U mole ratio UF resins have a more linear structure than that of the branched structure of 1.4 F/U mole ratio resins. A higher F/U mole ratio produced a branched network structure



of UF resins which can increase the viscosity of the resin. This result was in accordance with the result of the viscosity of UF resins in Table 3, which was increased by increasing F/U mole ratio. As the result, the reactivity of higher F/U mole ratio UF resins was higher than that of lower F/U mole ratio such as 0.8 F/U mole ratio. This result is inline with the result of gel time.

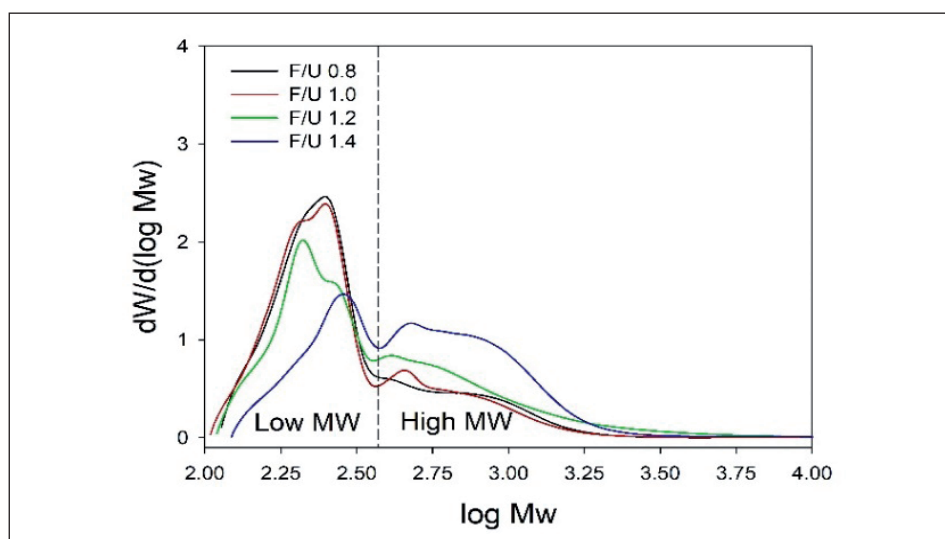


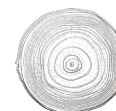
Figure 4. Molecular Weigh Distribution (MWD) of UF Resins at Different F/U Mole Ratios

Table 4 summarizes the results of MWD of low molar ratio UF resins at different F/U mole ratios, such as weight average molecular weight (M_w), number average of molecular weight (M_n), z-average molecular weight (M_z), viscosity average molecular weight (M_v), and polydispersity index (PDI). Theoretically, the order of MWD is $M_n < M_v < M_w < M_z$ (Ferra et al., 2010). Lowering F/U mole ratio results in less M_n , M_v , M_w , M_z , and PDI of UF resins, indicating that 0.8 F/U mole ratio UF resins have a more linear structure than that of 1.4 F/U mole ratio resins. The results are in accordance with the results of viscosity and gel time in Table 3. The lowest M_n is detected in 0.8 F/U mole ratio UF resins of around 228 g/mole, while the highest one is 412 g/mole for 1.4 F/U mole ratio's resins. A similar trend is obtained for M_w , M_z , M_v , and PDI. The higher value of PDI indicates that the 1.4 F/U mole ratio UF resins has more chemical species and branched structures, such as di-hydroxymethyl urea ($C_3H_8N_2O_3$), tri-hydroxymethyl urea ($C_4H_{10}N_2O_4$), and ether linkages ($R-CH_2-O-CH_2-R$), than those of 0.8, 1.0, and 1.2 F/U mole ratio resins.

Table 4. Molecular Weight Distribution (MWD) of Low Molar Ratio UF Resins at Different F/U Mole Ratios

MWD	F/U mole ratio			
	0.8	1.0	1.2	1.4
M_n (g/mole)	228	323	368	412
M_w (g/mole)	284	493	591	676
M_z (g/mole)	419	1027	1485	1500
M_v (g/mole)	271	454	538	625
PDI	1.24	1.53	1.60	1.64

Urea has an MW of 60 g/mole and four active sites for reaction with formalin which has MW of 30 g/mole (Pizzi & Valenzuela, 1994). Addition reaction or methylation will simply result in UF oligomers with an MW of 90 g/mole to 120 g/mole such as mono- and di-hydroxymethyl ureas. Further condensation reaction will produce UF oligomers with bigger molecules and MW such as tri-hydroxymethyl urea (150 g/mole). The addition of second urea after condensation reaction can lead to the formation of



poly-condensation UF polymers. Figure 5 shows the possible UF resins polymer structures at different F/U mole ratios based on the results of MWD from GPC analysis. Lowering F/U mole ratio means adding more second ureas than those of higher F/U mole ratios as presented in Table 1. This results in a linear structure of UF resins with lower F/U mole ratios than that of a branched structure of higher F/U mole ratio resins (Wang et al., 2018). This study revealed that F/U mole ratio played an important role in properties of low molar ratio UF resins, particularly on the MWD.

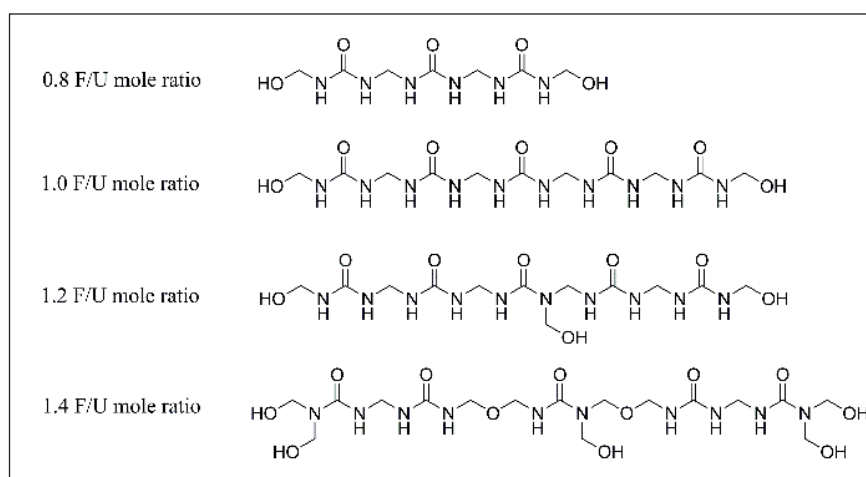


Figure 5. Possible UF Resins' Structures at Different F/U Mole Ratios

CONCLUSIONS

Low molar ratio UF resins were prepared via an alkaline-acid two-step reactions at different F/U mole ratios, i.e., 0.8, 1.0, 1.2, and 1.4. Basic properties and molecular weight distribution (MWD) of UF resins were determined comprehensively. The solids content, viscosity, and gel time of UF resins were greatly affected by the F/U mole ratio. The MWD of UF resins were examined by means of the GPC analysis, and it resulted in insight on how F/U mole ratio influenced the MWD. Lowering the F/U mole ratio results in greater low MW chemical species and less high MW chemical species, indicating that 0.8 and 1.0 F/U mole ratio UF resins have a more linear structure than that of the branched structure of 1.2 and 1.4 F/U mole ratio resins. This study revealed that the properties of low molar ratio UF resins can be tailored by adjusting the F/U mole ratio.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors are grateful to the Laboratory of Wood Adhesives and Biocomposites, Department of Wood Science and Technology, Kyungpook National University for helping with the GPC analysis. The authors are also grateful to the integrated laboratory of bioproducts (iLaB), Research Center for Biomaterials, Indonesian Institute of Sciences, for the facilities.

REFERENCES

- Böhm, M., Salem, M. Z. M., & Srba, J. (2012). Formaldehyde emission monitoring from a variety of solid wood, plywood, blockboard and flooring products manufactured for building and furnishing materials. *Journal of Hazardous Materials*, 221–222, 68–79. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.04.013>
- Dongbin, F., Jianzhang, L., & An, M. (2006). Curing Characteristics of Low Molar Ratio Urea-Formaldehyde Resins. *Journal of Adhesion and Interface*, 7(4), 45–52.
- Dutkiewicz, J. (1983). Hydrolytic Degradation of Cured Urea-Formaldehyde. *Journal of Applied Polymer Science*, 28(11), 3313–3320.



- Ferra, J. M., Mendes, A. M., Costa, M. R. N., Magalhães, F. D., & Carvalho, L. H. (2010). Characterization of Urea-Formaldehyde Resins by GPC/SEC and HPLC Techniques: Effect of Ageing. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 24(8–10), 1535–1551. <https://doi.org/10.1163/016942410x501070>
- He, Z., Zhang, Y., & Wei, W. (2012). Formaldehyde and VOC emissions at different manufacturing stages of wood-based panels. *Building and Environment*, 47(1), 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.023>
- Jeong, B., & Park, B.-D. (2019). Effect of molecular weight of urea–formaldehyde resins on their cure kinetics, interphase, penetration into wood, and adhesion in bonding wood. *Wood Science and Technology*, 53(3), 665–685. <https://doi.org/10.1007/s00226-019-01092-1>
- Khonakdar Dazmiri, M., Valizadeh Kiamahalleh, M., Dorieh, A., & Pizzi, A. (2019). Effect of the initial F/U molar ratio in urea-formaldehyde resins synthesis and its influence on the performance of medium density fiberboard bonded with them. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 95(September), 102440. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.102440>
- Levendis, D., Pizzi, A., & Ferg, E. (1992). The correlation of strength and formaldehyde emission with the Crystalline/Amorphous Structure of UF resins. *Holzforschung*, 46(3), 263–269. <https://doi.org/10.1515/hfsg.1992.46.3.263>
- Liang, J., Li, T., Cao, M., & Du, G. (2018). Urea-formaldehyde resin structure formation under alkaline condition: a quantitative ¹³C-NMR study. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 32(4), 439–447. <https://doi.org/10.1080/01694243.2017.1361127>
- Lubis, M. A. R., & Park, B.-D. (2020a). Enhancing the performance of low molar ratio urea–formaldehyde resin adhesives via in-situ modification with intercalated nanoclay. *The Journal of Adhesion*, 00(00), 1–20. <https://doi.org/10.1080/00218464.2020.1753515>
- Lubis, M. A. R., & Park, B.-D. (2020b). Influence of Initial Molar Ratios on the Performance of Low Molar Ratio Urea-Formaldehyde Resin Adhesives. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 48(2), 1–18. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2020.48.2.136>
- Nuryawan, A., Park, B. D., & Singh, A. P. (2014). Penetration of urea–formaldehyde resins with different formaldehyde/urea mole ratios into softwood tissues. *Wood Science and Technology*, 48, 889–902. <https://doi.org/10.1007/s10973-014-3946-5>
- Park, B.-D., Kim, Y. S., Singh, A. P., & Lim, K. P. (2003). Reactivity, chemical structure, and molecular mobility of urea–formaldehyde adhesives synthesized under different conditions using FTIR and solid-state ¹³C CP/MAS NMR Spectroscopy. *Journal of Applied Polymer Science*, 88, 2677–2687.
- Pizzi, A., & Valenzuela, J. (1994). Theory and practice of the preparation of low formaldehyde emission uf adhesives. *Holzforschung*, 48(3), 254–261. <https://doi.org/10.1515/hfsg.1994.48.3.254>
- Que, Z., Furuno, T., Katoh, S., & Nishino, Y. (2007). Effects of urea–formaldehyde resin mole ratio on the properties of particleboard. *Building and Environment*, 42(3), 1257–1263. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.11.028>
- Salthammer, T. (2019). Formaldehyde sources, formaldehyde concentrations and air exchange rates in European housings. *Building and Environment*, 150(October 2018), 219–232. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.042>
- Steinhof, O., Scherr, G., & Hasse, H. (2015). Investigation of the reaction of 1,3-dimethylurea with formaldehyde by quantitative on-line NMR spectroscopy: a model for the urea-formaldehyde system. *Magnetic Resonance in Chemistry*, April, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1002/mrc.4274>
- Wang, H., Cao, M., Li, T., Yang, L., Duan, Z., Zhou, X., & Du, G. (2018). Characterization of the low molar ratio urea-formaldehyde resin with ¹³C NMR and ESI-MS: Negative effects of the post-added urea on the urea-formaldehyde polymers. *Polymers*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/polym10060602>
- Wibowo, E. S., Lubis, M. A. R., Park, B. D., Kim, J. S., & Causin, V. (2020). Converting crystalline thermosetting urea–formaldehyde resins to amorphous polymer using modified nanoclay. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 87, 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.03.014>
- Wibowo, E. S., & Park, B. D. (2020). Cure kinetics of low-molar-ratio urea-formaldehyde resins reinforced with modified nanoclay using different kinetic analysis methods. *Thermochimica Acta*, 686, 178552. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2020.178552>
- Yadav, S. M., Lubis, M. A. R., Wibowo, E. S., & Park, B. (2020). Effects of nanoclay modification with transition metal ion on the performance of urea–formaldehyde resin adhesives. *Polymer Bulletin*. <https://doi.org/10.1007/s00289-020-03214-3>
- Yu, C. W. F., & Crump, D. R. (1999). Testing for Formaldehyde Emission from Wood-Based Products – A Review. *Indoor and Built Environment*, 8(5), 280–286. <https://doi.org/10.1159/000024655>



Kualitas Kayu Laminasi Menggunakan Perekat Isosianat

Eka Mulya Alamsyah¹, Yoyo Suhaya¹, Sutrisno¹ dan Tyana Solichah Ekaputri²

¹Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa 10 Bandung, 40116

²Prodi Teknologi Pasca Panen SITH ITB, Kampus ITB Jatinangor Sumedang, 45366

E-mail: ekamulya@sith.itb.ac.id

ABSTRACT

The purpose of this study was to identify the quality of Jabon laminated wood (*Anthocephalus cadamba*), African wood (*Maesopsis eminii*), mahogany wood (*Swietenia macrophylla*), tisuk wood (*Hibiscus macrophyllus*) and manglid wood (*Manglietia glauca*) which are obtained from a community forest in Cibugel District, District. Sumedang, West Java. Lamination is made by gluing two sheets of laminate using aqueous polymer isocyanate (API), with a load pressure of 12 kgf/cm² for 24 hours, then conditioned for one week at room temperature. After that, it is continued with testing the physical properties (moisture content and density), mechanical properties (shear strength, MOE and MOR) and delamination tests. The number of repetitions in each test was ten, and it was carried out according to JAS-234 (2003) standards. The results showed that among the types of wood used, namely *A. cadamba*, *M. eminii*, *S. macrophylla*, *H. macrophyllus* and *M. glauca*, each had a laminated wood moisture content below 15% and had met JAS standards. The density of laminated wood is in the range of 0.38 to 0.58 g/cm³ and shows an increase in the density value of 3 to 5%, higher than the density of solid wood. Laminate wood shear strength values for all wood types are greater than 5.29 N/mm² and have met JAS standards. The value of wood failure for all types of laminated wood is more than 60% and has met JAS standards. Although, in general, all types of wood can be used for the manufacture of laminated wood, further research needs to be carried out in particular to improve the quality of *A. cadamba*, *M. eminii*, *S. macrophylla* wood.

Keywords: Characteristics, community forest, laminated, isocyanate, wood

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi kualitas kayu laminasi jabon (*Anthocephalus cadamba*), kayu afrika (*Maesopsis eminii*), kayu mahoni (*Swietenia macrophylla*), kayu tisuk (*Hibiscus macrophyllus*), dan kayu manglid (*Manglietia glauca*) yang diperoleh dari hutan rakyat, Kecamatan Cibugel, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat, menggunakan perekat isosianat. Laminasi dibuat dengan merekatkan dua lembar lamina menggunakan perekat *aqueous polymer isocyanate* (API), dengan beban kempa sebesar 12 kgf/cm² selama 24 jam, kemudian dikondisikan selama satu minggu dalam ruangan suhu kamar. Setelah itu, dilakukan pengujian sifat fisis (kadar air dan kerapatan), sifat mekanis (kuat geser, MOE dan MOR), dan uji delaminasi. Jumlah ulangan pada setiap uji sebanyak sepuluh buah dan dilakukan sesuai standar JAS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa di antara jenis kayu yang digunakan, yaitu *A. cadamba*, *M. eminii*, *S. macrophylla*, *H. macrophyllus*, dan *M. glauca*, masing-masing memiliki kadar air kayu laminasi di bawah 15% dan telah memenuhi standar JAS-234 (2003). Berat jenis kayu laminasi berada pada kisaran 0,38 sampai 0,58 g/cm³ dan menunjukkan kenaikan nilai kerapatan 3 sampai 5% lebih tinggi daripada kerapatan kayu solidnya. Nilai kekuatan geser kayu laminasi untuk semua jenis kayu lebih besar dari 5,29 N/mm² dan telah memenuhi standar JAS. Sementara itu, nilai kerusakan kayu untuk semua jenis kayu laminasi lebih dari 60% dan sudah memenuhi standar JAS. Meskipun secara umum semua jenis kayu dapat dimanfaatkan untuk pembuatan kayu laminasi, penelitian lanjutan perlu dilakukan, khususnya untuk meningkatkan kualitas kayu laminasi jabon, afrika, dan mahoni.

Kata kunci: Karakteristik, laminasi, isosianat, kayu, hutan rakyat



PENDAHULUAN

Kayu merupakan salah satu komoditas andalan Indonesia yang dibutuhkan sebagai bahan baku berbagai kebutuhan yang terus meningkat. Namun, saat ini produksi kayu dari hutan alam mengalami penurunan akibat tingginya laju deforestasi dibandingkan laju penanaman hutan alam itu sendiri. Membangun hutan tanaman dan hutan rakyat merupakan salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi keterbatasan pasokan kayu, terutama sebagai bahan baku industri pengolahan kayu. Salah satu jenis pohon penghasil kayu yang berpotensi untuk dikembangkan di hutan rakyat Jawa Barat adalah kayu jabon (*Anthocephalus cadamba*). Jenis kayu tersebut sudah mulai diproduksi menjadi berbagai jenis produk, tetapi dalam proses produksi satu batang kayu, hanya sedikit bagian yang dapat dimanfaatkan secara optimal. Hal ini terjadi karena ciri-ciri kayu jenis ini memiliki diameter yang kecil, kerapatan yang rendah, dan kekuatan yang rendah.

Untuk mengoptimalkan pemanfaatan jenis kayu hutan rakyat yang umumnya berdiameter kecil dan berkualitas rendah, perlu dikembangkan suatu sistem penerapan teknologi di bidang perkayuan, yaitu dengan mengembangkan teknik penyambungan kayu, salah satunya adalah perekat. Sambungan (*teknik laminasi*), termasuk pembuatan balok kayu laminasi (*glulam beam*), merupakan gabungan dari sejumlah papan kayu yang direkatkan menjadi satu balok utuh (Widyawati, 2010).

Balok kayu laminasi merupakan kombinasi beberapa lapis papan atau potongan kayu kecil yang direkatkan searah serat sehingga membentuk balok kayu yang homogen, yang dapat dibentuk panjang dan lebarnya sesuai kebutuhan, misalnya sebagai bahan baku untuk berbagai produk interior dan eksterior (termasuk struktural). Produk interior meliputi furnitur, perlengkapan olahraga, alat musik, dan produk interior lainnya. Sementara itu, contoh produk eksterior adalah tiang listrik dan konstruksi bangunan yang dapat dikombinasikan atau dimodifikasi dengan triplek sehingga dapat disubstitusi dengan kayu solid (Sari, 2011). Syarat utama balok kayu glulam adalah ketebalan lapisan antara 25–30 mm dengan ketebalan maksimal 50 mm dan kadar air tiap lapisan $\leq 15\%$ dengan perbedaan kadar air antara laminae $\leq 3\%$ (Moody dkk., 1999). Adapun jenis perekat yang biasa digunakan untuk membuat kayu laminasi, khususnya di Jepang dan Amerika Serikat, adalah perekat berbahan dasar isosianat (Alamsyah dkk., 2007).

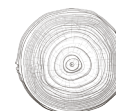
Kayu laminasi yang terbuat dari kayu cepat tumbuh dimaksudkan untuk memenuhi kekurangan pasokan kayu gergajian. Hal ini didukung oleh hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa pembuatan kayu laminasi dari beberapa jenis kayu cepat tumbuh dapat meningkatkan massa jenis dan kekuatan dibandingkan dengan kayu solidnya. Dalam beberapa tahun terakhir, banyak penelitian menunjukkan bahwa spesies kayu yang cepat tumbuh ini berpotensi untuk dimanfaatkan lebih lanjut bagi produk kayu lain dan produk kayu rekatan karena laju pertumbuhannya yang cepat, ketersediaan, sifat terbarukan, produktivitas tinggi, dan banyak kegunaannya (Alamsyah dkk., 2006; Alamsyah dkk., 2007; Alamsyah dkk., 2008; Alamsyah dkk., 2020; Karina, 2003; Marsoem, 2004; Subiyanto & Firmanti, 2004; Sutrisno dkk., 2019).

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi potensi pemanfaatan jenis kayu cepat tumbuh yang berasal dari hutan rakyat Jawa Barat dan belum banyak dimanfaatkan sebagai material kayu laminasi, yaitu *A. cadamba*, *M. eminii*, *S. macrophylla*, *H. macrophyllus*, dan *M. glauca* untuk produksi kayu laminasi menggunakan perekat isosianat (API) dengan harapan dapat menghasilkan karakteristik yang lebih baik dari kayu solidnya.

BAHAN DAN METODE PERCOBAAN

1. Bahan dan Alat

Informasi rinci tentang sumber jenis kayu yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. Jenis perekat yang digunakan adalah perekat komersial, API-KR560. Pencampuran perekat dilakukan sesuai dengan instruksi produsen perekat. Berat labur yang digunakan adalah sebesar 250 g/m².



Tabel 1. Sumber Bahan Kayu

Jenis kayu*	Nama Daerah	Umur (Tahun)	Diameter (cm)	Tinggi (m)
<i>Anthocephalus cadamba</i> Roxb	Jabon	6	25	11
<i>Maesopsis eminii</i> Engl	Afrika	8	15	12
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Mahoni	10	15	12
<i>Hibiscus macrophyllus</i> Roxb	Tisuk	8	20	10
<i>Manglietia glauca</i> Bl	Manglid	8	15	10

*) Diperoleh dari hutan rakyat Cibugel, Sumedang, Jawa Barat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah jangka sorong; mistar dan meteran digunakan untuk pengukuran; mesin kempa dingin, mesin kempa panas, *mixer*, mistar, *moisture meter*, *oven*, *roller*, *sander machine*, sarung tangan, dan wadah pengaduk digunakan dalam pembuatan kayu laminasi. *Table saw machine*, timbangan digital, *universal testing machine* (UTM AGX-50kNV Shimadzu, Jepang), dan *waterbath* digunakan untuk pengujian kayu sifat fisis, sifat mekanis, dan rasio delaminasi pada kayu laminasi.

2. Metode

a. Pembuatan kayu laminasi

Papan berukuran 230×120×10 mm dihaluskan permukaannya dengan mesin amplas dan dikondisikan pada suhu kamar selama 24 jam. Sejumlah perekat isosianat yang telah ditimbang sebesar 6,9 g disebarakan pada kedua permukaan papan menggunakan *roller* dengan berat labur 250g/m², segera diikuti dengan perakitan dan dikempa dingin pada beban 12 kgf/cm² pada suhu kamar selama 24 jam. Kemudian, kayu laminasi dikondisikan pada ruangan suhu kamar selama satu minggu. Setelah itu, kayu laminasi dipotong dan diubah menjadi contoh uji kecil untuk dilakukan uji sifat fisis, mekanis, dan delaminasi.

b. Uji sifat fisis

Contoh uji berukuran 5x5 mm dipotong dari kayu laminasi untuk pengujian kadar air dan kerapatan. Jumlah ulangan sebanyak 10 buah untuk setiap jenis kayu dan dilakukan sesuai standar JAS.

c. Kadar air

Pengukuran kadar air dilakukan menggunakan metode gravimetri. Sampel uji yang telah dioven ditimbang dan dihitung kembali dimensi akhirnya.

$$KA (\%) = \frac{\text{Berat sebelum dioven} - \text{berat setelah dioven}}{\text{Berat setelah dioven}} \times 100$$

d. Kerapatan

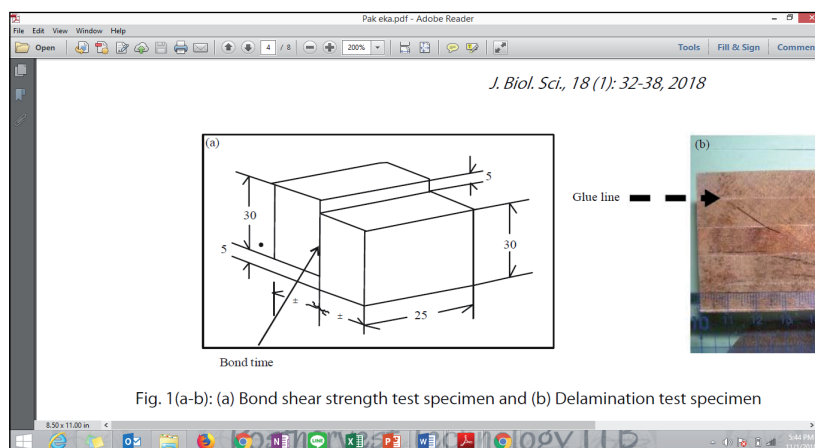
Perhitungan kerapatan dilakukan sebelum dan sesudah dioven. Berikut ini rumus yang digunakan dalam penentuan kerapatan.

$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{Berat Kering Tanur}}{\text{Volume Kering Udara}}$$

e. Uji sifat mekanis

1) Kuat geser

Contoh uji kuat geser dipotong dari kayu laminasi dengan bentuk dan ukuran seperti pada Gambar 1. Kekuatan geser rekat dan persen kerusakan kayunya diukur menurut standar JAS-234 (2003) dengan luas bidang geser $6,25 \text{ cm}^2$ dan diuji pada kondisi normal. Sebagai kontrol, kekuatan geser masing-masing kayu itu sendiri juga turut diukur. Jumlah ulangan sepuluh contoh uji untuk setiap jenis kayunya. Mesin uji universal digunakan dalam uji geser-blok dengan laju beban sekitar $9,8 \text{ KN/menit}$ sampai terjadi kerusakan.



sumber: Japanese Agricultural Standard (2000)

Gambar 1. Contoh Uji Kuat Geser

Kuat geser dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Kuat Geser (Kgf/cm}^2\text{)} = \frac{\text{Beban maksimum pada saat kerusakan}}{\text{Bidang rekat}}$$

Kerusakan kayu dihitung pada kisaran nol sampai 100% pada bidang gesernya.

2) Rasio delaminasi

Contoh uji dengan panjang 75 mm dipotong dari kayu laminasi yang tersusun dari lima-lapis papan. Jumlah ulangan sebanyak enam buah untuk tiap jenis kayu. Sebelum diuji, contoh uji laminasi direndam dalam air mendidih selama 72 jam, kemudian direndam dalam air dingin, lalu dioven pada suhu 60°C selama 24 jam setelah itu dihitung rasio delaminasinya menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Rasio delaminasi (\%)} = \frac{T_{oD}}{T_{oG}} \times 100\%$$

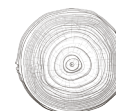
dengan,

T_{oD} = Panjang total delaminasi pada kedua ujung

T_{oG} = Panjang total garis rekat pada kedua ujung

3) Analisis statistik

Pada penelitian ini, uji statistik dilakukan untuk melihat peran kerapatan dan kekuatan geser pada masing-masing kayu laminasi menggunakan analisis of varian satu arah (*One Way ANOVA*).



HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sifat Fisis

Data hasil pengujian kadar air dan kerapatan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar Air dan Kerapatan (rata-rata)

Jenis kayu	Solid				Laminasi			
	Kadar air (%)	Simpangan baku	Kerapatan (g/cm ³)	Simpangan baku	Kadar air (%)	Simpangan baku	Kerapatan (g/cm ³)	Simpangan baku
<i>A. cadamba</i>	13,97	0,60	0,36	0,02	13,92	0,50	0,38	0,06
<i>M. eminii</i>	13,83	0,61	0,42	0,02	13,62	0,49	0,44	0,02
<i>S. macrophylla</i>	11,17	2,0	0,52	0,04	13,96	0,49	0,54	0,01
<i>H. macrophyllus</i>	12,90	0,57	0,54	0,02	14,00	0,57	0,55	0,02
<i>M. glauca</i>	14,13	0,67	0,55	0,01	13,98	0,70	0,58	0,01

Nilai kadar air kayu solid berkisar antara 11,17–14,13%, hampir sama dengan kadar air kayu laminasinya yang berkisar antara 13,62–14,00%. Namun, untuk kayu laminasi *H. macrophyllus* dan *S. macrophylla*, memiliki kadar air sedikit lebih tinggi dari pada kayu solidnya. Diduga, penambahan perekat isosianat sebagai salah satu perekat berbasis air pada *H. macrophyllus* dan *S. macrophylla* memengaruhi kadar air kayu laminasi tersebut. Namun, secara umum kadar air kayu solid dan kayu laminasi sudah memenuhi standar karena memiliki nilai di bawah 15%. Lestari (2015) melaporkan bahwa penambahan lem berpotensi meningkatkan kadar air. Perbedaan kadar air kayu solid sebelum laminasi (14–16%) dan kayu laminasi (13,9–17,1%) disebabkan oleh adanya perekat pada glulam berbahan dasar air (water based adhesive) yang meningkatkan kadar air di dalamnya, serta penggunaan kempa dingin yang tidak menyebabkan penurunan kadar air kayu.

Nilai kerapatan kayu solid berkisar antara 0,36–0,55 g/cm³. Berdasarkan SNI 03-3527-1994, *A. cadamba* diklasifikasikan sebagai kelas kuat IV (0,36), sedangkan empat jenis kayu lainnya diklasifikasikan sebagai kelas kuat III (0,42–0,55 g/cm²). Nilai kerapatan kayu laminasi berkisar antara 0,38–0,58 g/cm². Terjadi peningkatan 3–5% nilai kerapatan kayu laminasi terhadap kayu solid. Namun, kenaikan nilai kerapatan tersebut belum mampu mengubah kelas kekuatan berdasarkan SNI.

Dari hasil perhitungan statistik, dapat disimpulkan bahwa penambahan bahan perekat dan beban tekan yang diberikan belum menghasilkan perbedaan massa jenis antara kayu solid dan kayu laminasi. Berat jenis glulam tidak berbeda jauh atau masih termasuk dalam kisaran kepadatan kayu solid karena tidak ada pengaruh tekanan terhadap berat jenisnya saat menekan kayu laminasi (Komariah dkk., 2015).

2. Sifat Mekanis

a. Kuat geser

Hasil pengujian kekuatan geser disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kekuatan Geser

Jenis kayu	Solid			Laminasi		
	Kuat geser (N/mm ²)	Simpangan baku	Shear strength (N/mm ²)	Simpangan baku	Kerusakan kayu (%)	Simpangan baku
<i>A. cadamba</i>	5,99	0,76	6,19	1,67	75,00	8,50
<i>M. eminii</i>	11,14	1,19	11,64	1,79	74,00	7,75
<i>S. macrophylla</i>	11,38	1,67	11,47	1,07	89,50	4,97
<i>H. macrophyllus</i>	12,32	0,89	12,46	1,22	82,00	9,19
<i>M. glauca</i>	13,78	2,43	13,83	0,95	74,00	6,99

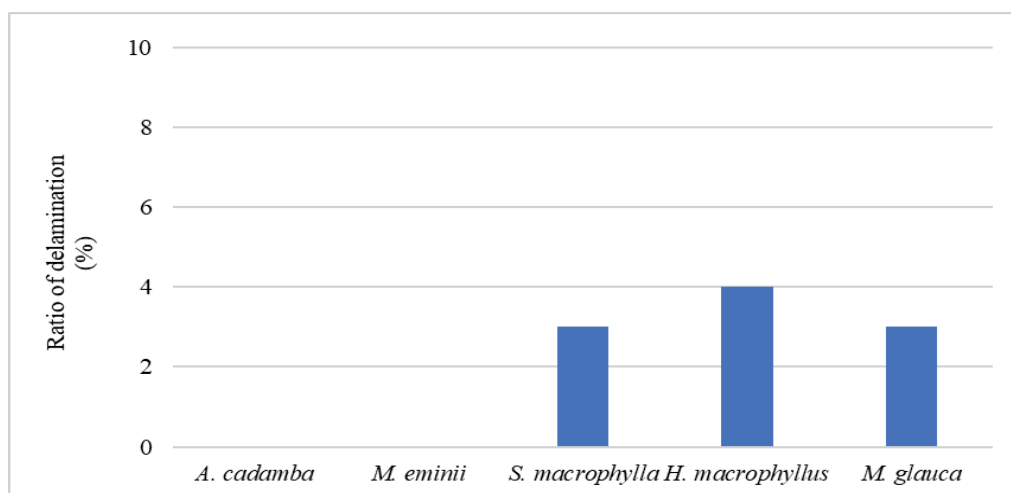


Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa kisaran nilai kuat geser kayu solid berkisar antara 5,99–13,78 N/mm². Skor terendah diperoleh *A. cadamba*, sedangkan skor tertinggi diperoleh *M. glauca*. Berdasarkan SNI 03-3527-1994, *cadamba* termasuk dalam kelas kekuatan II, sedangkan yang lain diklasifikasikan dalam kelas kekuatan I. Kuat geser kayu laminasi berkisar antara 6,19–13,83 N/m². Skor terendah diperoleh *A. cadamba* dengan kerusakan kayu sebesar 75% dan tertinggi adalah *M. glauca* dengan kerusakan kayu 74%. Kekuatan geser semua jenis kayu laminasi memenuhi JAS 234-2003 karena nilainya lebih tinggi dari 5,29 N/mm².

Meskipun terjadi peningkatan nilai kuat gesernya, berdasarkan SNI 03-3527-1994, tidak terdapat perbedaan kelas kekuatan antara kayu solid dan kayu laminasi. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara kayu solid atau kayu laminasi terhadap nilai kuat gesernya pada selang kepercayaan 95%. Sifat dan struktur anatomi masing-masing jenis kayu diduga memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap perbedaan nilai kuat gesernya. Variasi nilai kekencangan adhesi ini disebabkan oleh faktor-faktor yang memengaruhi daya rekat, yaitu ketebalan glulam, jenis kayu, dan proses pengepresan yang meliputi tekanan pres, permukaan pres, dan saat menekan. Proses pengeleman juga dipengaruhi oleh anatomi kayu, sifat fisik kayu, dan sifat kimia kayu yang berbeda (Komariah, 2014).

b. Rasio delaminasi

Data rasio delaminasi kayu laminasi ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio delaminasi *A. cadamba* dan *M. Eminii* adalah nol persen, sedangkan *S. Macrophylla* dan *M. glauca* adalah 3%, dan *H. Macrophyllus* adalah 4%, setelah perlakuan daya tahan yang dipercepat 72 jam terus diuji mendidih.



Gambar 2. Rasio Delaminasi

Hasil ini menunjukkan bahwa rasio delaminasi semua jenis kayu lebih kecil dari 5% dan telah memenuhi JAS untuk kayu laminasi struktural. Nilai uji delaminasi kayu *A. cadamba* dan *M. Eminii* pada penelitian ini lebih baik dibandingkan hasil penelitian Adawiyah dkk. (2019) dan Wardhani dkk. (2019) yang masing-masing menggunakan perekat PVAc dan UF. Hal ini karena karakteristik perekat isosianat lebih tahan terhadap perubahan kondisi lingkungan dibandingkan PVAc dan UF, terutama untuk fungsi eksterior (Alamsyah, 2007).

KESIMPULAN

Sifat fisis kayu laminasi yang terbuat dari *A. cadamba*, *M. eminii*, *S. macrophylla*, *H. macrophyllus*, dan *M. glauca* yang diikat dengan perekat isosianat telah memenuhi standar JAS-234 (2003). Sifat mekanis pada semua jenis kayu laminasi telah memenuhi standar JAS. Sifat fisis mekanis terbaik diperoleh jenis



kayu *M. glauca* dan yang terendah jenis kayu *A. cadamba*. Meskipun secara umum semua jenis kayu dapat dimanfaatkan untuk pembuatan kayu laminasi, penelitian lanjutan perlu dilakukan, khususnya untuk meningkatkan kualitas kayu laminasi jabon, afrika, dan mahoni.

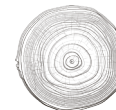
UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (Ristekdikti) yang telah memberikan hibah penelitian No. 2/E1/KP.PTNBH/2019 dalam skema penelitian dasar (PD). Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada PT Sumber Graha Sejahtera di Tangerang, Provinsi Banten, Indonesia, sebagai penunjang fasilitas penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah F. N, Suhaya Y dan Alamsyah E. M. (2019). Karakteristik glulam kayu jabon (*Anthocephalus cadamba*) dari limbah kayu penggergajian berdasarkan jenis perekat dan waktu kempa. Repository Tugas Akhir Institut Teknologi Bandung.
- Alamsyah, E. M., Yamada M., Taki K., Yoshida H., & Inai, A. (2006). Bondability of tropical fast-growing tree species II: Malaysian wood species. *Journal Adhesion Society of Japan*, 42(12), 499–505.
- Alamsyah, E. M., Liu C. N., Yamada, M., Taki, K., & Yoshida, H. (2007). Bondability of tropical fast-growing tree species I: Indonesian wood species. *Journal of Wood Science*, 53(1), 40–46.
- Alamsyah, E. M., Yamada, M., & Taki, K. (2008). Bondability of tropical fast-growing tree species III: Curing behavior of RF resin adhesive in room temperature and effects of extractives of *A. mangium* wood on bonding. *Journal of Wood Science*, 54, 208–215.
- Alamsyah, E. M., Sumardi, I., Sutrisno., Atmawi, D., dan Suhaya, Y. (2018). Bond quality of laminated wood made from surian (*Toona sinensis* Roem) dan sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen). *Jurnal of Biological Sciences*, 18(1), 32–38.
- Alamsyah E. M., Sutrisno, Sumardi, I., Darwis, A., Suhaya, & Y., Hidayat, Y. (2020). The possible use of surian tree (*Toona sinensis* Roem) branches as an alternative raw material in the production of composite boards. *Journal of Wood Science*, 66, 25.
- Esteves, B. M., Pereira, H. M. (2009). Wood modification by heat treatment: a review. *BioReosurces* 4(1), 370–404.
- Japanese Agricultural Standard. (2000). JAS SE-9 for structural glued laminated timber. Japan Plywood Inspection Cooperation.
- Japanese Agricultural Standard. (2003). JAS 234 for glued laminated timber. Japan Plywood Inspection Corporation.
- Karina, M. (2003). Potential utilization of *Acacia mangium*—its future in Indonesia. Proceeding of the international symposium on sustainable utilization of *Acacia mangium* (7–12), Kyoto, Japan.
- Komarlah, R. N. (2014). Karakteristik glued laminated timber dari tiga jenis kayu berdiameter kecil dengan dua ketebalan lamina [Tesis]. Institut Pertanian Bogor.
- Lestari, A. S. R. D. (2015). Glulam dari kayu cepat tumbuh dengan perekat tannin dan ekstrak kulit mahoni [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor.
- Marsoem, S. N. (2004). Utilization of *Acacia mangium* plantation forest product (in Indonesia). Dalam Hardiyanto E. B., Arisman, H. (Eds.). *Development of Acacia mangium plantation forest – experience in PT Musi Hutan Persada*, South Sumatera, Indonesia, 301–360.
- Moody, R. C., Hernandez, R., & Liu, J. Y. (1999). Glued structural members. General technology report. 463. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Sari, R. J. P. (2011). Karakteristik balok laminasi dari kayu sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielson), manii (*Maesopsis eminii* wild), dan akasia (*Acacia mangium* engl.) [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor.
- SNI 03-3527-1994. (t.t.). Mutu dan ukuran kayu bangunan.
- Subiyanto, B., Firmanti, A. (2004). Perspective of the sustainable production and effective utilization of tropical forest resource in Indonesia, and the role of LIPI-JSPS core university program. Proceeding of the fifth international wood science seminar (18–24), Kyoto, Japan.

- Sutrisno, Widyorini, R., Syamsudin, T. S., Alamsyah, E. M. & Purwasasmita, B. S., (2019). Bonding strength of plywood bonded using phenol formaldehyde mixed with wood bark powder nanofiller. *Journal of Indian Acad Wood Science*, 17(1), 21–33.
- Wardhani V. K., Suhaya Y dan Alamsyah E. M. (2019). Karakterisasi glulam kayu afrika (*Maesopsis eminii*) dari limbah kayu penggergajian berdasarkan jenis perekat dan waktu kempa. Repository Tugas Akhir Institut Teknologi Bandung.
- Widyawati, R. (2010). Kekuatan sambungan tegak (butt joint) struktur balok laminasi (glulam beams). *Jurnal Rekayasa*, 4(1), 27–38.



Performance of Polyethylene Glycol/Succinic Anhydride-Compregnated Woods Using Three Different Methods

Sarah Augustina¹, Imam Wahyudi^{2*}, I Wayan Darmawan², Jamaludin Malik³

¹Forest Products Science and Technology Study Program, IPB University, Bogor 16680

²Department of Forest Products, Faculty of Forestry, IPB University, Bogor 16680

³Forest Products Research and Development Center, Gunung Batu No. 5, Bogor (16610) IDN

E-mail: imyudarw16@yahoo.com

ABSTRAK

*Kompregnasi memerlukan pra-perlakuan tertentu agar mampu memperbaiki sifat kayu. Efektivitas proses tersebut dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Penelitian ini mengkaji pengaruh tiga jenis metode terhadap peningkatan berat jenis (BJ) dan stabilitas dimensi kayu dan membandingkannya dengan kayu kontrol dan kayu sebelum dikempa. Jenis kayu yang digunakan adalah pisang putih (*Mezzettia* spp.), sepetir (*Sindora* spp.) dan nyatoh (*Palaquium* spp.) asal Provinsi Kalimantan Utara, sedangkan impregnating agents-nya adalah polyethylene glycol (PEG) dan succinic anhydride (SA) berkonsentrasi 2%. Metode yang diterapkan adalah (1) impregnasi secara vakum-tekan, lalu dipadatkan (densifikasi) dengan rasio kompresi (CR) 20%, dan baru diuji, (2) impregnasi secara vakum-tekan, lalu direndam dalam masing-masing larutan impregnasi panas selama 3 jam, kemudian dipadatkan dengan CR 20%, dan baru diuji, dan (3) impregnasi secara vakum-tekan, dikeringkan dalam oven pada suhu 40°C selama 2 jam, dipadatkan dengan CR 20%, didiamkan hingga suhu 50°C selama 3.5 jam, dan baru diuji. Pengujian dilakukan setelah contoh uji dikondisioning. Hasil penelitian menunjukkan bahwa BJ kayu-kayu terkompregnasi meningkat dibandingkan dengan kontrol dan kayu sebelum dikempa. Kayu sepetir yang terkompregnasi memiliki peningkatan BJ, stabilitas dimensi, dan C-set yang lebih besar dari dua jenis kayu lainnya. Metode ketiga menunjukkan peningkatan BJ, penambahan bobot (WPG), serta C-set yang lebih besar dibandingkan dengan metode lainnya; sedangkan metode kedua menunjukkan hasil yang lebih baik dalam hal kestabilan dimensi, terutama set-recovery dan pengembangan tebal. Secara keseluruhan, penggunaan PEG dan SA berhasil meningkatkan stabilitas dimensi ketiga jenis kayu.*

Kata kunci: densifikasi, impregnasi, kompregnasi, lesser-used wood, PEG, succinic anhydride

ABSTRACT

Compregnation requires a certain pre-treatment to improve wood properties. The effectiveness of the process is influenced by internal and external factors. In this study effect of different methods on the improvement of specific gravity (SG) and dimensional stability of compregnated-wood has been examined and compared to the control and the wood before pressing. The wood species used are pisang putih (*Mezzettia* spp.), sepetir (*Sindora* spp.), and nyatoh (*Palaquium* spp.) from North Kalimantan Province; while impregnating agents are 2% polyethylene glycol (PEG) and succinic anhydride (SA). Methods applied are (1) vacuum-pressure impregnation, then hot pressing (densification) with compression ratio (CR) of 20%, conditioning, and then testing, (2) vacuum-pressure impregnation, hot soaking in each impregnating solution for 3 hours, hot pressing with CR 20%, conditioning, and then testing, and (3) vacuum-pressure impregnation, oven-drying at 40°C for 2 hours, hot pressing with CR 20% then keeping until 50°C (3.5 hours), conditioning, and then testing. Testing of samples conducted after conditioning. Results showed that, in general, SG of the compregnated wood increased compared to the control and the wood before pressing. Compregnated-sepetir wood has a greater increase in SG, dimensional stability, and the C-set than the other two species. The 3rd method shows a greater improvement in SG, weight percent gain (WPG), and C-set compared to other treatments. The 2nd method shows better results in terms of dimensional stability, especially compression set-recovery and thickness swelling. In general, the use of PEG and SA was successful in increasing the dimensional stability of all wood species.

Keywords: compregnation, densification, impregnation, lesser-used wood, PEG, succinic anhydride



INTRODUCTION

Techniques for improving the densification process are an interesting study field because they have the potential to improve some technical properties and added value of low-quality wood. Densification is often referred to a technique for modifying wood under compression (Shams et al., 2006; Rautkari et al., 2011). During compression, wood exhibits a typical stress-strain curve which is divided into three distinct regions. In the beginning, the wood exhibits elastic behavior where the load and deformation are linearly related, known as the elastic region. Then, the wood undergoes inelastic where strain increases rapidly with little or no change in stress resulted in several cell collapses, known as inelastic or plateau region. If compressive loading continues, all wood cells (including pores and fibers) will collapse, and the wood becomes more compact and denser. The last phase is known as the densification region (Tabarsa, 1999; Kutnar & Sernek, 2007).

Various densification processes have been studied by many researchers. It is known that an improvement on physical (density and specific gravity or SG of wood), as well as mechanical properties, occurred. (Inoue et al., 1991; Shams et al., 2006, Kutnar et al., 2009; Dömeny et al., 2014; Tu et al., 2014; Pelit & Yalçın, 2017). One of the main problems associated with this process is the spring-back phenomenon. Densified wood is capable for recovering to its original size and shape, especially under high humidity. According to Sadatnezhad et al. (2017), spring-back is related to wood hygroscopicity and the release of internal stresses which is occurred during densification. Spring-back can cause dimensional instability; therefore, some treatments should be applied in order to eliminate or reduce it. According to Morsing (1998); Kutnar and Sernek (2007), there are three mechanisms to eliminate spring-back i.e., changing the hygroscopicity of the cell wall and making its inaccessible to water, forming covalent crosslinks between wood components in the deformed state, and relaxing the internal stresses stored in the microfibrils and matrix during compression.

Efforts for eliminating spring-back can be made by performing several approaches. These include impregnation with anhydride and other polymers, such as polyethylene glycol (PEG) and succinic anhydride (SA), then followed by pressing. Impregnation before pressing can change the hygroscopicity of wood due to bulking effect of impregnant agent, thus making the wood inaccessible to water and also maintaining the deformation that occurred (Lahtela & Karki, 2014). The use of PEG with different molecular weights (1,000, 8,000, and 20,000) as impregnating agents on *Pinus resinosa* wood has been proven to reduce ASE values (Jeremic et al., 2007). According to Hill (2006), the application of SA on densified wood can increase stress relaxation. It was found that an increase in pH leads to an increase in stress relaxation due to side-chain ionization, with maximum swelling occurred between pH 5–8. The SA also imparted thermoplasticity to the wood, causing a reduction of softening point in the range of 55–77°C. Therefore, it can also increase its compressibility during pressing.

Compregnation is a combination of impregnation and densification. Based on extensive related works, it was found that compregnation needs a certain pre-treatment in order to successfully improve the wood properties. The effectiveness of the process is influenced by the internal factor, particularly anatomical characteristics of wood and wood moisture (Tabarsa & Chui, 2000; Nairn, 2005; Kamke and Kutnar, 2010; Darwis et al., 2017), while external factors mostly depend on pre-treatment, the direction of compression, compression ratio (CR), temperature, closing time and holding time during treatments (Shams et al., 2006; Rautkari et al., 2011). A set of pre-treatments before pressing the wood have an ultimate effect on the final product (compregnated wood). Possible pre-treatments applied are heat immersion which can induce wood softening (Morsing, 1998; Kamke & Kutnar, 2010), wood drying at a lower temperature, and applying holding time during compressive loading (Rautkari et al., 2011; Laine et al., 2013, 2014; Chu et al., 2019). According to Kamke & Kutnar (2010), softening the wood before compressing may change the behavior of wood from glassy into a rubbery phase which has an effect on compressibility and deformation state (cell wall buckling without ruptures). On the other hand, slow drying after impregnation enables continuous and deeper diffusion of impregnant agent into the



wood cell, also can slowly remove wood moisture which leads to the reduction of impregnant loss while compressive loading applied (Meints et al., 2018). Moreover, longer holding time applied may cause surface drying as moisture migrates through inner layers of the wood and increase its moisture content, thereby moving the “softening” region deeper and making it possible to compress more layers of wood (Laine et al., 2013 and 2014; Chu et al., 2019).

Since the study regarding this matter is limited, therefore, the aim of this research was to analyze the performances of PEG- and SA-compregnated woods especially on the improvement of SG and dimensional stability, by using three different methods on three different lesser-used wood species, namely pisang putih (*Mezzettia* spp.), sepetir (*Sindora* spp.), and nyatoh (*Palaquium* spp.).

MATERIAL AND METHOD

Material

The logs (± 120 cm of length and ± 50 cm of diameter at breast height) of pisang putih, sepetir, and nyatoh from one area of forest concession in North Kalimantan Province were used as the main material. The logs were converted into 3.20 cm thick boards and then air-dried for two months. The boards were reconverted into wood samples of $2 \times 2 \times 2$ cm³ for the control and $2 \times 2 \times 2.4$ cm³ for compregnated wood. The number of samples were three for each wood species and each treatment (Table 1).

Table 1. Methods for the Compregnation Process

Method	1 st step	2 nd step	3 rd step	4 th step
Control (C)				
1	Impregnation	Densification	Conditioning	
2	Impregnation	Hot soaking within each impregnant solution at 80°C; 3 hours	Densification	Conditioning
3	Impregnation	Slow drying within the oven at 40°C; 2 hours	Densification; holding time 3.5 h (until 50°C)	Conditioning

Method

Compregnation

All wood samples were subjected to impregnation and then followed by densification. Impregnation was carried out by -98 kPa vacuum for 15 minutes then 350 kPa pressure for 4 hours using 2% PEG and SA, separately. After that, the samples were subjected to several different steps before pressing (Table 1). Densification was carried out on a tangential surface with a 20% compression ratio (CR) by using a hot pressing machine (160°C) at 2.672 MPa specific pressure for 15 minutes. Before testing, the samples were conditioned by cold pressing overnight.

Measurement of Specific Gravity

Samples were weighed and measured and then dried in the oven (103 ± 2)°C until constant and reweighed to obtain sample weight and volume in oven-dried condition. Specific gravity measurement was carried out before and after pressing so that the increasing value can be seen. SG can be calculated according to Eq. 1.

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{water}} \quad (1)$$

Where, SG = Specific gravity, ρ = Density (g/cm³), and ρ_{water} = Density of water 4 °C (g/cm³).



Measurement of Weight Percent Gain

Weight percent gain (WPG) can be calculated according to Eq. 2.

$$WPG (\%) = \frac{W1 - W0}{W0} \times 100 (2)$$

Where WPG = Weight percent gain (%), W0 = Oven-dried weight of the sample before impregnation (g), and W1 = Oven-dried weight of the sample after impregnation (g).

Measurement of Compression-set

Compression sets (C-set) can be used to specify the thickness variations after densification. The C-set value can be measured according to Eq. 3.

$$C - set (\%) = \frac{T_o - T_a}{T_o} \times 100 (3)$$

Where C-set = Compression set (%), T_o = Oven-dried thickness of sample before densification (mm), and T_a = Oven-dried thickness of sample after densification (mm).

Measurement of Dimensional Stability

Dimensional stability was approached by compression-set recovery (CSR) and thickness swelling (TS) after the water soaking process. After pressing, the samples were oven-dried to determine their oven-dried thickness before swelling. Oven-dried samples were then soaked within the water at room temperature for 24 hours and then oven-dried again for 24 hours. The thickness was measured in oven-dried condition and after the water soaking process. The CSR and TS values were measured according to Eq. 4 and 5.

$$CSR (\%) = \frac{T_{ss} - T_{sb}}{T_o - T_{sb}} \times 100 (4)$$

$$TS (mm) = T_{ss} - T_{sb} (5)$$

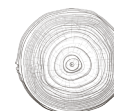
Where, CSR = Compression-set recovery (%), TS = Thickness swelling (mm), T_o = Sample thickness before densification (mm), T_{sb} = Oven-dry thickness before swelling (mm), and T_{ss} = Oven-dry thickness after swelling (mm).

Scanning Electron Microscopy (SEM) Analysis

SEM analysis was used to investigate the microscopic changes in compregnated wood. Before being observed, the samples were vacuum dried at 40 °C for 24 hours. Cross-sections of samples were then coated using JEOL JEC-3000FC Auto fine coater with gold (Au) for 120 s and 30 mA and observed under SEM (JEOL JSM-6510LV, Japan) at 15 kV voltages. Several images at 75x magnification were obtained for each group of samples.

Data Analysis

The experimental design applied was randomized with three factors, namely wood species (three levels), impregnating agent (three levels), and method (three levels). Moreover, analysis of variance (ANOVA) was conducted to evaluate the effect of each factor on SG and dimensional stability. Significant differences of variables within each factor and interaction among them were then determined using Duncan's multiple range test.



RESULTS AND DISCUSSION

Specific gravity (SG)

Compregnation is one of wood modification techniques by impregnating specific compounds into the wood before pressing (densification) in order to improve wood strength, expanding the range of its application, and to increase attractiveness of low-density wood (Belt et al., 2013). The average SG of the three compregnated woods are presented in Table 2. Overall, it can be seen that SG of compregnated woods increased compared to control (untreated) and before pressing.

The results of ANOVA ($P < 0.05$) show that wood species had a significant effect on SG, while method, impregnant agent, as well as their interaction, have no significant effect (Table 2). In comparison with the condition before pressing, SG for pisang putih-compregnated wood 7.55–14.03% increased, while for sepetir- and nyatoh-compregnated wood were 10.53–16.22% and 9.52–11.47%, respectively. Among them, sepetir wood has the highest increasing SG due to larger void volume (Augustina et al., 2020a). Higher void volume leads to higher rate of deformation of the cell cavities, as well as a larger reduction in void volume (Tu et al., 2014; Bao et al., 2017). The initial SG of wood species also took a role in the densification process which was related to void volume in the wood structure. Darwis et al. (2017) stated that increasing SG after densification is mainly influenced by porosity or proportion of cell cavities and cell arrangement in each species. Meanwhile, a higher void volume of sepetir wood led to a higher absorption rate of impregnant agent. This phenomenon is also convinced by WPG value (Table 3). Sepetir-compregnated wood had a higher WPG value than other species.

Table 2. Average Value of Specific Gravity (SG)

Impregnant	Method	Wood species					
		Pisang putih		Sepetir		Nyatoh	
		Before	After	Before	After	Before	After
-	C	0.55 ± 0.01 ^{bc}		0.33 ± 0.03 ^a		0.50 ± 0.01 ^b	
PEG	1	0.53 ± 0.01	0.59 ± 0.02 ^{bc}	0.34 ± 0.07	0.39 ± 0.07 ^a	0.47 ± 0.02	0.52 ± 0.02 ^{bc}
	2	0.54 ± 0.01	0.60 ± 0.02 ^{bc}	0.34 ± 0.07	0.38 ± 0.08 ^a	0.52 ± 0.05	0.59 ± 0.07 ^{bc}
	3	0.54 ± 0.01	0.61 ± 0.02 ^{bc}	0.30 ± 0.06	0.34 ± 0.07 ^a	0.49 ± 0.06	0.57 ± 0.09 ^{bc}
SA	1	0.54 ± 0.03	0.61 ± 0.03 ^{bc}	0.34 ± 0.07	0.40 ± 0.08 ^a	0.49 ± 0.06	0.53 ± 0.07 ^{bc}
	2	0.52 ± 0.03	0.58 ± 0.03 ^{bc}	0.30 ± 0.07	0.35 ± 0.08 ^a	0.49 ± 0.06	0.54 ± 0.07 ^{bc}
	3	0.57 ± 0.02	0.63 ± 0.05 ^c	0.31 ± 0.08	0.37 ± 0.09 ^a	0.50 ± 0.05	0.58 ± 0.06 ^{bc}

Note: SG values are the average of 3 replications with standard deviation. The values in the column followed by the same letter are not significantly different at 5% significance level using Duncan's multiple range tests.

The result shows that SG of pisang putih-compregnated wood increased 10.17 and 11.47% (1st method), 10.00 and 10.34% (2nd method), 11.47 and 9.52% (3rd method) by using PEG and SA, respectively. Sepetir-compregnated wood increased 12.82 and 15.00% (1st method), 10.53 and 14.28% (2nd method), and 11.76 and 16.22% (3rd method). Meanwhile, nyatoh-compregnated wood increased around 9.61 and 7.55% (1st method), 11.86 and 9.26% (2nd method), and 14.03 and 13.79% (3rd method), respectively. Generally, the highest increasing SG was obtained by using the 3rd method, which had a longer holding time (almost 3.5 h than others). The longer the holding time, the greater heat transfer and opportunity for the wood structure to deform visco-elasticity is (Rautkari et al., 2011). Moreover, longer holding time may cause surface drying as moisture migrates through inner layers of the wood and increase its moisture content, thereby moving the “softening” region deeper and making it possible to compress more layers of wood (Laine et al., 2013; 2014; Chu et al., 2019).

The results are also proven by its WPG (Table 3). The WPG of the 3rd method was higher among others. This phenomenon happened because the drying process after impregnation was applied. Slow



drying after impregnation allows for continuous and deeper diffusion of the impregnant into the wood cell wall, resulting in impregnant gradient concentration between cell cavity and cell wall (Meints et al., 2018). A similar phenomenon was also found by Zhao et al. (2015), which is stated that slow drying with ultrasound technology can improve wood permeability, increase the absorption rate of impregnant agent, and lead to higher WPG.

Moreover, higher WPG indicated higher impregnant agents who were accumulated and deposited in the cell cavities. Thus, it would also increase oven-dried weight as well. This phenomenon could be described by the higher increase in SG in the 3rd method. Also, a similar phenomenon was found by Nur et al. (2011).

Table 3. Average Value in Weight Percent Gain (WPG)

Impregnant	Method	Wood species		
		Pisang putih	Sepetir	Nyatoh
PEG	1	0.48 ± 0.23ab	2.25 ± 0.12ghi	2.00 ± 0.39efgh
	2	0.58 ± 0.17ab	2.18 ± 0.39fghi	1.66 ± 0.34cdefg
	3	1.24 ± 0.41cd	2.64 ± 0.66hi	2.20 ± 0.33fghi
SA	1	0.53 ± 0.07ab	1.43 ± 0.07cde	1.52 ± 0.43cdef
	2	1.02 ± 0.29bc	2.69 ± 0.57i	1.62 ± 0.38cdefg
	3	1.92 ± 0.66defg	3.78 ± 0.63j	2.28 ± 0.31ghi

Note: WPG values are the average of 3 replications with standard deviation. The values in the column followed by the same letter are not significantly different at a 5% significance level using Duncan's multiple range tests.

Compression-set (c-set)

Increasing SG will be in line with increases in C-set value (Inoue et al., 1991). The meaning of C-set itself is a thickness difference in oven-dry conditions before and after compregnation (Fang et al., 2011). The results of ANOVA ($P < 0.05$) showed that wood species and methods applied had a significant effect on C-set, while impregnant agent did not provide a significant effect (Table 4). The results showed that C-set on sepetir-compregnated wood was higher than that of nyatoh- and pisang putih-compregnated wood. Among methods applied, the 3rd one resulted in a better C-set value than others.

The average value of C-set on sepetir-compregnated wood (14.68%) was higher than nyatoh- (13.79%) and pisang putih- (12.56%) compregnated wood (Table 4). This result was also proven by their SEM observation. According to Figure 1, it showed that the pores of nyatoh- and pisang putih-compregnated wood became oval or irregular, but it became smaller or tended to be flattened on sepetir-compregnated wood. Rapid flattening cells occurred on sepetir wood due to lower initial SG (Table 2) and higher void volume (Augustina et al., 2020a). Meanwhile, slight flattening cells occurred on of nyatoh- and pisang putih-compregnated wood was due to 'anatomical structure barrier' which might be holding up the deformation during compression. According to previous research, nyatoh wood has axial parenchyma in narrow tangential bands with irregularly spaced, while pisang putih has ray parenchyma of two distinct sizes, namely uniseriate and multiseriate, and also axial parenchyma in continuous tangential bands with irregularly spaced (Augustina, 2019; Augustina et al., 2020b). It was also agreed by Blomberg (2005) and Tabarsa (1999). They stated that ray parenchyma has an important effect on the variation of compression between radial and tangential directions. It also can act as a reinforcement agent during compression.

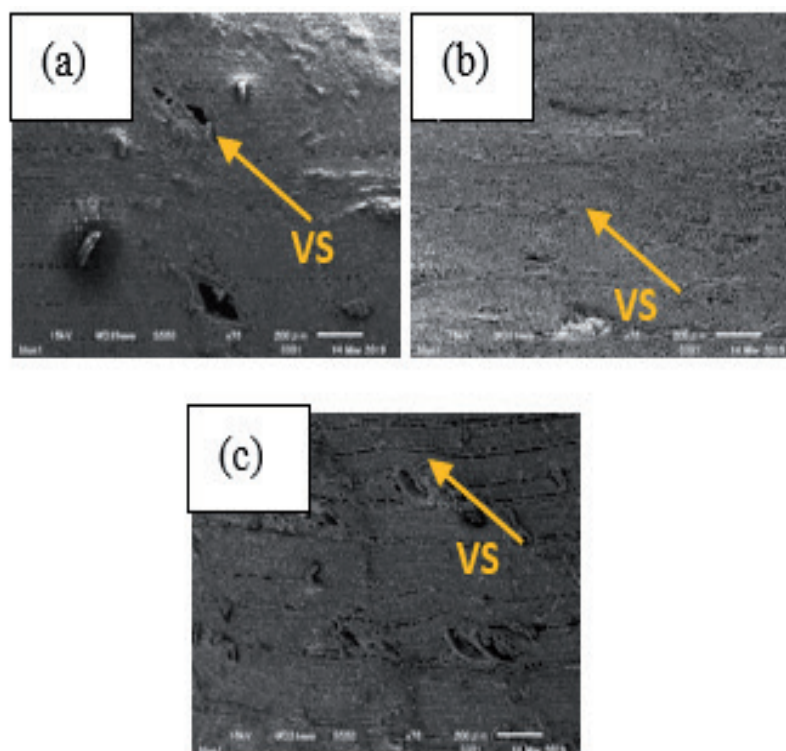
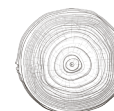


Figure 1. Changes in the Cell Structure of Three Wood Species after Compregnation, especially Vessel Cell (VS), Observed With SEM: (a) Pisang Putih, (b) Sepetir, and (c) Nyatoh Wood, 75× Magnification.

Table 4. Average Value of Compression-Set (C-Set)

Impregnant	Method	Wood species		
		Pisang putih	Sepetir	Nyatoh
PEG	1	13.08 ± 1.91 ^{bcd}	15.19 ± 2.24 ^{bcde}	15.79 ± 1.00 ^{cdefg}
	2	15.00 ± 2.33 ^{bcde}	15.45 ± 1.65 ^{bcdef}	16.62 ± 1.22 ^{efgh}
	3	15.44 ± 1.68 ^{bcdef}	18.49 ± 1.53 ^{fgh}	18.65 ± 1.95 ^{gh}
SA	1	15.97 ± 1.01 ^{defg}	17.98 ± 2.50 ^{efgh}	12.65 ± 2.25 ^b
	2	12.81 ± 1.19 ^{bc}	16.63 ± 0.90 ^{efgh}	14.96 ± 1.41 ^{bcde}
	3	15.62 ± 2.81 ^{bcdefg}	19.06 ± 1.14 ^h	17.89 ± 1.69 ^{efgh}

Note: C-set values are the average of 3 replications with standard deviation. The values in the column followed by the same letter are not significantly different at the 5% significance level using Duncan's multiple range tests.

The average C-set values were 15.11% for the 1st method and 15.24 and 17.52% for the 2nd and the 3rd method, respectively (Table 4). The 3rd method showed a higher C-set than others. It was indicated that the application of the 3rd method might improve the compressibility of wood. It happened due to longer holding time which may induce greater heat transfer, then helps to soften the wood structure and improve wood compressibility (Sandberg et al., 2017).



Compression-set recovery (CSR) and thickness swelling (TS)

As mentioned before, dimensional stability is approached by compression-set recovery (CSR) and thickness swelling (TS) after the water soaking process. Thickness swelling of compregnated wood after water soaking is stated by compression-set recovery (CSR) (Esteves et al., 2017), while TS represented the total swelling originated from the swelling of wood cell and the swelling caused by compressive stress release which was existed in wood during the densification process. The results of ANOVA ($P < 0.05$) showed that wood species, method, and impregnant agent had a significant effect on CSR and TS (Table 5 dan 6). The results also showed that CSR and TS on sepetir wood was lower than nyatoh and pisang putih. The 2nd method had a lower CSR and TS values than others. Meanwhile, SA-compregnated wood resulted in a lower CSR and TS than PEG-compregnated wood. The TS value of compregnated wood was much higher compared with those untreated samples.

The average value of CSR on pisang putih-compregnated wood was 52.75%, for sepetir- and nyatoh-compregnated wood were 33.20 and 45.98%, respectively. Average TS was 2.89, 2.26, and 2.64 mm for pisang putih-, sepetir-, and nyatoh-compregnated wood, respectively. It can be seen that sepetir showed a lower value both in CSR and TS, which indicated higher dimensional stability. It happened due to lower initial SG and less dense wood produced after compregnation. Even though sepetir wood had a higher improvement of SG, the value was still lower than SG nyatoh and pisang putih woods (Table 2). This phenomenon is similar to Ellis and Steiner (2002), which stated that denser wood generally recovered more when soaked due to the presence of more cell wall materials.

Table 5. Average Value of Compression-Set Recovery (CSR)

Impregnant	Method	Wood species		
		Pisang putih	Sepetir	Nyatoh
PEG	1	75.05 ± 1.53 ⁱ	44.75 ± 1.85 ^{de}	53.86 ± 2.7 ^f
	2	64.72 ± 8.02 ^h	43.16 ± 7.86 ^d	54.75 ± 4.8 ^{fg}
	3	74.49 ± 2.04 ⁱ	61.76 ± 1.27 ^{gh}	62.25 ± 2.52 ^h
SA	1	58.22 ± 3.32 ^{gh}	32.05 ± 8.21 ^c	58.52 ± 2.5 ^{gh}
	2	42.57 ± 3.02 ^d	18.69 ± 9.37 ^b	40.80 ± 2.97 ^d
	3	54.40 ± 1.61 ^{fg}	32.08 ± 6.96 ^c	51.63 ± 2.72 ^{ef}

Note: CSR values are the average of 3 replications with standard deviation. The values in the column followed by the same letter are not significantly different at the 5% significance level using Duncan's multiple range tests.

The result also shows that the average CSR for each method was 53.71% for the 1st, 44.08% for the 2nd, and 56.13% for the 3rd. The average TS in each method was 2.86 mm for the 1st, 2.62 mm for the 2nd, and 3.20 mm for the 3rd. As mentioned before, even though the 3rd method resulted in a higher improvement of SG and C-set it could not guarantee a good result for both CSR and TS. This happened due to spring-back, which generally occurred in the 3rd method, particularly during the holding time process. On the other hand, it can be seen that the 2nd method showed a better CSR and TS. It happened due to pre-treatment applied before densification, i.e. hot soaking, that could increase inner temperature and moisture content in wood, thus increases the possibility of wood structure deformed without or less damage. According to Ellis and Steiner (2002), wood with higher moisture content produces a smoother stress/strain curve after the elastic limit reached than wood with lower moisture content; thus it also increases wood plasticity. Deformation formed under lower stress conditions has a linear and elastic characteristic (Pelit et al., 2014).

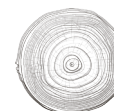


Table 6. Average Value of Thickness Swelling (TS)

Impregnant	Method	Wood species		
		Pisang putih	Sepetir	Nyatoh
-	C	0.65 ± 0.16 ^a	0.91 ± 0.17 ^a	0.89 ± 0.20 ^a
PEG	1	3.23 ± 0.36 ^{fg}	2.67 ± 0.07 ^{cdef}	3.06 ± 0.04 ^{efg}
	2	3.45 ± 0.43 ^{gh}	2.53 ± 0.50 ^{cde}	2.95 ± 0.15 ^{defg}
	3	3.93 ± 0.28 ^h	3.36 ± 0.29 ^{gh}	3.55 ± 0.33 ^{gh}
SA	1	3.32 ± 0.15 ^g	2.47 ± 0.65 ^{cde}	2.41 ± 0.27 ^{cd}
	2	2.61 ± 0.25 ^{cde}	1.59 ± 0.68 ^b	2.62 ± 0.16 ^{cde}
	3	3.05 ± 0.31 ^{efg}	2.31 ± 0.47 ^c	3.02 ± 0.23 ^{defg}

Note: TS values are the average of 3 replications with standard deviation. The values in the column followed by the same letter are not significantly different at the 5% significance level using Duncan's multiple range tests.

In different impregnant agents, average CSR values were 59.47 and 43.13% for PEG- and SA-compregnated woods, respectively, while average TS were 3.19 and 2.60 mm for PEG- and SA-compregnated woods, respectively. It can be seen that application SA as impregnant agent could minimize the CSR and TS. This happened due to the characteristic of SA itself, which could increase stress relaxation during pressing. The SA is categorized as an acidic compound (Hill, 2006). It was found that an increase in pH led to an increase in stress relaxation due to side-chain ionization, with maximum swelling of the wood occurred between pH 5–8. In addition, an increase in pH led to the partial degradation of cell wall polymer (mainly hemicellulose). Dwianto et al. (1998) stated that partial degradation might lead the relaxation of inner stresses as well as the reduction of hygroscopicity. A higher CSR and TS value of PEG-compregnated wood was due to high hygroscopicity of PEG. Meints et al. (2018) stated that PEG contributes to the overall capacity of wood to absorb water from a humid environment. In an extreme environment of $\geq 90\%$ RH, PEG is able to absorb water up to 100% of its mass (Stamm, 1956; Rosen, 1975). Additionally, PEG is comprised of nonbonded-leachable compounds, which impregnate within the wood structure, yet provide no cell wall interaction and little resistance to leaching (Rowell & Ellis, 1978). This possibility can be a reason for the higher CSR and TS value for PEG compregnated wood.

Compared with those untreated wood samples, TS value of compregnated wood is much higher due to reversible and irreversible swelling that occurred in the wood cell during the water soaking process. Reversible swelling is caused by hygroscopicity of wood, while irreversible swelling is caused by CSR (Fang et al., 2011). Irreversible swelling can also occur due to mechanical failure of covalent bonds between hemicellulose and lignin when the development of stress exceeds the bond strength between those wood components (Ohlmeyer & Paul, 2010).

CONCLUSION

Compregnation by using the three different methods can increase SG of wood compared to before treatment and control wood. In the case of wood species, sepetir wood has a greater improvement in SG and dimensional stability, as well as C-set, than nyatoh and pisang putih wood. In case of the method, the 3rd one provides a greater improvement in SG and WPG, as well as C-set compared to others, while the 2nd method shows a better result on dimensional stability, especially CSR and TS. The utilization of PEG and SA successfully improves the dimensional stability of wood. In general, SA-compregnated wood has lower CSR and TS compared to PEG-compregnated wood.



ACKNOWLEDGEMENT

The authors are grateful for the support of the Ministry of Research, Technology, and Higher Education of the Republic of Indonesia through PMDSU Batch II No. 1053/IT3.11/LT/2017.

REFERENCES

- Augustina, S. (2019). *Sifat dasar tiga jenis kayu lesser-used species dan peningkatan mutunya melalui teknik densifikasi* [Tesis]. Bogor: IPB University. (in Bahasa Indonesia).
- Augustina, S., Wahyudi, I., Darmawan, W.I., Malik, J., Kojima, Y., & Basri, E. (2020a). Specific gravity and dimensional stability of boron-densified wood on three lesser-used species from Indonesia. *J. Korean Wood Sci Technol*, 48(4): 458–471.
- Augustina, S., Wahyudi, I., Darmawan, W. I., & Malik, J. (2020b). Ciri anatomi, morfologi serat, dan sifat fisik tiga jenis *lesser-used wood species* asal Kalimantan Utara, Indonesia. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(4): 599–609.
- Bao, M., Huang, X., Jiang, M., Yu, W., & Yu, Y. (2017). Effect of thermos-hydro-mechanical densification on microstructure and properties of poplar wood (*Populus tomentosa*). *J Wood Sci*, 63(6): 591–605.
- Belt, T., Laine, K., Rautkari, L., & Hill, C. A. S. (2013). Cupping behaviour of surface densified scots pine wood: The effect of process parameter and correlation with density profile characteristics. *J Mater Sci*, 48: 6426–6430.
- Blomberg, J., Persson, B., & Blomberg, A. (2005). Effect of semi-isostatic densification of wood on the variation in strength properties with density. *Wood Sci Technol*, 39: 339–350.
- Chu, D., Mu, J., Avramidis, S., Rahimi, S., Liu, S., & Lai, Z. (2019). Functionalized surface layer on poplar wood fabricated by fire retardant and thermal densification. Part 1: Compression recovery and flammability. *Forests*, 10(11): 955.
- Darwis, A., Wahyudi, I., Dwianto, W., & Cahyono, T. D. (2017). Densified wood anatomical structure and the effect of heat treatment on the recovery of set. *J Ind Acad Wood Sci*, 14(1): 24–31.
- Dömeny, J., Koiš, V., & Zapletal, M. (2014). Application of microwave treatment for the plasticization of beech wood (*Fagus sylvatica* L.) and its densification for flooring system purposes. *Bioresources*, 9(4): 7419–7528.
- Dwianto, W., Norimoto, M., Morooka, T., Tanaka, F., Inoue, M., & Liu, Y. (1998). Radial compression of sugi wood (*Cryptomelia japonica* D. Don). *Holz als Roh- und Werkstoff*, 56: 403–411.
- Ellis, S., & Steiner, P. (2002). The behaviour of five wood species in compression. *IAWA*, 23(2): 201–211.
- Esteves, B., Ribeiro, F., Cruz-Lopes, L., & Domingos, J. F. I. (2017). Densification and heat treatment of maritime pine wood. *Wood Res*, 62(3): 373–388.
- Fang, C. H., Mariotti, N., Cloutier, A., Koubaa, A., & Blanchet, P. (2011). Densification of wood veneers by compression combined with heat and steam. *Eur J. Wood and Wood Prod*, 70(1–3): 155–163.
- Hill, C. A. S. (2006). *Wood modification: Chemical, thermal, and other processes*. John Wiley and Sons.
- Inoue, M., Norimoto, M., Otsuka, Y., & Yamada, T. (1991). Surface compression of coniferous wood lumber II: Permanent set of compression wood by low molecular weight phenolic resin and some physical properties of the products. *Mokuzai Gakkaishi*, 35(3): 227–233.
- Jeremic, D., Cooper, P., & Brodersen, P. (2007). Penetration of poly (ethylene glycol) into wood cell walls of red pine. *Holzforschung*, 61: 272–278.
- Kamke, F. A., & Kutnar, A. (2010). Transverse compression behavior of wood in saturated steam at 150–170°C. *Wood Fiber Sci*, 42(3): 377–387.
- Kutnar, A., & Sernek, M. (2007). Densification of wood. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 82: 53–62.
- Kutnar, A., Kamke, F. A., & Sernek, M. (2009). Density profile and morphology of viscoelastic thermal compressed wood. *Wood Sci Technol*, 43: 57–68.
- Lahtela, V., & Karki, T. (2014). Effects of impregnation and heat treatment on the physical and mechanical properties of Scots pine (*Pinus sylvestris*) wood. *Wood Mater Sci Engin*, 11(4): 217–227.
- Laine, K., Antikainen, T., Rautkari, L., & Hughes, M. (2013). Analysing density profile characteristics of surface densified solid wood using computational approach. *Int Wood Prod J*, 4(3): 144–149.
- Laine, K., Segerholm, K., Wälinder, M., Rautkari, L., Ormondroyd, G., Hughes, M., & Jones D. (2014). Micro-morphological studies of surface densified wood. *J Mater Sci*, 49: 2027–2034.



- Meints, T., Hanmann, C., & Altmutter, W. G. (2018). Suitability of different variants of polyethylene glycol impregnation for the dimensional stabilization of oak wood. *Polymers*, 10(81): 1–12.
- Morsing, N., & Hoffmeyer, P. (1998). *Densification of wood: the influence of hygrothermal treatment on compression of beech perpendicular to the grain* [Thesis]. Kgs. Lyngby, Denmark: Technical University of Denmark (DTU).
- Nairn, J. A. (2005). Numerical simulation of transverse compression and densification in wood. *Wood Fiber Sci*, 38(4): 576–591.
- Nur, I. F. A., Zaidon, A., Rabia'tol, A. M. A., Bakar, E. S., Paridah, M. T., Mohd, H. S., & Anwar, U. M. K. (2011). Enhancing the properties of low-density hardwood *Dyera costulata* through impregnation with phenolic resin admixed with formaldehyde scavenger. *J Applied Sci.*, 11: 3474–3481.
- Ohlmeyer M, Paul W. 2010. *Optimization of the Properties of Wood Materials by Means of Thermal Modification Methods* (Work Report No. 2010/2). Hamburg (DE): Institute of Wood Technology and Wood Biology, University of Hamburg.
- Pelit, H., Sonmez, A., & Budakci, M. (2014). Effect of thermowood® process combined with thermo-mechanical densification on some physical properties of scot pine (*Pinus sylvestris* L.). *Bioresources*, 9(3): 4552–4567.
- Pelit, H., & Yalçın, M. (2017). Resistance of mechanically densified and thermally post-treated pine sapwood to wood decay fungi. *J Wood Sci*, 63(5): 514–522.
- Rautkari, L., Laine, K., Laffin, M., & Hughes, M. (2011). Surface modification of scots pine: the effect of process parameters on the through thickness density profile. *J Mater Sci*, 46: 4780–4786.
- Rosen, H. N. (1975). Moisture adsorption and swelling in polyethylene glycol and polymethyl methacrylate treated wood at high relative humidity. *Winter*, 7(4): 249–255.
- Rowell, R. M., & Ellis, W. D. (1978). Determination of dimensional stabilization of wood using the water-soak method. *Wood Fiber*, 10(2) 104–111.
- Sadatnezhad, H. S., Khazaecian, A., Sandberg, D., & Tabarsa, T. (2017). Continuous surface densification of wood: A new concept for large-scale industrial processing. *Bioresources*, 12(2): 3122–3132.
- Shams, M. I., Kagemori, N., & Yano, H. (2006). Compressive deformation of wood impregnated with low molecular weight phenol formaldehyde (PF) resin IV: Species dependency. *J Wood Sci*, 52: 179–183.
- Sandberg, D., Kutnar, A., & Mntanis, G. (2017). Wood modification technologies-a review. *iForest*, 10: 895–908.
- Stamm, A. J. (1956). Dimensional stabilization of wood with carbowaxes. *For Prod J*, 6: 201–204.
- Tabarsa, T. (1999). *Compression perpendicular-to-grain behavior of wood* [Thesis]. The University of New Brunswick.
- Tabarsa, T., & Chui, Y. H. (2000). Characterizing microscopic behavior of wood under transverse compression. Part II. Effect of species and loading direction. *Wood Fiber Sci*, 33(2): 223–232.
- Tu, D., Su, T., Zhang, T., Fan, W., & Zhou, Q. (2014). Thermo-mechanical densification of *Populus tomentosa* var. *Tomentosa* with low moisture content. *Bioresources*, 9(3): 3846–3856.
- Zhao, Y., Wang, Z., Iida, I., Huang, R., Lu, J., & Jiang, J. (2015). Studies on pre-treatment by compression for wood drying I: effect of compression ratio, compression direction and compression speed on the reduction of moisture content in wood. *J Wood Sci*, 61(2): 113–119.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Effect of Steam Addition on Mild Pyrolysis Process on Dimensional Stability of Fast-Growing Teakwood

Aprilia Kartikawati¹, Imam Wahyudi^{2*}, Gustan Pari³, and Lina Karlinasari

¹Forest Products Science and Technology Study Program, IPB University, Bogor 16680

²Forest Products Department, Faculty of Forestry and Environment, IPB University, Bogor 16680

³ Forest Products Research and Development Center, Gunung Batu, Bogor 16680

E-mail: imyudarw16@yahoo.com

ABSTRAK

Peningkatan mutu kayu jati (*Tectona grandis* L.f.) cepat tumbuh perlu dilakukan untuk mengimbangi mutu kayu jati konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penambahan uap panas (steam) pada proses mild pyrolysis (MP) terhadap stabilitas dimensi kayu jati cepat tumbuh. Proses MP dilakukan di dalam reaktor pirolisis dengan oksigen terbatas dan tekanan atmosfer selama 2 jam pada suhu 170 dan 190 °C, sedangkan penambahan steam selama 0,5 dan 1 jam ke dalam reaktor dilakukan setelah suhu target proses pirolisis tercapai. Hasil penelitian memperlihatkan penambahan steam mampu meningkatkan stabilitas dimensi kayu jati cepat tumbuh dengan pengurangan berat yang lebih sedikit dibandingkan proses MP tanpa steam. Peningkatan stabilitas dimensi kayu sejalan dengan peningkatan suhu perlakuan.

Kata kunci: Mild pyrolysis, modifikasi termal, peningkatan mutu, stabilitas dimensi, steam

ABSTRACT

Improving the quality of fast-growing teakwood (*Tectona grandis* L.f.) needs to be done to match the quality of conventional teakwood. This study aims to examine the effect of adding steam in the mild pyrolysis (MP) process on the dimensional stability of fast-growing teakwood. The MP was carried out in a pyrolysis reactor with limited oxygen and atmospheric pressure condition at 170 and 190 °C for two hours. During the process, the steam was injected into the reactor for 0.5 and 1 hour after the target temperature was reached. The results showed that steam addition increased the dimensional stability of fast-growing teakwood with less weight reduction than the MP process without steam. The increase in the dimensional stability of the wood is in line with the increase in the treatment temperature.

Keywords: Dimensional stability, mild pyrolysis, quality improvement, steam, thermal modification

INTRODUCTION

Fast-growing teakwood (FGT) has different characteristics compared to conventional teakwood in terms of strength, natural durability, dimensional stability, and appearance (Wahyudi et al., 2014; Kartikawati et al., 2019). Darmawan et al. (2015) found that the 10-year-old teak trees from community forests have not yet produced mature wood. The characteristics of juvenile wood are very different from those of mature wood; their fibers are shorter with thinner cell walls, and the latewood portion is not as much (Shmulsky & Jones, 2011). The high portion of juvenile wood resulted in lower wood density and wood strength. The natural durability of the wood was also poor because it came from young stands (Darmawan et al., 2015; Roszaini et al., 2017). Since teakwood is known as one of the best quality tropical timbers and has multi-function (Kollert & Kleine, 2017), the quality of FGT needs to be improved in advance—at least so that it becomes similar to that of conventional teakwood—to guarantee the product quality.

Quality improvement technique is an effort to improve undesirable wood properties, one of them is heat treatment (thermal modification). Thermal modification of wood is the most advanced technique, both technically and commercially. Mild pyrolysis (MP) is a pyrolysis process carried out at a temperature of 160–260°C to keep the wood sample remains in the form of wood. Like the classic pyrolysis, the MP



process is also conducted without or with limited oxygen (inert atmosphere) (Rapp, 2001; Demirbas, 2010). Several studies found that the MP can increase the dimensional stability, appearance, and durability of wood (Rapp, 2001; Méndez-Mejías & Moya, 2016; 2018). A study by Pratiwi et al. (2019) on long and short rotation teakwoods from Indonesia, carried out at a temperature of 220°C for 20 hours, showed an increase in dimensional stability, durability against fungi, and resistance to weather degradation. Unfortunately, nitrogen gas was utilized in all previous studies to prohibit the presence of oxygen. The use of nitrogen gas needs to be considered because it incorporated additional costs. As such, it is necessary to find out other methods as an alternative.

Another study by Kartikawati (2019) using wood samples in green condition showed that an MP process without the addition of nitrogen gas (MPNG) can improve dimensional stability and durability of the 5 and 8-year-old FGT. Optimal condition was obtained at a temperature of 200°C for 4 hours. At higher temperatures (230°C), the wood became darker like charcoal, its strength significantly reduced, and defects such as cracks and deformation occurred. These phenomena are related to the closed system applied upon the test, allowing degradation of cell wall polymers and the accumulation of these degradation products on the wood surface. Similar phenomena were also found by Sehlstedt-Persson (2005). Therefore, the MPNG process needs to be modified, especially to reduce the degree of wood degradation, so that the reduction in wood strength could be minimized, and the formation of charcoal-like layer and the accumulation of degradation products on the wood surface become limited.

Other materials, such as oil, steam, and vacuum treatment could be used to obtain an inert atmosphere (Candelier et al., 2013). According to Yin et al. (2011), heat transfer in steam treatment is more effective. Other studies showed that steam can reduce the drying defects (Moya et al., 2017) and acts as a heating medium and gas shielding (Cao et al., 2012). In this study, therefore, steam will be applied as an addition to the MP process. Modification of the MP process with steam (MPS) is expected to have a positive effect, especially in reducing surface defects, minimizing the reduction of wood strength, and transferring the degradation products of the chemical components of wood out of the system.

The application of steam in heat treatment for teakwood has been studied by several researchers (Berrocal et al., 2016; Cuccui et al., 2017; Moya et al., 2017). The steam was generally applied continuously from the beginning or as pre-drying or pre-treatment. However, research examining the effects of additional steam on a certain process to improve the quality of plantation forest species from Indonesia has not been undertaken. As a pioneer, this study aims to examine the effect of steam as an addition to the MP process on the dimensional stability of FGT and compare it with the MP process without steam and untreated wood.

MATERIALS AND METHODS

Materials and Tools

The main material used was the 8-year-old FGT from community forests in Ciampea, Bogor Sub-District (6,547 °S, 106,685 °E; 158 m asl). The sample was taken from a 3 m long log from the base of the stem. The number of sample trees was four, with a diameter at a breast height of 20-25 cm. The selected trees were healthy, straight, and free from visible defects. After harvesting, the logs are converted into planks in the field and then transferred to the workshops. Before converting them into samples, the planks were air-dried for two months until they reached $\pm 18\%$ of wood moisture. Supporting materials consisted of sulfuric acid, sodium hydroxide, sodium chlorite, hydrochloric acid, ethanol, benzene, distilled water, pH paper, and potassium bromide.

The tools used consisted of pyrolysis reactor, circular saw, Willey hammer-mill, water-bath, oven, desiccator, electric filter, heater, caliper, analytical balance, socket, pipette, test tube, erlenmeyer glass, graduated cylinder, cup, funnel, and filter paper.



Methods

Sample Preparation

The air-dried planks were converted into 2.5 cm x 2.5 cm x 10 cm of wood samples, then kept in the climate chamber to uniformly the moisture content and maintain the initial sample condition.

MPNG and MPS Process

Thermal modification processes were carried out with five replications for each test parameter. The samples were arranged within the tube of the pyrolysis reactor equipped with an electric heater and thermocouple, then the reactor was turned on. The MPNG process was carried out under limited oxygen and atmospheric pressure at 170 and 190°C for two hours, while steam injection for 0.5 and 1 hour during the MP process (the MPS) was applied after the target temperature was reached. The treatment combinations are presented in Table 1.

Table 1. Combination of Treatment and Codes

Process	Code	Treatment	
		Temp. (°C)	Steam (h)
MPNG	C	-	-
	A	170	-
	B	190	-
MPS	AI	170	0.5
	AII	170	1
	BI	190	0.5
	BII	190	1

An illustration of the MPS process is shown in Figure 1. The steam was injected with the pressure of 3 psi at the beginning of the process—after the target temperature was reached. The steam was obtained by water boiling in the steam generator and then transferred into the reactor through a pipe. After finishing the process, the reactor was turned off, but the samples were removed the next day.

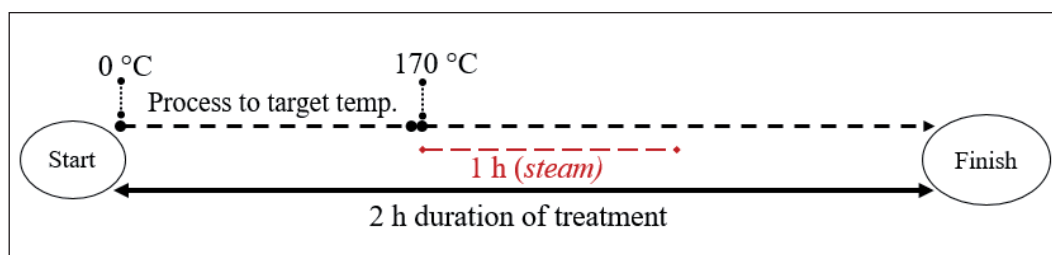


Figure 1. Illustration of the Schedule for the MPS Process

The samples were stored at room temperature (RH 61% and temperature 33 °C) for ± two weeks, then their moisture content and mass loss (ML) were measured. Mass loss due to treatment was calculated based on the difference in sample weight before and after treatment.

Dimensional Stability Measurement

The dimensional stability of wood was assessed based on anti-swelling efficiency. The sample was soaked in water at a room temperature for 24 hours with two wetting-drying cycles. The weight, dimensions (tangential /T and radial/R), and the volume of the samples were measured before and after soaking, then



dried in an oven at $103 \pm 2^\circ\text{C}$ for 24 hours. The water absorption (A), swelling (S), and anti-swelling efficiency (ASE) were calculated by the formula (Čermák et al., 2015):

$$A (\%) = \left[\frac{W_t - W_o}{W_o} \right] \times 100 \quad \dots\dots (1)$$

$$S_{T,R,V} (\%) = \left[\frac{V_k - V_a}{V_a} \right] \times 100 \quad \dots\dots (2)$$

$$ASE_{T,R,V} (\%) = \left[\frac{S_c - S_t}{S_c} \right] \times 100 \quad \dots\dots (3)$$

Where W_t is sample weight after soaking (g), W_o is sample weight in oven-dry condition before soaking (g), S is T, R, and V swelling (%), V_a is sample dimension (T & R) and sample volume before soaking, V_k is sample dimension (T & R) and sample volume after soaking, S_c is swelling of sample without treatment (%), and S_t is swelling of thermally modified sample (%).

Chemical Component Measurement

Extractive content in ethanol benzene was determined by TAPPI T 246 om-88, α -cellulose content by Cross and Bevan, while hemicellulose and Klason lignin content by TAPPI T 222 om-88. The measurements were carried out using wood powder (40–60 mesh) as the sample.

Data Analysis

All data were subject to analysis of variance (ANOVA) using IBM SPSS Statistics 23 with randomized factorial design. The factors consisted of temperature and steam duration. Furthermore, Duncan's multi-range tests were carried out on different average values of untreated and treated woods.

RESULT AND DISCUSSION

The ML as a consequence of thermal modification was used to evaluate the level of chemical component degradation and estimate the quality of thermally modified wood. The results showed that the higher the temperature, the greater the ML (Figure 2). At a temperature of 170°C , the ML was only 15%, whereas at 190°C it reached 18.46%. Therefore, the temperature and duration of steam injection had a significant effect on the ML (Table 3). The MPS process produces less ML than the MPNG process. This indicates that polysaccharide degradation in the MPS process was less than in the MPNG process (Table 2). At a temperature of 190°C , the reduction in hemicellulose content was higher (22%) in the MPNG compared to the process (11–18%). This occurred due to the loss of polysaccharide degradation products, especially acetic acid, along with the steam's outflow from the system. Acetic acid, which was produced from the degrading hemicellulose, can act as a catalyst and accelerates the degradation of the chemical components of wood (Candelier et al., 2014; Esteves & Pereira, 2009). Thus, the reduction in mechanical properties

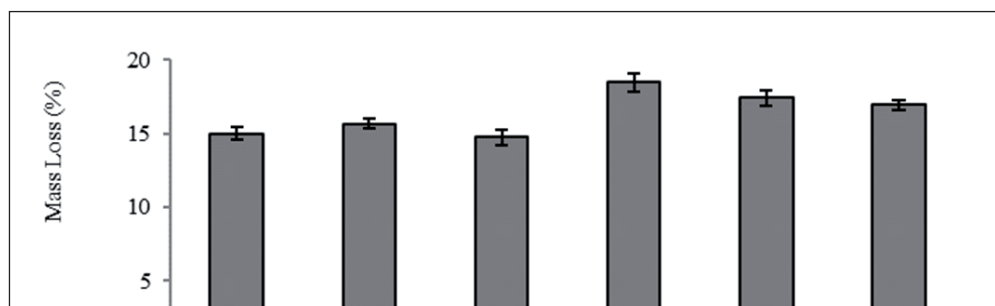
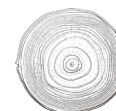


Figure 2. Mass Loss due to Thermal Modification



of wood from the MPS process will be lower because the decrease in mechanical properties is closely related to ML. Araujo et al. (2016) reported that lower mass loss has a higher modulus of elasticity and modulus of rupture.

Table 2. Relative Content of Extractive (E), α -cellulose (S), Hemicellulose (H), and Lignin (L) on Untreated (control) and Thermally Modified Wood

Process	Code	E	S	H	L
MPNG	C	2.45	45.47	25.64	29.90
	A	0.71	48.00	24.58	35.95
	B	0.43	48.02	19.91	35.75
MPS	AI	0.50	48.17	23.43	33.02
	AII	0.42	48.87	24.50	36.57
	BI	0.29	46.06	22.82	37.58
	BII	0.16	48.68	20.86	36.67

Table 3. Analysis of Variance of Effects of Temperature and Steam Combination on Mass Loss (ML), Moisture Content (MC), and Water Absorption (A) at the 95% Confidence Level

	P-value			
	ML	MC	A I	A II
Temperature (t)	0.000**	0.000**	0.001**	0.016*
Steam (S)	0.001**	0.005**	0.176ns	0.530ns
t x S	0.001**	0.007**	0.073ns	0.495ns

*significant effect ($P < 0.05$); **very significant effect ($P < 0.01$); ns, not significant effect

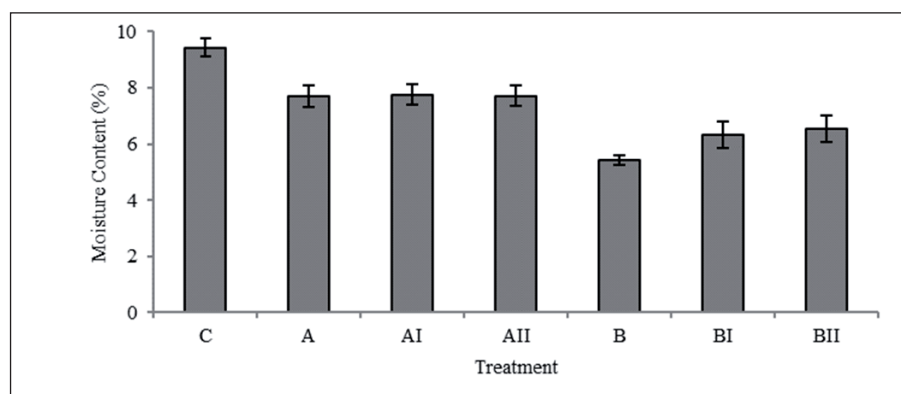


Figure 3. Air-Dried Moisture Content of Thermally Modified Compared to Untreated Wood

The air-dried moisture content (MC) of the wood after treatment is shown in Figure 3. The MPNG process has a positive effect, where the equilibrium moisture content of the modified wood was lower than the moisture content of the untreated wood. At a temperature of 170 °C, the decrease in moisture content was only 18%, whereas at a temperature of 190 °C it was 30–43%. The equilibrium moisture content was strongly influenced by the temperature and duration of the steam injection (Table 3). The air-dried moisture content tends to be higher in the MPS process due to a lower degree of polysaccharide degradation (Table 2) that made more free OH groups available. These findings are in accordance with Fabiyi and Ogunleye's (2015).



Wood is a hygroscopic material. It can absorb and release water until its moisture balances the surrounding environmental conditions. After being soaked in water for 24 hours and in 2 cycles, the woods' water absorption value is presented in Figure 4. Compared to untreated wood, thermally modified wood absorbs less water, except for the MPNG process at 170°C. This shows that the higher the temperature, the lower the water absorption. Treatment at a temperature of 170°C produces 12–14% water absorption, lower than untreated wood. Conversely, at a temperature of 190°C, the water absorption was 20–23%. Water absorption was significantly affected by the temperature (Table 3).

The results also showed that there are differences in water absorption and swelling between cycle I and cycle II (Figures 4 and 5). Cycle II is needed as a consideration for outdoor application or contact with water (Rowell & Ellis, 1987).

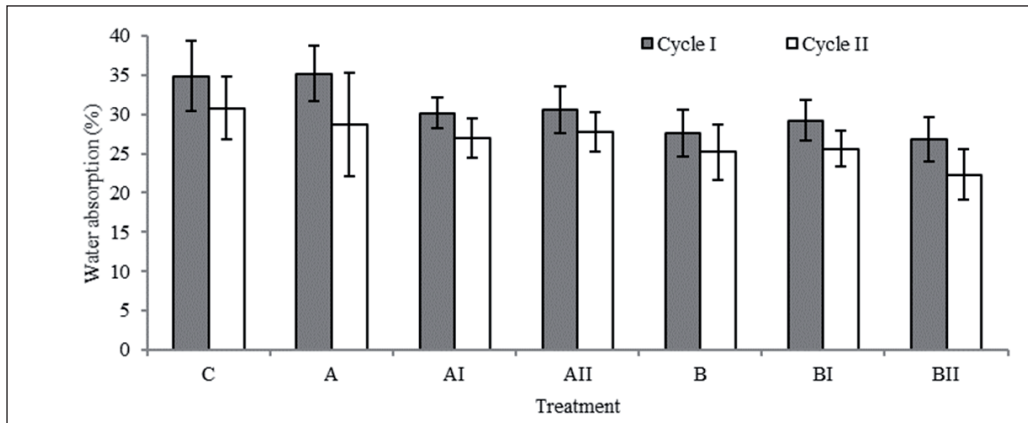


Figure 4. Water absorption of the treated sample compared to the treated sample after soaking for 24 hours. C (control), A (170 °C), AI (170 °C + 0.5h S), AII (170 °C + 1h S), B (170 °C), BI (190 °C + 0.5h S), BII (190 °C + 1h S).

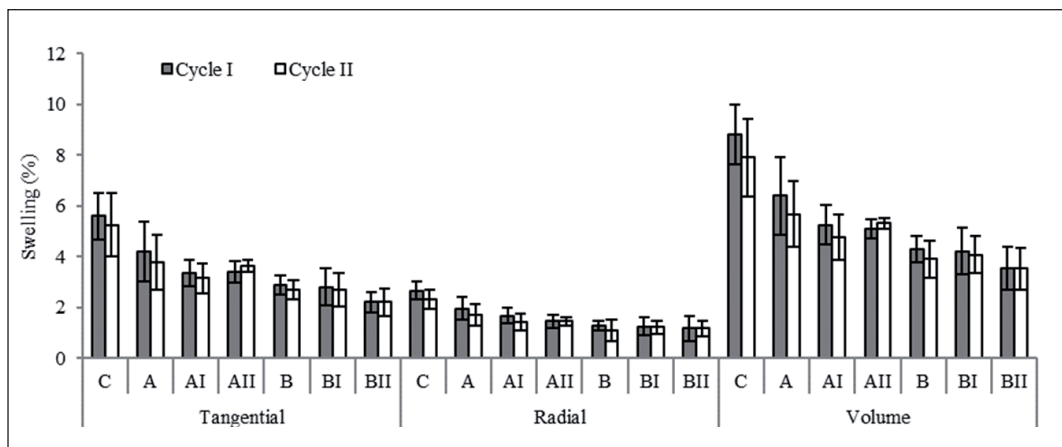


Figure 5. Effect of treatment in the tangential, radial, and volumetric swelling in 2 wetting-drying cycles. C (control), A (170 °C), AI (170 °C + 0.5h S), AII (170 °C + 1h S), B (170 °C), BI (190 °C + 0.5h S), BII (190 °C + 1h S).

Although varied, cycle II tended to produce smaller water absorption and swelling than cycle I. It indicates that hornification due to the two cycles occurred and resulted in tightly fiber-to-fiber bound. As a result, the availability and accessibility of wood, namely the OH groups that absorb the water, were significantly reduced. This phenomenon was common in wood that undergoes repeated wet-dry cycles (Čermák et al., 2015; Rautkari et al., 2013). Lower water absorption and swelling indicate better dimensional stability. This can be seen in Figure 6.



Swelling and shrinkage in wood are different according to its direction (tangential, radial, and longitudinal). This difference is evident in Figure 5, even though the wood has been modified. The greatest swelling occurred in a tangential direction, followed by a radial direction. Anish et al. (2015) found that FGT shrinkage was 18% greater in the radial direction and 8% in tangential compared to conventional teakwood.

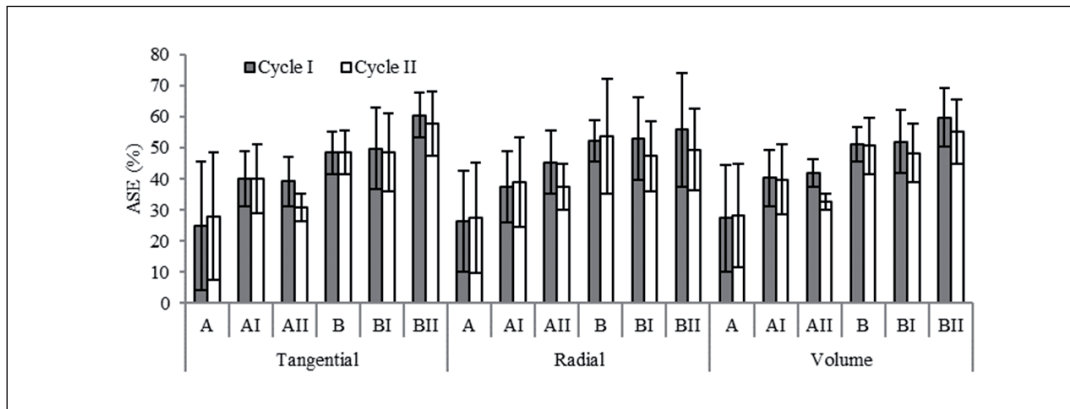


Figure 6. Effect of treatment in the ASE on tangential, radial, and volumetric in 2 wet-drying cycles. C (control), A (170 °C), AI (170 °C + 0.5h S), AII (170 °C + 1h S), B (170 °C), BI (190 °C + 0.5h S), BII (190 °C + 1h S).

Both MPNG and MPS processes provide lower swelling values than untreated wood. Higher temperature results in smaller dimensional changes. The reduction in swelling in the tangential direction was 25–28% at 170 °C and became more extensive (30–40%) in the presence of steam. At a temperature of 190°C, it was 48%, but it reached 60% with steam. The average swelling reduction in the radial direction and volumetric was 35% at a temperature of 170°C and up to 52% at 190°C.

Table 4. Analysis of Variance of Effects of Temperature, Steam Combination, and Anisotropy Direction (T and R), as well as Volumetric on Swelling (SW) and ASE at 95% Confidence Level

	<i>P-value</i>			
	SW I	SW II	ASE I	ASE II
Suhu (t)	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**
Steam (S)	0.001**	0.324ns	0.001**	0.277ns
N (T, R, V)	0.000**	0.000**	0.866ns	0.998ns
t x S	0.169ns	0.101ns	0.145ns	0.062ns
t x N	0.000**	0.001**	0.990ns	0.879ns
S x N	0.617ns	0.959ns	0.998ns	0.994ns
t x S x N	0.869ns	0.791ns	0.836ns	0.737ns

*significant effect (P<0.05); **very significant effect (P<0.01); ns, not significant effect

ASE values (Figure 6) are used to assess the dimensional stability of modified wood. The results showed that higher temperatures resulted in better dimensional stability. The addition of steam has a positive effect, namely improving the dimensional stability of wood. The increased dimensional stability of wood indicates a decrease in its hygroscopicity. This is shown in their water absorption (Figure 4) and swelling (Figure 5), which were lower than untreated wood. The ASE value in cycle II varies from cycle I, but was generally lower. The increase in dimensional stability of thermally modified wood is caused by the decomposition or transformation of the chemical components of the cell wall, especially hemicellulose (Candelier et al., 2013), an increase in the relative proportion of the crystalline cellulose (Bhuiyan et al., 2000), and a reduction in the amount of hydroxyl groups (Fabiya & Ogunleye, 2015).



The analysis of variance showed that swelling and dimensional stability (ASE) were significantly affected by temperature and steam duration (Table 4), while swelling was only affected by wood anisotropic. Thus, even though the wood has been modified, the anisotropic nature of wood is still clearly visible.

CONCLUSION

The addition of steam to the MP process increased the dimensional stability of FGT and minimized the ML and negative impact of the thermal modification treatment. The best dimensional stability of FGT was obtained in the MPS process at a temperature of 190°C for 1 hour. In general, temperature has a significant effect on all test parameters, while the addition of steam was limited to the ML and air-dried moisture content of the thermally modified sample.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by a grant from the Ministry of Research, Technology and Higher Education of the Indonesian Republic through Master Degree Program leading to Doctorate Program for Excellence Students (PMDSU) Batch II.

REFERENCES

- Anish, M.C., Anoop, E.V., Vishnu, R., Sreejith, B., Jijeesh, C.M. (2015). Effect of growth rate on wood quality of teak (*Tectona grandis* L. f.): a comparative study of teak grown under differing site quality conditions. *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, 12(1), 81–88.
- Araújo, S.O, Vital, B.R., Oliveira, B., Cássia, A., Carneiro, O., Lourenço, A., Pereira, H. (2016). Physical and mechanical properties of heat treated wood from *Aspidorma populifolium*, *Dipteryx odorata* and *Mimosa scabrella*. *Maderas Ciencia y tecnologia*, 18(1), 143–156.
- Berrocal, A., Moya, R., & Rodriguez-Solis, M. (2016). Surface chemical and color characterization of juvenile *Tectona grandis* wood subjected to steam-drying treatments. *Surface Review and Letters*, 23(1), 1–14.
- Bhuiyan, T.R., Hirai, N., & Sobue, N. (2000). Changes of crystallinity in wood cellulose by heat treatment under dried and moist conditions. *Journal of Wood Science*, 46, 431–436.
- Candelier, K., Dumarçay, S., Pétrissans, A., Lyne, D., Gérardin, P., & Pétrissans, M. (2013). Comparison of chemical composition and decay durability of heat treated wood cured under different inert atmospheres: Nitrogen or vacuum. *Polymer Degradation and Stability*, 98, 677–681.
- Candelier, K., Dumarçay, S., Pétrissans, A., Gérardin, P., & Pétrissans, M. (2014). Advantage of vacuum versus nitrogen to achieve inert atmosphere during softwood thermal modification. *Pro ligno*, 10(4), 10–17.
- Cao, Y., Jiang, J., Lu, J., Huang, R., Jiang, J., & Wu, Y. (2012). Color change of Chinese fir through steam-heat treatment. *BioResources*, 7(3), 2809–2819.
- Čermák, P., Rautkari, L., Horáček, P., Saake, B., Rademacher, P., & Sablik, P. (2015). Analysis of dimensional stability of thermally modified wood affected by re-wetting cycles. *BioResources*, 10(2), 3242–3253.
- Cuccui, I., Negro, F., Zanuttini, R., Espinoza, M., & Allegretti, O. (2017). Thermo-vacuum modification of teak wood from fast-growth plantation. *BioResources*, 12(1), 1903–1915.
- Darmawan, W., Nandika, D., Sari, R.K., Sitompul, A., Rahayu, I., & Gardner, D. (2015). Juvenile and mature wood characteristics of short and long rotation teak in Java. *IAWA Journal*, 36(4), 429–443.
- Demirbas, A. (2010). *Biorefineries: For biomass upgrading facilities*. London: Springer-Verlag.
- Esteves, B. M., Pereira, H. M. (2009). Wood modification by heat treatment: a review. *BioResources* 4(1), 370–404.
- Fabiyi, J.S., & Ogunleye, B.M. (2015) Mid-infrared spectroscopy and dynamic mechanical analysis of heat-treated obeche (*Triplochiton scleroxylon*) wood. *Maderas-Ciencia y Tecnologia*, 17(1), 5–16.
- Kartikawati, A. (2019). Peningkatan mutu kayu jati cepat tumbuh dengan perlakuan *mild pyrolysis*. (Published thesis). Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Kollert, W., & Kleine, M. (2017). *The global teaks: analysis, evaluation, and future potential of teak resources*. Vienna: IUFRO World Series 36, 108.
- Méndez-Mejías, L.D., & Moya R. (2016). Effects on density, shrinking, color changing and chemical surface analysis through FTIR of *Tectona grandis* thermo-treated. *Scientia Forestalis*, 44(112), 811–820.



- Méndez-Mejías, L.D., & Moya, R. (2018). Effect of thermo-treatment on the physical and mechanical, color, fungal durability of wood of *Tectona grandis* and *Gmelina arborea* from forest plantations. *Materials Science*, 24(1), 59–68.
- Moya, R., Berrocal, A., Rodriguez-Solis, M., & Muñoz, F. (2017). Effect of steam-drying treatment on moisture content, drying rate, color and drying defects in juvenile wood of *Tectona grandis* from fast-growth plantations. *Drying Technology*, 35(15), 1832–1842.
- Pratiwi, L.A., Darmawan, W, Priadi, T., George, B., Merlin, A., Gérardin, C., Dumarçay, S., & Gérardin, P. (2019). Characterization of thermally modified short and long rotation teaks and the effects on coatings performance. *Maderas-Ciencia Tecnologia*, 21(2), 209–222.
- Rapp, A.O. (2001). Review on heat treatment of wood. *Proceeding of Special Seminar*. Paris, 9 February 2001, 11–64.
- Rautkari, L., Hill, C. Curling, S., Jalaludin, Z., & Ormondroyd, G. (2013). What is the role of the accessibility of wood hydroxyl groups in controlling moisture content? *Journal of Material Science*, 48(18), 6352–6356.
- Roszaini, K., Salmiah, U., Rahim, S., Shahlinney, L., Azried, A.R.N., Baharudin, K., Adawi, T.O.M, Kum, P.S., & Hamidah, A. (2017). Qualitative and quantitative determination of resistance of twenty-two Malaysian commercial timbers through subterranean termite feeding behavior. *Forestry Research and Engineering International Journal*, 1(2), 52–60.
- Rowell, R.M., Ellis, W.D. (1978). Determination of dimensional stability of wood using the water-soak method. *Wood and Fiber*, 10(2), 104–111.
- Sehlstedt-Persson, M. (2005). Properties of solid wood: responses to drying and heat treatment (Published thesis). Swedia: Luleå University of Technology.
- Shmulsky, R., & Jones, P.D. (2011). *Forest products & wood science: An introduction*. John Wiley & Son.
- Technical Association for the Pulp and Paper Industry [TAPPI]. (1991). *TAPPI Test Method*. Atlanta: TAPPI Press.
- Wahyudi, I., Priadi, T., & Rahayu, I.S. (2014). Karakteristik dan sifat-sifat dasar kayu jati unggul umur 4 dan 5 tahun asal Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 19(1), 50–56.
- Yin, Y., Berglund, L., & Salmén, L. (2011). Effect of steam treatment on the properties of wood cell walls. *Biomacromolecules*, 12, 194–202.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Beton Pori

Agung Sumarno*, Ismail Budiman, Agus Mudo Prasetyo, Fazhar Akbar, Maidina, Eko Widodo, Triastuti, Ananto Nugroho, Bambang Subiyanto

¹Research Center for Biomaterials, Indonesian Institute of Sciences - LIPI,
Jln. Raya Bogor KM. 46 Cibinong-16911
E-mail: agun010@lipi.go.id

ABSTRACT

The development of porous concrete in paving blocks or others are mostly done to solve flooding in an area. A binder to partially replace cement, such as fly ash, can be used to manufacture porous concrete. This study aims to determine the effect of using fly ash on the porous concrete's physical and mechanical properties. The porous concrete composition consists of a binder, namely cement and fly ash, and coarse aggregate, with a ratio of binder to a coarse aggregate of 1: 3, based on weight. These concrete targets are intended for pedestrians and gardening. The binder in this research is cement or fly ash, or a combination thereof. Simultaneously, the coarse aggregate material is a crushed stone with the size of 5–12 mm. The binder composition consist of cement as much as 80–100% and fly ash as much as 0–20% of the binder weight. The results showed that the porous concrete has a compressive strength value of 7.08–12.76 MPa, a density of 1.88–1.96 g/cm³, a porosity of 10.78–14.31%, and a permeability coefficient of 1.57–1.82 cm/sec. Fly ash addition increases porous concrete compressive strength, therefore it can be used for gardening.

Keywords: porous concrete, compressive strength, fly ash, porosity, coefficient permeability

ABSTRAK

Pengembangan beton porous dalam bentuk paving blok atau bentuk lainnya banyak dilakukan terutama untuk mengatasi permasalahan banjir suatu daerah. Penggunaan bahan pengikat untuk menggantikan sebagian semen, seperti *fly ash*, dapat dilakukan pada pembuatan beton porous. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *fly ash* terhadap sifat fisik dan mekanik dari beton porous. Komposisi bata beton porous terdiri atas bahan pengikat, yaitu semen dan *fly ash*, serta agregat kasar dengan perbandingan bahan pengikat terhadap agregat kasar sebesar 1 : 3 berdasarkan berat. Target beton porous ini ditujukan untuk pemasangan lantai bagi pejalan kaki dan pada taman. Bahan pengikat pada penelitian ini adalah semen atau *fly ash* atau kombinasi keduanya, sedangkan bahan agregat kasar, yaitu batu pecah dengan ukuran 5–12 mm. Sementara itu, komposisi bahan pengikatnya terdiri atas semen sebanyak 80–100% dari berat binder dan *fly ash* sebanyak 0–20% dari berat binder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton porous memiliki nilai kuat tekan sebesar 7,08–12,76 MPa, densitas 1,88–1,96 g/cm³, porositas 10,78–14,31%, dan koefisien permeabilitas sebesar 1,57–1,82 cm/sec. Penggunaan *fly ash* memberikan pengaruh dalam meningkatkan kuat tekan beton sehingga dapat diaplikasikan pada pedestrian dan taman.

Kata Kunci: beton porous, kuat tekan, fly ash, porositas, koefisien permeabilitas

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur di Indonesia dalam kurun waktu 10 tahun terakhir sangatlah pesat, khususnya infrastruktur jalan, baik jalan antarkota, dalam kota, maupun jalan di suatu pemukiman atau perumahan. Pembuatan jalan saat ini cenderung menggunakan perkerasan kaku (*rigid pavement*) dengan material utamanya adalah beton. Beton memiliki kekuatan yang baik dan mudah dibentuk sehingga dinilai tepat untuk digunakan sebagai material jalan. Namun, sifat permeabilitas beton yang sangat rendah menimbulkan dampak lain pada daerah yang memiliki curah hujan yang tinggi, seperti di Indonesia. Ketika musim hujan, akan terjadi genangan jalan sehingga menimbulkan kemacetan, kerusakan, dan masalah kebersihan yang dikarenakan sulitnya air hujan untuk dapat terserap pada tanah maupun kapasitas saluran drainase yang kurang. Oleh karena itu, perlu dikembangkan beton berpori yang memiliki permeabilitas yang baik.



Pembuatan beton berpori atau yang lebih dikenal dengan beton porous, dapat dilakukan dengan membatasi jumlah agregat halus pada desain campuran beton (Sari dkk., 2013) atau pun hanya menggunakan agregat kasar (Adi, 2013). Hal ini bertujuan membuat pori pada beton sehingga meningkatkan kemampuan permeabilitas beton. Namun, yang menjadi masalah adalah jika permeabilitas beton meningkat, kuat tekan beton akan berkurang.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan ini, seperti penelitian mengenai metode dan komposisi beton porous (Kuntjoro dkk., 2009; Prabowo dkk., 2013; Izad & Abrar, 2016) hingga penelitian mengenai variasi faktor air semen dan ukuran butir agregat kasar (Desmaliana dkk., 2018; Khonado dkk., 2019). Beberapa penelitian tersebut menunjukkan bahwa kuat tekan beton porous yang dihasilkan berkisar antara 2–18 MPa dan pemakaian jumlah semen pada campuran berkisar antara 280–560 kg/m³. Penelitian lain juga dilakukan dengan menambahkan material selain material utama yang berupa semen-agregat-air untuk meningkatkan kekuatan beton porous, seperti dengan menambahkan material bonding adesif (Lestiana dkk., 2020) dan penggunaan material pengisi berupa *styrofoam* (Ginting, 2015).

Penelitian beton porous di Indonesia tidak hanya berfokus pada upaya peningkatan kuat tekan, juga pada pemanfaatan material alternatif sebagai pengganti material alam, seperti halnya agregat kasar batu pecah diganti menggunakan agregat kasar pecahan granit (Dwita dkk., 2017) dan juga penggunaan material agregat dari gerabah (Astutik dkk., 2014). Pemanfaatan material limbah industri secara langsung untuk menggantikan agregat merupakan upaya untuk mengatasi makin menipisnya ketersediaan material alam yang digunakan (Sumarno dkk., 2017).

Penggunaan material semen sebagai bahan pengikat utama dalam pembuatan beton porous juga merupakan salah satu penyumbang pemanasan global. Salah satunya adalah penggunaan material alternatif, seperti *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen, seperti halnya pada beton (Suarnita, 2011). Namun, substitusi sebagian semen dengan *fly ash* pada pembuatan beton porous masih jarang dilakukan. Hal tersebut yang menjadi latar belakang penelitian ini dilakukan, dengan harapan diperoleh beton porous yang memiliki kuat tekan dan permeabilitas yang baik, serta lebih ramah lingkungan untuk menggantikan sebagian semen dengan *fly ash* sebagai bahan pengikat.

BAHAN DAN METODE PERCOBAAN

1. Bahan

Pada penelitian ini, bahan yang digunakan dalam pembuatan beton porous, antara lain semen portland komposit (PCC) tipe I yang merupakan produk komersial dan banyak dijual di pasaran, serta abu terbang (*fly ash*) yang merupakan limbah hasil pembakaran batu bara dari PLTU Suralaya. Semen dan *fly ash* digunakan sebagai pengikat dalam pembuatan beton porous. Agregat yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran 5–12 mm yang berasal dari daerah rumpin dan air bersih. Komposisi campuran antara pengikat dan agregat kasar menggunakan perbandingan 1:3 dengan faktor air semen 0,4 dan variasi substitusi semen menggunakan *fly ash* sebesar 0–20% dari berat pengikat yang digunakan. Komposisi campuran disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Campuran Beton Poros

Kode	Variasi	Semen (g/cm ³)	Fly ash (g/cm ³)	Agregat kasar (g/cm ³)	Air (g/cm ³)
PFA0 (kontrol)	0%	0,5	0	1,5	0,2
PFA5	5%	0,475	0,025	1,5	0,2
PFA10	10%	0,45	0,05	1,5	0,2
PFA15	15%	0,425	0,075	1,5	0,2
PFA20	20%	0,4	0,1	1,5	0,2



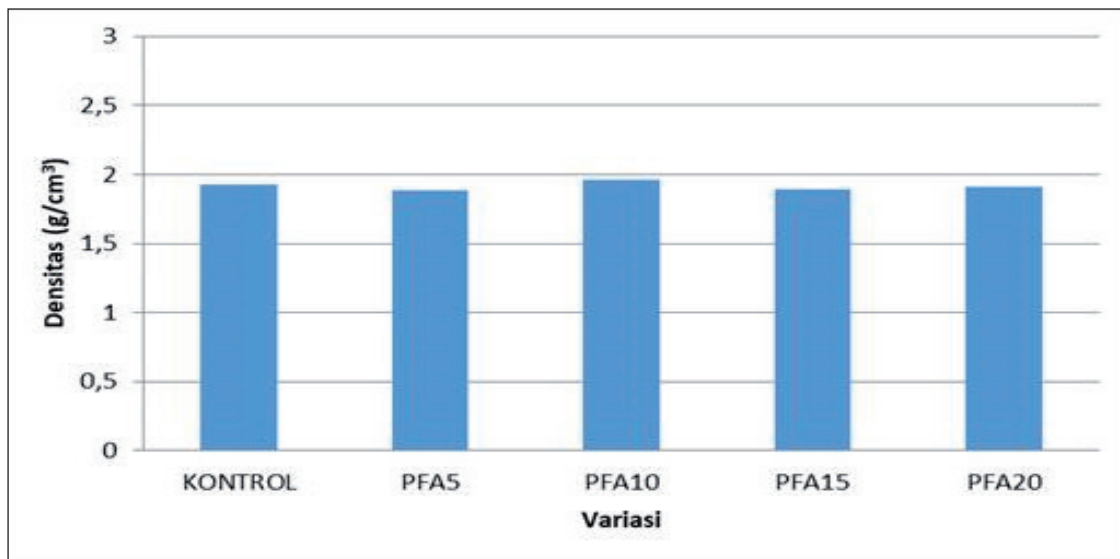
2. Metode

Pembuatan beton poros dilakukan dengan menggunakan *mixer* beton untuk mencampurkan bahan-bahan penyusun, yaitu pengikat dan agregat, kemudian ditambahkan air. Setelah tercampur merata, beton poros dimasukkan ke dalam cetakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm, sesuai dengan standar. Sampel beton poros yang telah berumur 24 jam dikeluarkan dari cetakan dan kemudian dilakukan perawatan dalam bak rendam selama 14 dan 28 hari (ASTM C192, 2002). Pengujian dilakukan setelah beton poros mencapai umur yang telah direncanakan dengan beberapa pengujian, antara lain desitas, kuat tekan, porositas, serta kemampuan permeabilitas dari beton poros. Pengujian kekuatan tekan beton poros dilakukan menggunakan mesin kompresi berdasarkan standar (ASTM C39, 2003). Hasil pengujian kuat tekan dibandingkan standar mutu kuat tekan beton poros berdasarkan standar, yaitu berkisar antara 2,8–28 MPa (ACI 522R-06, 2006) dan standar kuat tekan minimum acuan sebesar 8,5 MPa untuk aplikasi *paving* blok di Indonesia (SNI 03-0691, 1996).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Densitas Beton Poros

Pengujian densitas dilakukan untuk mengukur seberapa berat suatu material dibandingkan dengan volumenya. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini disajikan pada Gambar 1.



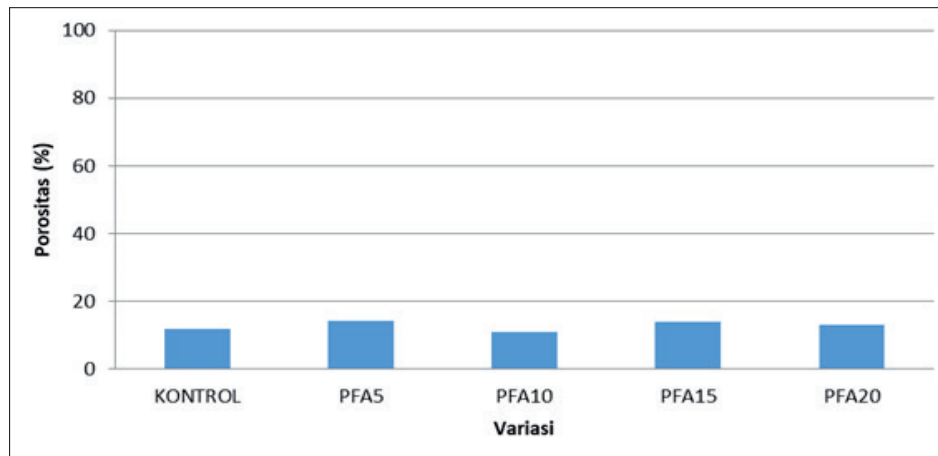
Gambar 1. Hasil Pengujian Densitas Beton Poros

Nilai densitas yang dihasilkan dari beton poros kontrol, PFA5, PFA10, PFA15, dan PFA20 berurutan dengan nilai 1,93 g/cm³, 1,88 g/cm³, 1,96 g/cm³, 1,89 g/cm³, dan 1,91 g/cm³. Penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen pada pembuatan beton poros tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai densitas dibandingkan kontrol beton pori yang hanya menggunakan semen saja. Namun, secara keseluruhan densitas beton poros yang dihasilkan lebih rendah bila dibandingkan dengan beton normal, yaitu 2,2 g/cm³–2,4 g/cm³.



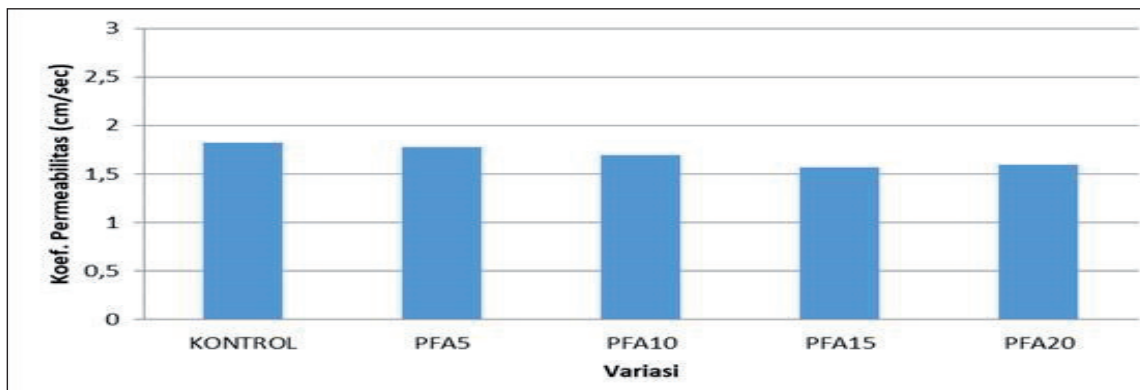
2. Porositas dan Koefisien Permeabilitas

Porositas merupakan persentase pori yang terbentuk pada beton poros bila dibandingkan dengan beton normal yang tidak berpori. Gambar 2 menunjukkan hasil dari pengujian porositas dari beton poros pada penelitian ini.



Gambar 2. Hasil Pengujian Porositas Beton Poros

Porositas beton poros yang dihasilkan pada penelitian ini menunjukkan nilai antara 10,78–14,31%. Penggunaan *fly ash* yang tidak signifikan memberikan pengaruh pada porositas beton poros kontrol yang hanya menggunakan semen sebagai pengikat. Porositas yang dihasilkan pada penelitian ini sangat baik, hal ini terlihat dari nilai koefisien permeabilitas beton poros, yang merupakan kemampuan dalam mengalirkan air yang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Nilai Koefisien Permeabilitas Beton Poros

Tabel 2. Katergori Mutu *Paving Block*

Kategori	Kuat tekan minimum (MPa)	Peruntukan
Kelas mutu A	35	Jalan
Kelas mutu B	17	Pelataran parkir
Kelas mutu C	12,5	Pedestrian
Kelas mutu D	8,5	Taman dan lainnya

Sumber: Badan Standardisasi Nasional (1996)



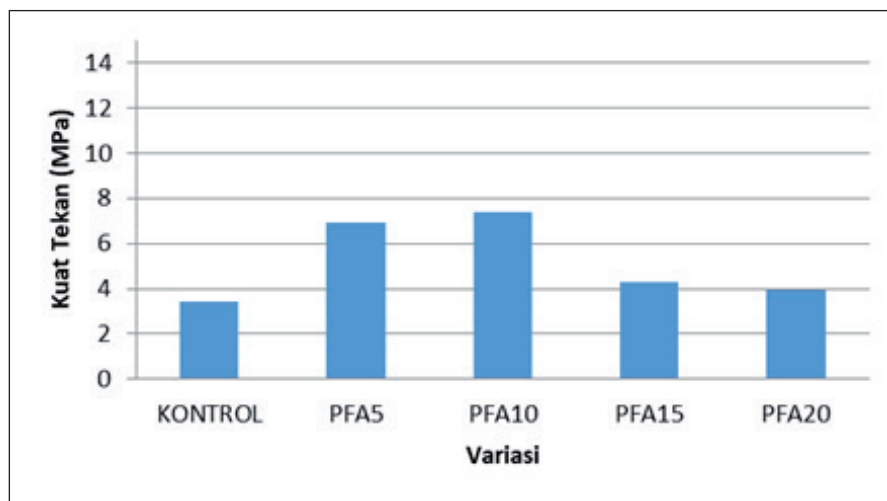
Koefisien permeabilitas merupakan indikator kemampuan beton poros dalam mengalirkan air. Berdasarkan penelitian ini, beton poros kontrol, PFA5, PFA10, PFA15, dan PFA20 menghasilkan nilai berurutan, yaitu 1,82 cm/sec, 1,78 cm/sec, 1,69 cm/sec, 1,57 cm/sec, dan 1,58 cm/sec. Penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen pada beton poros di penelitian ini akan menurunkan kemampuan permeabilitas beton poros. Hal ini diakibatkan oleh kemampuan ikat di awal pada campuran yang menggunakan *fly ash* juga menurun sehingga pasta campuran semen dan *fly ash* akan menutup pori pada beton poros. Meskipun demikian, permeabilitas beton poros yang dihasilkan pada penelitian ini telah melebihi dari nilai standar yang ditetapkan ACI 522R-06(2006), yaitu 0,14–0,22 cm/sec.

3. Kuat Tekan Beton Poros

Kuat tekan merupakan indikator kualitas mekanis dari suatu material. Pada penelitian ini, ditinjau kuat tekan yang peruntukannya sebagai *pavement* atau-pun *paving block*, di mana kategorinya dibagi empat kategori, seperti pada Tabel 2.

Hasil pengujian kuat tekan pada penelitian ini menunjukkan bahwa beton poros yang dihasilkan pada umur 14 hari belum dapat digunakan sebagai *paving block*. Gambar 4 menunjukkan kuat tekan umur 14 hari yang dihasilkan pada beton poros kontrol, PFA5, PFA10, PFA15, dan PFA20 berurutan adalah 3,45 MPa, 6,93 MPa, 7,38 MPa, 4,27 MPa, dan 3,95 MPa.

Pada umur 14 hari, makin banyak penggunaan *fly ash* sebagai pengikat pada beton poros, akan memberikan peningkatan kekuatan pada penggunaan *fly ash* 5% dan 10%, kemudian turun pada penggunaan 15% dan 20%.



Gambar 4. Kuat Tekan Beton Poros Umur 14 hari

Hasil pengujian kuat tekan pada umur 28 hari yang disajikan pada Gambar 5 menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* akan meningkatkan kekuatan tekan pada penggunaan 5%–20%. Kuat tekan yang dihasilkan beton poros kontrol, PFA5, PFA10, PFA15, dan PFA20 berurutan adalah 5,22 MPa, 7,08 MPa, 10,60 MPa, 10,83 MPa, dan 12,76 MPa. Pada umur 28 hari, kuat tekan beton poros yang dihasilkan telah sesuai dengan standar ACI 522R-06 (2006) dan berdasarkan SNI 03-0691-1996 dapat digunakan sebagai *paving block* dengan kategori kelas mutu C dan D, yaitu untuk pedestrian, taman, dan lainnya.

KESIMPULAN

Penggunaan limbah *fly ash* sebagai material substitusi sebagian semen pada pembuatan beton poros dapat meningkatkan kuat tekan beton poros pada umur 28 hari seiring banyaknya *fly ash* yang digunakan. Beton poros yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki permeabilitas yang baik dan kuat tekan yang telah



memenuhi standar untuk dapat diaplikasikan sebagai *pavement* atau *paving block* dengan peruntukan pedestrian dan taman.

Untuk penelitian selanjutnya, dapat dilakukan lagi upaya peningkatan kekuatan beton porous dengan menggunakan bahan pengisi agar lebih kedap mengikat pada penelitian ini porositas beton porous yang dihasilkan lebih tinggi dari standar yang berlaku.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian Biomaterial-LIPI, Dr. Iman Hidayat, yang telah memberikan dukungan penuh pada kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI, 522R-06. (2006). Pervious concrete. *Technical Documents*, 25.
- Adi, P. (2013). Kajian jenis agregat dan proporsi campuran terhadap kuat tekan dan daya tembus beton porous. *Jurnal Teknik*, 3(2), 100–106.
- ASTM, C. (2002). *Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory*, (4).
- ASTM C39. (2003). Test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens 1. *ASTM International*, (4)(October), 1–7.
- Astutik, H. P., As'ad, S., & Basuki, A. (2014). Kuat tekan, porositas dan permeabilitas pervious concrete dengan campuran agregat limbah gerabah. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 2(1), 132–139.
- Badan Standardisasi Nasional (SNI 03-0691-1996). (1996). Bata beton (paving block). *SNI 03-0691-1996*, 1–9.
- Desmaliana, E., Hazairin, Herbudiman, B., & Lesmana, R. (2018). Kajian eksperimental sifat mekanik beton porous dengan variasi faktor air semen. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 19–29.
- Dwita, E., Manalu, D. F., & Sabri, F. (2017). Analisis pengaruh penggunaan batu pecah granit Pulau Bangka terhadap kuat tekan dan porositas beton berpori sebagai bahan penutup halaman. *Fropil*, 5(2), 86–96.
- Ginting, A. (2015). Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous dengan Bahan Pengisi Styrofoam. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(55), 76–98.
- Izad, M., & Abrar, A. (2016). Analisis komposisi beton “topmix permeable” sebagai bahan inovasi ramah lingkungan mengatasi banjir. *Prosiding seminar ACE 2016* (125–137).
- Khonado, M. F., Manalip, H., & Wallah, S. E. (2019). Kuat tekan dan permeabilitas beton porous dengan variasi ukuran agregat. *Sipil Statik*, 7(3), 351–358.
- Kuntjoro, Saptarita, K., & Herdianto. (2009). Metode mix design beton poreous Untuk mendapatkan poreousitas poptimum. *Seminar nasional aplikasi teknologi prasarana wilayah 2009* (425–434).
- Lestiana, W. N., Marjono, & Qomariah. (2020). Pengaruh penambahan sikacim pada campuran beton porous lentur. *JOS-MRK*, 1(2), 158–163.
- Prabowo, D. A., Setyawan, A., & Sambowo, K. A. (2013). Desain beton berpori untuk perkerasan jalan yang ramah lingkungan. *Jurnal Teknik Sipil*, (1), 96–102.
- Sari, F. M., Setyawan, A., & Sambowo, K. A. (2013). Tinjauan durabilitas beton berpori sebagai perkerasan jalan yang ramah lingkungan. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 1(2), 142–148.
- Suarnita, I. W. (2011). Kuat tekan beton dengan aditif fly ash ex. PLTU Mpanau Tavaeli. *SMARTek*, 9(1), 1–10.
- Sumarno, A., Widodo, E., Nugroho, A., Triastuti, & Suryanegara, L. (2017). Pemanfaatan limbah spent bleaching earth (SBE) dari industri pengolahan minyak kelapa sawit pada aplikasi bata beton. *Prosiding seminar lignoselululosa 2017* (40–44).



Sifat Fisika dan Mekanika Jati Platinum Berumur 6 Tahun pada Arah Radial dan Aksial

Danang Sudarwoko Adi*, Dwi Ajias Pram asari dan Wahyu Dwianto

Research Center for Biomaterials, Indonesian Institute of Sciences -
LIPI, Jl Raya Bogor KM. 46 Cibinong - 16911
E-mail: danang@biomaterial.lipi.go.id

ABSTRACT

Platinum Teak wood, which was developed by LIPI through culture tissue, is one of the alternative wood to fulfill the demand. Recording the wood characteristics year by year, such as physical and mechanical properties for the new developed trees, are important to evaluate and give an information for the planting management. Recording of Platinum Teak wood has been conducted for the 2-year-olds and the 5-year-olds. The aim of this research is to evaluate the 6-year-old Platinum Teak wood from Cibinong Science Center, such as the density, modulus of rupture (MOR), and modulus of elasticity (MOE) on the radial and axial direction. The results showed that physical and mechanical properties tend to decrease from the bark to the pith, then they were increased from pith to bark on the other side. In addition, these properties were not different on the axial direction. However, the MOR and MOE in the upper part were relatively higher than the bottom and the middle part of the stem. The average of the density, MOR, and MOE were 0.54 g/cm^3 , 724.51 kg/cm^2 , dan $72.68 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$, respectively. Although the MOR and MOE were lower than those 5 year-old Platinum Teak from the previous study, these values were almost similar with the 10 year-old Teak wood from the community forest.

Keywords: density, MOE, MOR, Platinum Teak

ABSTRAK

Jati Platinum (*Tectona grandis*) yang dikembangkan oleh LIPI melalui rekayasa kultur jaringan merupakan salah satu alternatif pemenuhan kebutuhan akan kayu yang makin meningkat. Perekaman karakteristik, terutama sifat fisika dan mekanika suatu jenis kayu yang baru dikembangkan, sangat penting dilakukan dari tahun ke tahun untuk mengevaluasi dan memberikan masukan dalam mengelola risiko yang terjadi. Perekaman sifat ini telah dilakukan sebelumnya pada Jati Platinum berumur 2 dan 5 tahun. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi Jati Platinum berumur 6 tahun yang diambil dari hutan penelitian LIPI yang berada di Cibinong Science Center, yang meliputi kerapatan, keteguhan patah, dan keteguhan elastis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat fisika dan mekanika kayu Jati Platinum berumur 6 tahun pada posisi radial mengalami penurunan dari kulit menuju empulur dan naik kembali dari empulur ke kulit berikutnya. Pada arah aksial, sifat fisika dan mekanika cenderung tidak terlalu berbeda, walaupun nilai kerapatan, keteguhan patah, dan keteguhan elastis pada bagian ujung cenderung lebih tinggi daripada bagian pangkal dan tengah. Nilai rata-rata kerapatan, keteguhan patah, dan keteguhan elastis pada bagian pangkal adalah $0,54 \text{ g/cm}^3$, $724,51 \text{ kg/cm}^2$, dan $72,68 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$. Jika dibandingkan dengan Jati Platinum berumur 5 tahun, nilai keteguhan patah dan elastisnya lebih rendah. Namun, nilai tersebut hampir sama dengan Jati dari hutan rakyat berumur 10 tahun.

Kata kunci: Jati Platinum, kerapatan, keteguhan elastis, keteguhan patah

PENDAHULUAN

Kayu Jati (*Tectona grandis*, Linn. f) merupakan salah satu jenis kayu yang sangat digemari oleh masyarakat sebagai bahan baku konstruksi perumahan maupun mebel. Kayu ini mempunyai keawetan yang tinggi, tekstur yang sangat indah, bahkan mampu digunakan sebagai material kayu yang bisa kontak dengan air (Soerianegara & Lemmens, 1994). Karena keistimewaan dari sifatnya tersebut, kayu Jati tergolong mahal di Indonesia. Di Indonesia, kayu Jati banyak ditanam oleh Perusahaan Umum Perhutani, dengan luas hutan Jati mencapai 51% dari 1,39 juta hektare hutan produksi milik perusahaan tersebut (Perhutani,

2014). Sayangnya, kebutuhan kayu Jati yang ada ternyata tidak bisa diimbangi oleh pasokan dari hutan Jati ini. Pasokan kayu Jati hanya mampu menyediakan 33,5% dari total kebutuhan yang ada, sementara produksi yang ada terus menurun (Adi dkk., 2016a). Salah satu faktor penyebab rendahnya pasokan kayu Jati adalah daur tebang yang sangat panjang, yang bisa mencapai 40–60 tahun (Darmawan dkk., 2015; Lukmandaru & Takahashi, 2008).

Banyak cara dilakukan untuk mengatasi keterbatasan pasokan kayu Jati ini, terutama dengan mempercepat umur panen dari kayu tersebut dengan metode pemuliaan tanaman, penggunaan kayu dari hutan rakyat dan penggunaan kayu hasil penjarangan (Hidayati dkk., 2017). Salah satu jenis kayu Jati yang dikembangkan dengan metode pemuliaan tanaman adalah Jati Platinum. Jati Platinum dikembangkan oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) untuk mempercepat daur tanaman dengan produktivitas yang tetap dijaga agar tetap tinggi, artinya diameter pohonnya mencapai ukuran Jati konvensional dengan masa pemanenan yang lebih cepat. Penelitian awal terhadap Jati Platinum ini menunjukkan bahwa kayu ini mempunyai kesamaan sifat yang cukup tinggi dengan kayu Jati konvensional (Adi dkk., 2016a & Adi dkk., 2016b).

Evaluasi tanaman jenis baru membutuhkan waktu yang relatif panjang untuk menyimpulkan sifat dan karakternya, terutama dalam penentuan kualitas kayu dan masa tebangnya. Hal ini juga dilakukan terhadap Jati Platinum yang dikembangkan oleh LIPI. Perekaman sifat sejak dari awal pertumbuhan sangat penting dilakukan sebagai masukan untuk pengelolaan manajemen tanaman (Kojima dkk., 2009). Namun, penelitian tanaman hasil pemuliaan memerlukan biaya yang besar karena penentuan kualitas pohon didasarkan pada uji destruktif (Mvolo dkk., 2015).

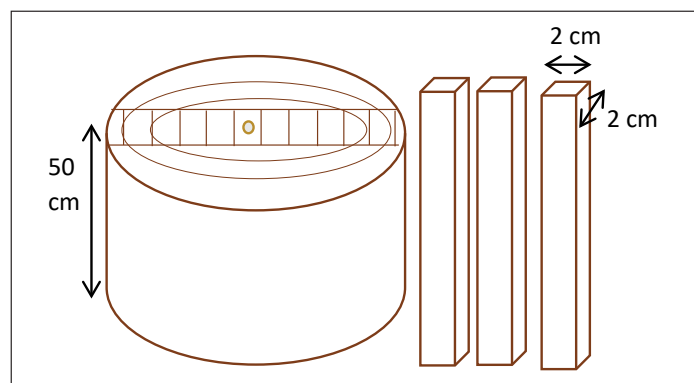
Kayu Jati dikenal sebagai bahan baku konstruksi, di mana sifat fisika dan mekanika sangat penting dilakukan. Sifat tersebut di antaranya kerapatan, *Modulus of Rupture* (MOR), dan *Modulus of Elasticity* (MOE). Kerapatan berhubungan dengan kualitas kayu secara keseluruhan, sedangkan MOR dan MOE merupakan parameter yang berhubungan dengan kekuatan dan kekakuan (Van Duong & Matsumura, 2018).

Perekaman sifat ini juga dapat digunakan untuk menghindari kerugian akibat rendahnya produktivitas dan kualitas kayu. Perekaman sifat Jati Platinum telah dilakukan pada umur 2 dan 5 tahun. Penelitian ini merupakan rangkaian panjang untuk perekaman sifat Jati Platinum. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengetahui sifat fisik dan mekanik kayu Jati Platinum berumur 6 tahun pada arah radial dan aksial untuk menambah masukan mengenai sifat-sifat kayu tersebut.

BAHAN DAN METODE PERCOBAAN

1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tiga pohon Jati Platinum berumur 6 tahun dengan diameter dan tinggi bebas cabang rata-rata berkisar 12 cm dan 6 m, yang diperoleh dari kebun penelitian



Gambar 1. Pengambilan sampel penelitian pada arah radial kayu



di Kampung Sempora, Cibinong, Bogor. Tiap pohon diambil bagian bawah, tengah, dan ujung dengan ukuran panjang 50 cm. Kemudian, masing-masing potongan tersebut dipotong dari kulit menuju kulit dengan ukuran penampang 2 x 2 cm seperti terlihat pada Gambar 1. Sementara itu, parameter penelitian adalah pada arah radial (dari kulit ke kulit) dan aksial (dari pangkal menuju atas pohon). Data perekaman sifat pada umur 2 dan 5 tahun akan digunakan sebagai pembandingan data, apakah ada peningkatan dari sisi kualitas kayunya. Selain itu, data sekunder mengenai Jati lainnya juga digunakan sebagai pembandingan dalam penelitian ini.

2. Kerapatan dan Mekanika Kayu

Sifat fisika yang diuji pada penelitian ini adalah kerapatan kayu, sedangkan sifat mekanikanya adalah keteguhan lengkung statik yang meliputi *Modulus of Rupture* (MOR) dan *Modulus of Elasticity* (MOE). Kerapatan kayu (ρ) diukur dengan memotong sampel berukuran 2 cm (radial) x 2 cm (tangensial) dan 4 cm (longitudinal) yang dihitung berdasarkan berat kering tanur (BKT) dibagi volume segar (V_s) atau:

$$\rho = \frac{BKT_{BKT}}{V_s V_s} \quad (1)$$

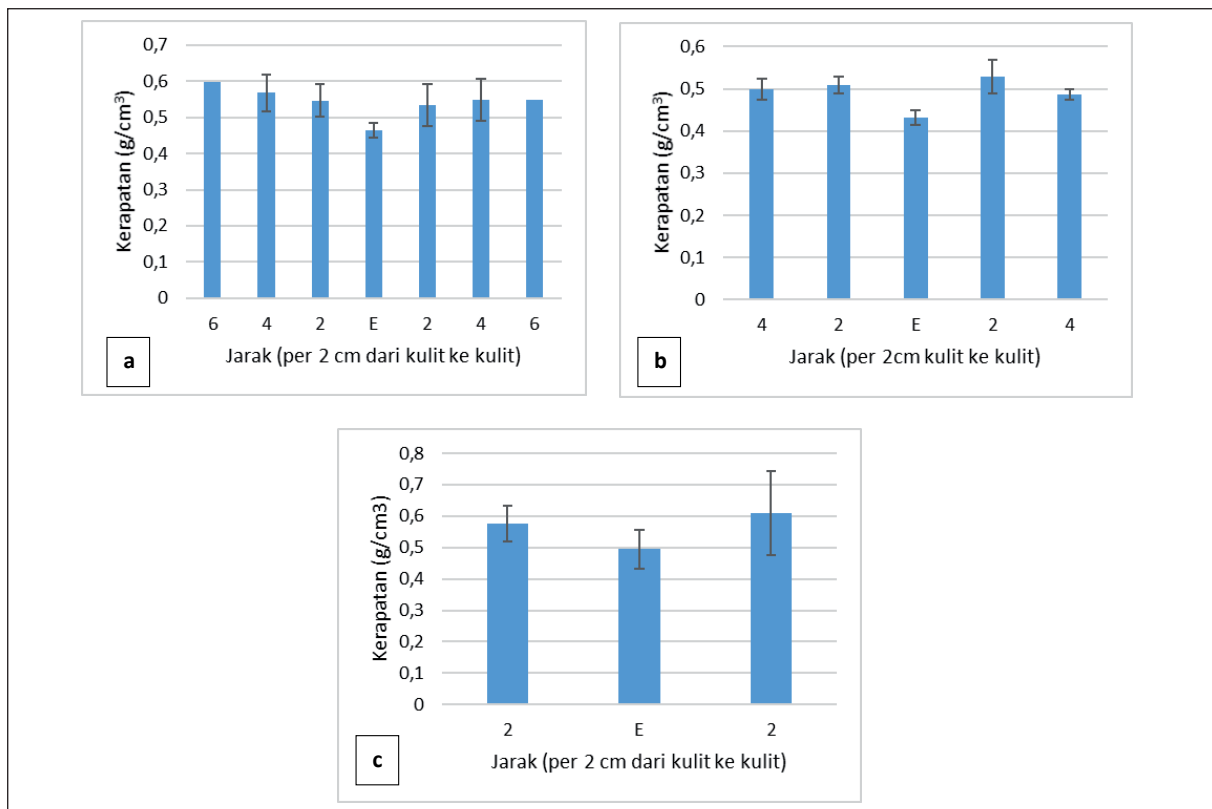
Namun, karena banyak faktor yang berpengaruh terhadap keseimbangan air dalam kayu maka volume segar digantikan dengan volume basah. Volume basah merupakan volume yang diperoleh dengan merendam kayu di dalam air sampai kondisi sampel tenggelam. Keadaan ini diperoleh dengan merendam sampel kurang lebih 2 minggu. Lengkung statik diuji dengan ukuran 2 cm (radial) x 2 cm (tangensial) x 30 cm (longitudinal) (British Standard 373, 1957). Parameter yang diamati adalah MOR, yaitu keteguhan kayu pada beban maksimal sehingga kayu patah. Selain itu juga diukur MOE, yaitu keteguhan kayu pada beban tertentu di mana kayu akan kembali ke keadaan semula atau elastis ketika beban dihilangkan (Bowyer dkk., 2003; Panshin & de Zeeuw, 1980).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 menunjukkan kerapatan kayu Jati Platinum berumur 6 tahun pada arah radial (kulit ke kulit) pada tiga posisi pohon, yaitu pangkal (a), tengah (b), dan ujung (c). Grafik kerapatan kayu menunjukkan kecenderungan pada arah radial, yaitu kerapatan cenderung turun dari kulit menuju empulur (E), kemudian naik kembali dari empulur menuju kulit. Kenaikan kerapatan dari empulur menuju kulit ini terjadi karena kenaikan proporsi sel kayu dewasa ke arah luar (Bowyer dkk., 2003; Panshin & de Zeeuw, 1980).

Tren yang ada pada kayu Jati Platinum berumur 6 tahun ini menandakan bahwa kayu ini masih dalam tahap kayu juvenil, karena tidak ditemukannya sifat landai pada kayu tersebut. Kayu juvenil biasanya berada di pusat kayu dan ditandai dengan perubahan yang mencolok dari pusat pohon ke arah kulit (Zobel & Sprague, 1988). Selain itu, diduga proporsi kayu awal dari Jati Platinum berumur 6 tahun lebih banyak daripada proporsi kayu akhirnya. Kayu awal ini biasanya terbentuk di daerah sekitar empulur (Dahlen dkk., 2018). Kayu awal juga mempunyai kerapatan yang lebih rendah daripada kayu akhir. Tren kerapatan kayu pada arah radial pada Jati Platinum berumur 6 tahun ini juga sama dengan yang dilaporkan pada Jati dari hutan rakyat berumur 10 tahun (Darmawan dkk., 2015) maupun dari klon berumur 5 tahun (Hidayati dkk., 2017).

Gambar 3 merupakan hasil MOR dan MOE kayu Jati Platinum berumur 6 tahun pada arah radial pada tiga posisi batang, yaitu (a) pangkal, (b) tengah, dan (c) ujung. Tren MOR dan MOE ini juga sama dengan tren pada nilai kerapatan kayu, di mana nilainya adalah naik cukup tajam dari arah pusat pohon menuju luar atau kulit. Tren ini ternyata mempunyai kemiripan dengan penelitian Jati dari klon dan bibit (Hidayati dkk., 2015) dan juga pada Jati daur pendek dan panjang (Darmawan dkk., 2015).



Gambar 2. Kerapatan kayu Jati Platinum berumur 6 tahun pada arah radial: (a) pangkal, (b) tengah, (c) ujung.

Hubungan antara kerapatan dengan MOR dan MOE menunjukkan korelasi yang linear. MOR dan MOE makin tinggi seiring dengan kenaikan kerapatan kayunya pada arah radial pohon. Hal ini mencerminkan bahwa makin tinggi kerapatannya maka akan makin tinggi pula nilai MOR dan MOE. Nilai kerapatan, MOR, dan MOE sering digunakan untuk menentukan kualitas dari suatu pohon (Anoop dkk., 2014; Bowyer dkk., 2003; Dobner dkk., 2018; Panshin & de Zeeuw, 1980).

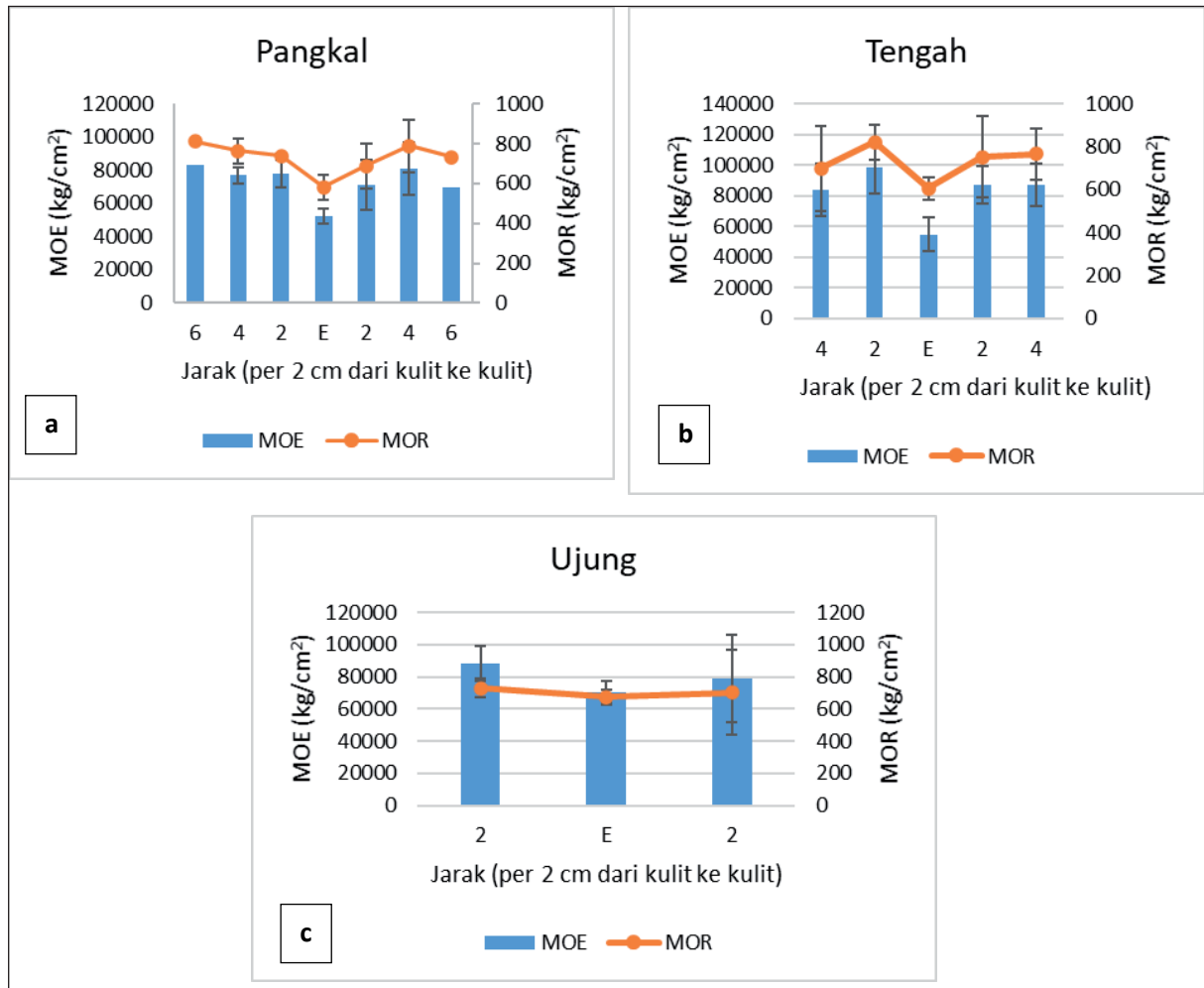
Tabel 1 menunjukkan sifat kerapatan, MOR, dan MOE pada arah aksial pohon. Dalam tabel tersebut, terlihat jelas bahwa pada arah aksial, nilai kerapatan, MOR, dan MOE kayu Jati Platinum berumur 6 tahun menunjukkan kecenderungan mempunyai nilai tinggi pada pangkal dan menurun seiring dengan pertambahan posisi ke ujung pohon. Hal ini diduga karena proporsi kayu masak pada bagian pangkal menuju ujung pohon makin menurun, tetapi proporsi kayu mudanya akan makin tinggi. Kayu muda (*juvenil*) merupakan kayu yang terbentuk pada awal pertumbuhan kayu (Zobel & Sprague, 1988), sedangkan pertumbuhan tinggi oleh pucuk pohon adalah pada arah aksialnya.

Pada arah aksial, proporsi kayu masaknya akan menurun, yang disertai dengan makin tipisnya dinding sel dan serat kayu yang makin pendek (Bowyer dkk., 2003; Panshin & de Zeeuw, 1980). Dinding sel dan panjang serat merupakan komponen dari sel penyusun kayu, terutama serabut (serat), di mana serat ini berfungsi untuk kekuatan. Lengkung statik yang terdiri dari MOR dan MOE banyak dipengaruhi oleh frekuensi dari serat kayu (Tsoumis, 1991) sehingga diduga pada ujung pohon frekuensi seratnya lebih rendah daripada pada bagian pangkal. Namun, hal ini memerlukan penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik dari sel-sel penyusun kayu Jati Platinum.

Pada penelitian sebelumnya, pada Jati Platinum berumur 5 tahun dari lokasi Pusat Penelitian Biologi, nilai kerapatan, MOR, dan MOE berturut-turut adalah 0,52 g/cm³, 919,79 kg/cm², dan 100,3 x 10³ kg/cm². Sementara itu, pada jati berumur 10 tahun dari hutan rakyat adalah 0,42 g/cm³, 736 kg/cm², dan 84 x 10³ kg/cm² (Adi dkk., 2016a). Hasil penelitian Jati Platinum berumur 6 tahun pada bagian pangkal mempunyai nilai MOR dan MOE yang relatif lebih rendah daripada Jati Platinum berumur 5



tahun. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan klon dan tempat tumbuh dari sampel penelitian yang diambil. Hidayati dkk. (2016) melaporkan bahwa klon dari Jati menyebabkan perbedaan kualitas kayu yang dihasilkan. Selain itu, faktor genetik dan lingkungan menyebabkan perbedaan transisi kayu awal dan akhir (De Micco dkk., 2016). Namun, Jati Platinum berumur 6 tahun ini mempunyai prospek yang baik jika dibandingkan dengan jati dari hutan rakyat berumur 10 tahun dari daerah Serpong. Kualitas kayu berbanding lurus dengan umur pohon; makin tua pohon maka kualitas kayu makin baik (Bowyer dkk., 2003; Panshin & de Zeeuw, 1980).



Gambar 3. MOR dan MOE Kayu Jati Platinum Berumur 6 Tahun pada Arah Radial: (a) Pangkal, (b) Tengah, (c) Ujung.

Tabel 1. Hubungan Sifat Fisika dan Mekanika Kayu Jati Platinum Berumur 6 Tahun pada Arah Aksial.

	Kerapatan (g/cm ³)	MOR (kg/cm ²)	MOE (kg/cm ²)
Pangkal	0,54 ± 0,03	724,51 ± 43,23	72688,11 ± 3790,13
Tengah	0,49 ± 0,008	732,25 ± 110,52	82721,43 ± 12140,53
Ujung	0,55 ± 0,07	699,98 ± 51,54	78445,72 ± 11013,53



KESIMPULAN

Kayu Jati Platinum berumur 6 tahun pada penelitian ini mempunyai tren pada arah radial, sifat fisika, dan mekanika kayu cenderung meningkat dari pusat pohon (empulur) menuju bagian kulit. Hal ini mengindikasikan bahwa Jati Platinum berumur 6 tahun ini mempunyai proporsi kayu juvenil yang cenderung tinggi. Sementara itu, pada arah aksialnya terjadi kecenderungan sifat fisika dan mekanikanya juga makin rendah dari pangkal ke ujung pohon. Nilai rata-rata kerapatan, keteguhan patah, dan keteguhan elastis pada bagian pangkal adalah $0,54 \text{ g/cm}^3$, $724,51 \text{ kg/cm}^2$, dan $72,68 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$, di mana ini nilai ini lebih rendah daripada Jati Platinum berumur 5 tahun dari lokasi di Pusat Penelitian Biologi. Klon dan lokasi diduga berpengaruh terhadap hasil ini. Namun, seiring pertumbuhan pohonnya, Jati Platinum ini mempunyai prospek yang bagus karena kualitasnya tidak berbeda jauh, bahkan mendekati kayu Jati konvensional yang ada di hutan rakyat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, D.S., Sudarmanto, Ismadi, Goper, M., Darmawan, T., Amin, Y., Dwianto, W., & Witjaksono (2016a). Evaluation of the wood quality of platinum teak wood. *Teknologi Indonesia*, 39(1), 36–44.
- Adi, Danang Sudarwoko, Amin, Y., Darmawan, T., Pramasari, D. A., & Dwianto, W. (2016b). Anatomical features and fiber characteristics of two and five year-old platinum teak wood. Dalam Subyakto, E. S. Bakar, E. Hermiati, W. Fatriasari, D. H. Y. Yanto, R. A. Ermawar, ... M. Oktaviani (Eds.), *The 7th International Symposium of IWoRS* (251–255), Bandung. Indonesian Wood Research Society.
- Anoop E. V., Jijeesh C. M., Sindhumathi C. R., & Jayasree C. E. (2014). Wood physical, anatomical and mechanical properties of big leaf mahogany (*Swietenia macrophylla roxb*) a potential exotic for South India. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*, 2(8), 2320–6063.
- Bowyer, J. L., Haygreen, J. G., & Schmulsky, R. (2003). *Forest products and wood science: an Introduction* (4th ed.). Iowa State Press.
- British Standard 373. (1957). *Methods of testing small clear specimens of timber*. London, British Standard Institution.
- Dahlen, J., Auty, D., & Eberhardt, T. L. (2018). Models for predicting specific gravity and ring width for loblolly pine from intensively managed plantations, and implications for wood utilization. *Forests*, 9(6), 1–20. <https://doi.org/10.3390/f9060292>
- Darmawan, W., Nandika, D., Sari, R. K., Sitompul, A., Rahayu, I., & Gardner, D. (2015). Juvenile and mature wood characteristics of short and long rotation teak in Java. *IAWA Journal*, 36(4), 428–442. <https://doi.org/10.1163/22941932-20150112>
- De Micco, V., Campelo, F., De Luis, M., Bräuning, A., Grabner, M., Battipaglia, G., & Cherubini, P. (2016). Intra-annual density fluctuations in tree rings: How, when, where, and why? *IAWA Journal*, 37(2), 232–259. <https://doi.org/10.1163/22941932-20160132>
- Dobner, M., Huss, J., & Tomazello Filho, M. (2018). Wood density of loblolly pine trees as affected by crown thinnings and harvest age in southern Brazil. *Wood Science and Technology*, 52(2), 465–485. <https://doi.org/10.1007/s00226-017-0983-9>
- Hidayati, F., Fajrin, I. T., Ridho, M. R., Nugroho, W. D., Marsoem, S. N., & Na'iem, M. (2016). Sifat fisika dan mekanika kayu jati unggul “mega” dan kayu jati konvensional yang ditanam di Hutan Pendidikan Wanagama, Gunung Kidul, Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 10(2), 98–107.
- Hidayati, F., Ishiguri, F., & Marsoem, S. N. (2017). Anatomical characteristics and air-dry density of young trees of teak clones planted in Indonesia. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 45(4), 463–470. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2017.45.4.463>
- Hidayati, F., Sulistyio, J., Lukmandaru, G., Listyanto, T., & Praptoyo, H. (2015). Physical and mechanical properties of 10-year old superior and conventional teak planted in Randublatung, Central Java Indonesia. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 13(1), 11–21.
- Kojima, M., Yamamoto, H., Okumura, K., Ojio, Y., Yoshida, M., Okuyama, T., Ona, T., Matsume, K., Nakamura, K., Ide, Y., Marsoem, S.N., Sahri, M.H., & Hadi, Y.S. (2009). Effect of the lateral growth rate on wood properties in fast-growing hardwood species. *Journal of Wood Science*, 55(6), 417–424. <https://doi.org/10.1007/s10086-009-1057-x>



- Lukmandaru, G., & Takahashi, K. (2008). Variation in the natural termite resistance of teak (*Tectona grandis* Linn. fil.) wood as a function of tree age. *Annals of Forest Science*, 65(7), 1. <https://doi.org/10.1051/forest>
- Mvolo, C. S., Koubaa, A., Beaulieu, J., Cloutier, A., & Mazerolle, M. J. (2015). Variation in wood quality in white spruce (*Picea glauca* (moench) voss). Part I. Defining the juvenile-mature wood transition based on tracheid length. *Forests*, 6(1), 183–202. <https://doi.org/10.3390/f6010183>
- Panshin, A. J., & de Zeeuw, C. (1980). *Textbook of wood technology. Structure, identification, properties, and uses of the commercial woods of the United States and Canada* (4th ed.). McGraw-Hill Company.
- Perhutani. (2014). *Laporan sustainability 2014*. <http://www.perhutani.co.id/laporan-sustainability/>. Soerianegara, I. & Lemmens, R. H. M. J. (1994). *Prosea, plant resources of South-East Asia 5: (1) Timber trees: Major commercial timbers*. R. H. M. Lemmens (Ed.). Prosea.
- Tsoumis, G. (1991). *Science and technology of wood. Structure, properties, utilization*. Van Nostrand Reinhold.
- Van Duong, D., & Matsumura, J. (2018). Within-stem variations in mechanical properties of *Melia azedarach* planted in northern Vietnam. *Journal of Wood Science*, 64(4), 329–337. <https://doi.org/10.1007/s10086-018-1725-9>
- Zobel, B. J., & Sprague, J. R. (1988). Juvenile wood in forest trees. (T. E. Timell, Ed.), *Springer series in wood science*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-72126-7>

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Optimum Proportion of Extender and Hardener Added in Tannin Formaldehyde Adhesive for Laminated Wood

Adi Santoso and Jamaludin Malik*

Forest Products Research and Development Centre, Jln. Gunung Batu 5, Bogor, 16610

E-mail: jmalik.forda@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan tepung terigu sebagai bahan pengisi dan paraformaldehida sebagai pengeras ke dalam perekat tanin formaldehida untuk menghemat penggunaan perekat tanpa mengurangi daya rekatnya untuk aplikasi kayu laminasi yang terbuat dari kombinasi kayu afrika dan mahoni. Ke dalam perekat TF ditambahkan ekstender dengan proporsi 5, 7, 5 dan 10% serta hardener pada level 0,0, 0,5, 1,0, 1,5 dan 2,0%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan bahan pengisi dan pengeras terbaik untuk perekat TF dalam pembuatan kayu laminasi kombinasi Afrika-Mahoni adalah 5% bahan pengisi dan 0% pengeras. Perekat TF memenuhi persyaratan Standar Nasional Indonesia. MOR (Modulus of Rupture) dan MOE (Modulus of Elasticity) kayu laminasi dipengaruhi oleh spesies kayu serta kandungan bahan pengisi dan pengeras dalam formulasi perekat TF. MOR berkisar antara 222.00–981.60 kg/cm² dan MOE antara 4,438.90–10.238.79 kg/cm² memenuhi persyaratan Standar Jepang (JAS).

Kata kunci: bahan pengisi, kayu laminasi, kekuatan lentur, pengeras, perekat tanin formaldehida

ABSTRACT

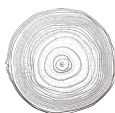
This research aims to investigate the effect of adding wheat flour as the extender and paraformaldehyde as the hardener into tannin formaldehyde (TF) adhesive in order to save the use of the adhesive without reducing its adhesion for laminated wood applications made from a combination of African and Mahogany wood. Into the TF adhesive, the extender with the proportion of 5, 7.5 and 10% and the hardener at the levels of 0.0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0% were added. The results show that the best proportion of additional extender and hardener for TF adhesive in making laminated wood from a combination of African-Mahogany is 5% extender and 0% hardener. The TF adhesive meets the Indonesian National Standard minimum requirement. The MOR and MOE of the laminated wood are influenced by the species of wood as well as the extender and hardener content in the TF adhesive formulation. The MOR ranging from 222.00–981.60 kg/cm² and MOE ranging from 4,438.90–10.238.79 kg/cm² meet the Japanese Standard (JAS).

Keywords: extender, hardener, tannin formaldehyde adhesive, laminated wood, bending strength

INTRODUCTION

The high population has resulted in increasing demand for wood in Indonesia for building material, home furniture, office equipment, and other purposes. Based on this, it is necessary to use wood optimally—among others—by making laminated wood. The product can be made from glueing or joining lumbers by using an adhesive that is applied onto several layers of wood in a longitudinal direction. According to Malik et al. (2005), to enhance added value and utilization efficiency of forest resources (i.e. wood wastes), the assembly process into laminated wood can be one of the several beneficial attempt options.

In wood processing industries such as laminated wood, plywood, particleboard, and laminated veneers, an adhesive is one of the important components. Nowadays, common adhesive used in wood industries is a synthetic adhesive which is derived from petroleum processing—a non-renewable resource and it tends to be uneconomical. The price of synthetic adhesives such as urea formaldehyde (UF), phenol



formaldehyde (PF), and resorcinol formaldehyde (RF) depends on the petroleum price. As a result, the attention has been shifted back to natural adhesives such as tannins (Maloney, 1977).

The manufacture of tannin formaldehyde adhesive is based on the reaction between tannins and formaldehyde which forms a polymer. In the reaction of condensation-polymerization between tannins and formaldehyde, another material can be added as a copolymer: aiming to reduce production costs or as a fortifier (Pizzi, 1983). The results of the previous research (Santoso, 1995; Santoso, 2001) indicate that urea or phenol could be added as copolymers in the condensation reaction between tannins obtained from the bark of acacia tree (*Acacia decurrens*) and formaldehyde. Through that process, tannin urea formaldehyde (TUF) and phenol formaldehyde (TPF) were formed which resemble phenol formaldehyde (PF) adhesives; moreover, these can be used as an exterior type of plywood adhesive. Both copolymers were prepared under acidic conditions with a relatively short gelation time (<80 minutes), making it difficult in their applications. In general, tannins are used in solid form; which in the process of obtaining them, it requires a heating temperature of $\leq 70^{\circ}\text{C}$, so it takes a long time. In the recent study conducted by Arbenz and Av erous (2015), tannin-based adhesives can be made from raw materials in the form of liquid tannin extract without crystallizing the tannins, at base conditions ($\text{pH} > 7$ alkaline) by reacting directly with formaldehyde to form tannin formaldehyde (TF).

In this paper, the tannin-based adhesive will be applied in the manufacture of laminated boards manufactured from Mahogany (*Swietenia* sp.), and African (*Maesopsis eminii*) wood. Both species are widely available, particularly from community plantation forests.

MATERIALS AND METHODS

Materials and Equipment

Materials that were used in this study were the bark of *Acacia mangium* (M) obtained from West Java, the logs of Mahogany (*Swietenia* sp.) and African (*Maesopsis eminii*) (A) wood species, technical formaldehyde and sodium hydroxide, and industrial flour.

The tools used in this experiment were a set of glass tools (Erlenmeyer flask; 100, 500 mL beaker, measuring cup 10, 25, 500 mL, porcelain dish), stirring rod, dropper pipette, water bath, deflating device, moisture meter, pH meter, universal testing machine (Lohmann-v Tamogrchi Essen model UPH-2), viscometer, extractor for tannin, and adhesives preparation. Bandsaw, planer, and sander were also used for preparing wood samples.

METHODS

Tannin extraction and its adhesive formulation

The mangium bark was cut into chips (2.5×3 to $3 \times 10 \text{ cm}^2$), then dried and chopped into smaller sizes (1×1 to $1.5 \times 4 \text{ cm}^2$). This material was immersed in an extractor with hot water ($70\text{-}80^{\circ}\text{C}$) for 1 hour with a ratio of bark:water = 1:3. The extraction was carried out three times with a composition of 1:3 (skin:water). The mixture was stirred every 15 minutes, then cooled, and filtered. Repeat the process for the residue twice as done before.

The preparation of tannin formaldehyde (TF) polymer was carried out in the following ways:

- 30 litres of liquid tannin extract was filled into the reactor.
- Formaldehyde 37% as much as 6 litres which have been alkalisied was also put into the reactor.
- Then, 1 litre of 40% NaOH was added, and the pH of the mixture was checked. If the pH of the mixture is below 11, then add NaOH again until the pH reached 11.
- The reactor was switched on, and the temperature was set at 90°C . The stirrer was running and heating for 3 hours. During the heating, the pH of the mixture is checked every hour, and if there is a decrease in pH (<10.5) then add NaOH.



- After 3 hours, the reactor temperature was raised to 100°C, and left for 1 hour.
- After 1 hour of boiling, the mixture was allowed to add an extender and hardener according to Table 1 until it is cold (room temperature) and stored in a container.

Then a visual test was performed by pouring a small amount of adhesive sample on the slide, and then it was spread until it forms a thin film. The solids content was determined three times by weighing 1.5 g of adhesive (A) in a vessel with known weight and heated in an oven at a temperature of $103 \pm 2^\circ\text{C}$, then put in a desiccator and weighed again after it cooled down. The process of heating in the oven and weighing was conducted until a constant weight (K) is achieved. The solid content (P) was calculated by the formula: $P = (K / A) \times 100\%$. Determination of the solid content of the adhesive was carried out three times). The acidity (pH) of the adhesive was measured using a pH meter. The sample was put into a 100 mL beaker glass, and then the pH was measured three times. Viscosity was measured with a viscometer in units of poise. The specific gravity of the adhesives was determined using the pycnometer method. A clean and dry 25 mL empty pycnometer was weighed (W_1), fully filled with water, and closed without air bubbles on the pycnometer lid, then weighed (W_2). The water in the pycnometer was removed. Then the pycnometer was fully filled with the adhesive sample and closed without any air bubbles in the pycnometer lid, then weighed again (W_3). Specific gravity (SG) of the adhesive was calculated using a formula:

$$SG = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1}$$

Application of TT Adhesive for Laminated Wood

The wood materials were cut to the size of 20 x 6 x 1 cm. The number of pieces of wood each is 50 pieces. The wood specimens were then oven-heated until the moisture content ranges from 8–12%. The wood species combinations for composing the laminated wood used in this experiment were Africa-Africa (AA), Mahogany-Mahogany (MM), and Africa-Mahogany (AM).

The wood specimens that have been prepared were smeared with TF adhesive at a single glue line with an equal amount to 170 g/m² with the composition of wheat flour extender (0.0; 0.5; 1.0; 1.5; 2.0%) and paraformaldehyde hardener (5.0; 7.5; 10%). Each laminated wood that has been made was pressed at room temperature with the provision of 12 kg/cm² for 24 hours using a hydraulic pressing machine (Becker van Hullen, Leipzig, Germany). After pressing, release the pressure from the laminated wood and trim the edges, and leave it for 1 week for conditioning at a room temperature. The testing of the laminated wood was carried out after 1 week of conditioning (T = 27°C, RH = 60%).

Timber combination, (c)	Extender (%), (b)	Hardener (%), (c)				
		0 (a1)	0,5 (a2)	1,0 (a3)	1,5 (a4)	2,0 (a5)
M-M (c1)	5 (b1)	a1b1c1	a2b1c1	a3b1c1	a4b1c1	a5b1c1
	7,5(b2)	a1b2c1	a2b2c1	a3b2c1	a4b2c1	a5b2c1
	10 (b3)	a1b3c1	a2b3c1	a3b3c1	a4b3c1	a5b3c1
A-A (c2)	5 (b1)	a1b1c2	a2b1c2	a3b1c2	a4b1c2	a5b1c2
	7,5 (b2)	a1b2c2	a2b2c2	a3b2c2	a4b2c2	a5b2c2
	10 (b3)	a1b3c2	a2b3c2	a3b3c2	a4b3c2	a5b3c2
M-A (c3)	5 (b1)	a1b1c3	a2b1c3	a3b1c3	a4b1c3	a5b1c3
	7,5 (b2)	a1b2c3	a2b2c3	a3b2c3	a4b2c3	a5b2c3
	10 (b3)	a1b3c3	a2b3c3	a3b3c3	a4b3c3	a5b3c3

Remarks: M = Mahogany; A = Africa.



Bending Tests

Modulus of rupture (MOR) of laminated wood was tested in the longitudinal direction (Figure 1). According to the Japanese Standard (JIS, 2003), the size of the flexural strength test sample is 5 cm wide, 15 x nominal width + 5 cm, and the minimum length of the sample. In order to test the rupture strength, the test sample is placed on the surface of the test sample until it reaches a break. Moreover, in order to test the flexural strength modulus of elasticity (MOE), the test sample was placed on the surface of the test sample and then the amount of load that the sample can bear was measured to the limit of proportion.

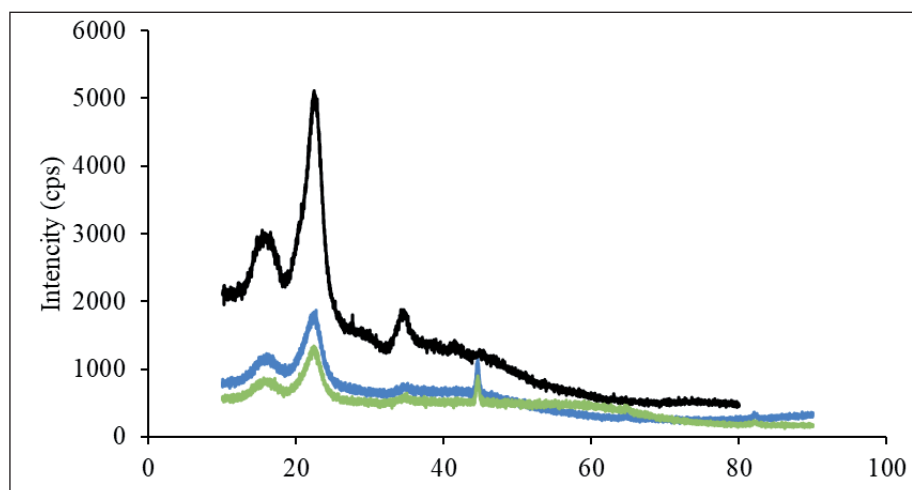


Figure 1. Bending Test

RESULTS AND DISCUSSION

Physicochemical Properties of TF Adhesives

TF adhesive produced from a mangium bark extract has physical properties in the form of a blackish-brown liquid and has a distinctive smell of phenolic compounds. The TF adhesive character is similar to the physicochemical properties of phenol formaldehyde (PF) adhesive which fits within the range of adhesive standard requirements according to SNI (BSN, 1998). Briefly, the characteristics of the TF adhesive are presented in Table 2.

Table 2. Characteristics of Tannin Formaldehyde (TF) Adhesive

Parameter	Jenis perekat	
	TF	Standar (PF)*
Visual test	(+)	(+)
Strange matter	(-)	(-)
Gelation time (mins)	57	30–60
Solids Content (%)	32	41,0–43,0
Viscosity (25 ± 1oC), (poise)	1,2	1,5–3,0
Acidity (pH)	10,5	10,0–13,6
Specivic gravity	1,02	1,18–1,20

Remarks: *) Source: SNI (1998); (+) Blackish-brown liquid, typical odour of phenolic; (-) Absence.



The resin's solid content describes the amount of resin or adhesive formed as a result of the polymerization reaction of tannins with formaldehyde: higher resin content obtained represents an increasing number of molecules in the polymer, which will play a role in the reaction between adhesive and adherents. Meanwhile, the time of gelatinous describes the "life span" of the adhesive. The longer the pot life, it can be more beneficial because it extend the polymer's life span (Santoso et al., 2004).

TF adhesive viscosity as an adhesive is thinner than PF adhesive; it aims to have a longer pot life. According to Maloney (1977), an adhesive with high solid content which has a suitable viscosity will allow it to penetrate wood pores well and form an optimum bond, that eventually resulting in satisfactory adhesion. The facts show that adhesives with high viscosity have shorter pot life and will harden faster than dilute ones, so the adhesive quality is relatively low (Santoso et al., 2004).

The acidity (pH) is deliberately alkaline (pH 8-11), to slow down the polymerisation reaction, so that the liquid adhesive is stable for a relatively longtime during storage. Meanwhile, the density of TF is relatively the same as the PF adhesive used.

In this study, before applying the TF adhesive to the manufacture of laminated wood, it s first mixed with an extender of industrial wheat flour and a hardener of technical formaldehyde. The manufacture of laminated wood is carried out using a TF adhesive mixture in various compositions. Furthermore, it is expected that the optimum composition for using adhesive for laminated wood applications can be obtained by testing the fracture strength (MOR) and flexural strength (MOE). The MOE value indicates that a material is stiff (difficult to flex), while MOR is the value of the maximum bending load that causes the test sample to fracture (Santoso, 2001).

Modulus of Rupture (MOR)

The fracture or MOR strength is a value that shows the maximum load that can be withheld by a large unit load until the material breaks (Shmulsky et al., 2011). The overall MOR value of laminated wood ranges from 222.00 to 981.60 kg/cm². Judging from the wood species that comprise it, the MOR value of African laminated wood (AA) ranges from 314.40–614.40 kg/cm², while those made from Mahogany (MM) ranges between 222.00-981.60 kg/cm²:thus, a mixture made of African wood and Mahogany (AM) range between 422.40-808.80 kg/cm². All of these MOR alues are higher than those of laminated wood made from the wood combination of pine-agahtis-gmelina with MOR ranging from 270.0 to 352.50 kg/cm² (Malik and Santoso, 2005).

Overall, the smallest MOR value was obtained from laminated wood with a combination of Mahogany type treatment using an extender content of 5% with a hardener content of 1.5%, likewise, the largest MOR was obtained from products using a combination treatment of Mahogany species using an extender level of 7, 5% and 1.5% hardener content (Figure 2).

If compared to their respective wood species (MOR of whole African wood = 638.97 kg/cm² and MOR of whole Mahogany = 1,003.54 kg/cm²), the maximum value of MOR is only 4% adrift (Africa) and 2% (Mahogany) lower, while laminated wood whose raw material consists of African and Mahogany (AM) is 19% lower than the MOR of whole Mahogany but 27% higher than whole African wood.

Based on analysis of the variance, it is known that the type of wood (A) has a very significant effect (15%) on the fracture strength of laminated wood. Products made of high-density wood (Mahogany, B.J = 0.63) produced greater fracture strength than similar products made from low-density wood (Africa, B.J. = 0.42). However, laminated wood, whose raw material is a mixture of African wood and Mahogany, has a fracture strength value above similar products made from each of these types of wood.

The results also showed that the use of extender (B) and hardener (C) at various levels had a very significant effect (5%) on the fracture strength of the laminated wood, as well as the interaction of AB, AC, BC, and ABC, with the proportion of roles are 6%, 14%, 6%, and 34% respectively. Based upon these values, it can be seen that the fracture strength of the laminated wood is strongly influenced by

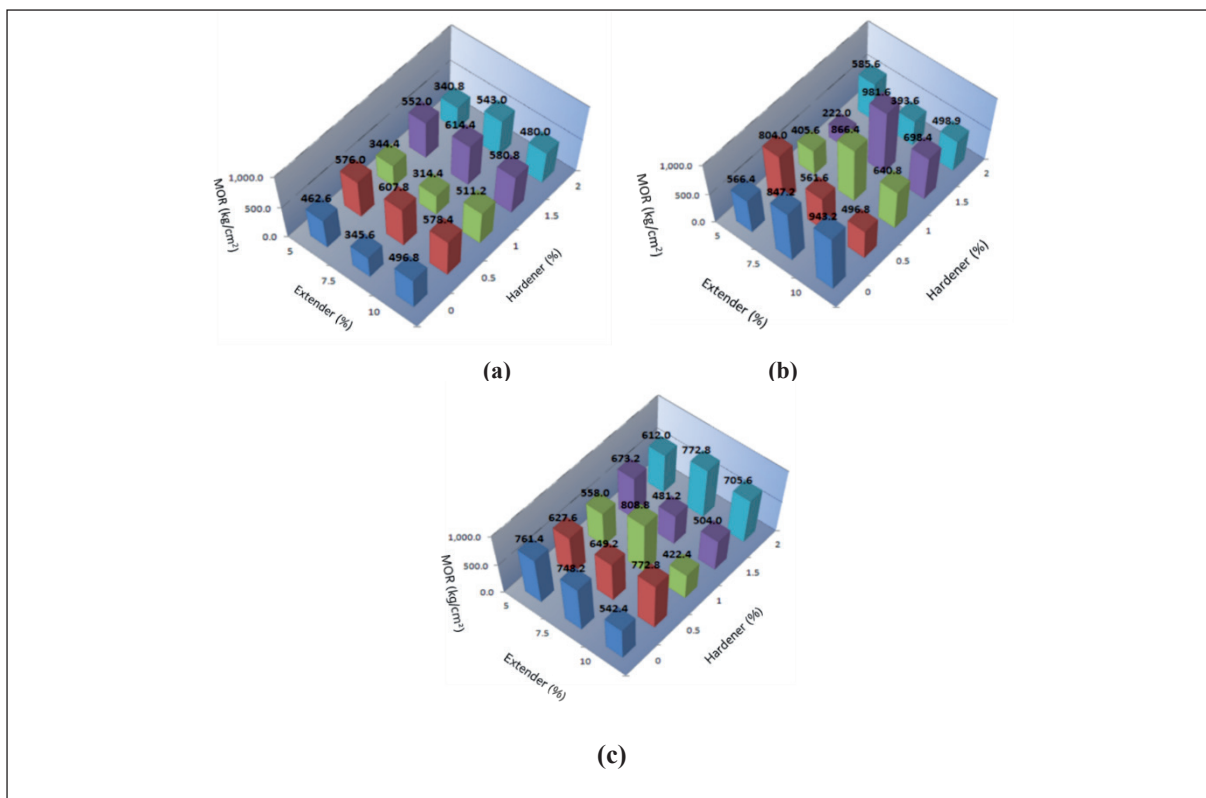


Figure 2. Histogram of the Fracture Strength (MOR) of the Laminated Wood: (a) AA; (b) MM; (c) AM

the interaction of the three treatment factors (ABC), namely the type of wood (A), the extender content (B), and the hardener content (C) in the TF adhesive formula.

Based on the difference test, it is known that the highest fracture strength is achieved by laminated wood whose raw material is made of Mahogany with an extender content of 7.5% and a hardener of 0-1.5%: which is not significantly different from similar products using extender content is 10% and hardener is 0%. The results of this study also showed that the fracture strength of the aforementioned products was not significantly different from laminated wood made of a mixture of African and Mahogany wood using an extender as much as 7.5% and 1% hardener. While the lowest fracture strength was achieved by laminated wood whose raw material was made of Mahogany with an extender content of 5% and a hardener of 1.5%, which was not significantly different from similar products that used African wood with an extender content of 5-7.5% and hardener 0-2%.

It can be argued that in terms of the fracture strength value, laminated wood made from a mixture of African-Mahogany wood with an extender content of 7.5% and a hardener of 1% each of the weight of the liquid adhesive, can replace similar products from Mahogany wood which in the adhesive contains 7.5% extender and 0-1.5% hardener. Based on the description above, it can be stated that the fracture strength (MOR) of laminated wood is strongly influenced by the interaction of the three treatment factors, namely the type of wood as raw material, extender content, and hardener content in the TF adhesive formula.

Modulus of Elasticity (MOE)

The MOE values of laminated wood ranges from 4,438.90-10,238.79 kg/cm². Judging from the types of wood that comprise it, the MOE value of African laminated wood (AA) ranges from 4,438.90-8,505.74 kg/cm², while those made from Mahogany (MM) range between 6,029.71-10,238.79 kg/cm² and those is made from a mixture of African wood and Mahogany (AM) between 6,543.89-9,502.65 kg/cm². These results are much lower than those of laminated wood made from the wood combination of pine-agahtis-gmelina with MOE ranging from 31,185.0 to 60,574.9 kg/cm² (Malik & Santoso, 2005).



Overall, the smallest MOE value was obtained from laminated wood with a combination of African wood species treatment using an extender content of 5% with a hardener content of 1.0%, while the largest MOE was obtained from products using a combination treatment of Mahogany wood species using an extender level of 7.5. % and hardener content of 1.0% (Figure 3).

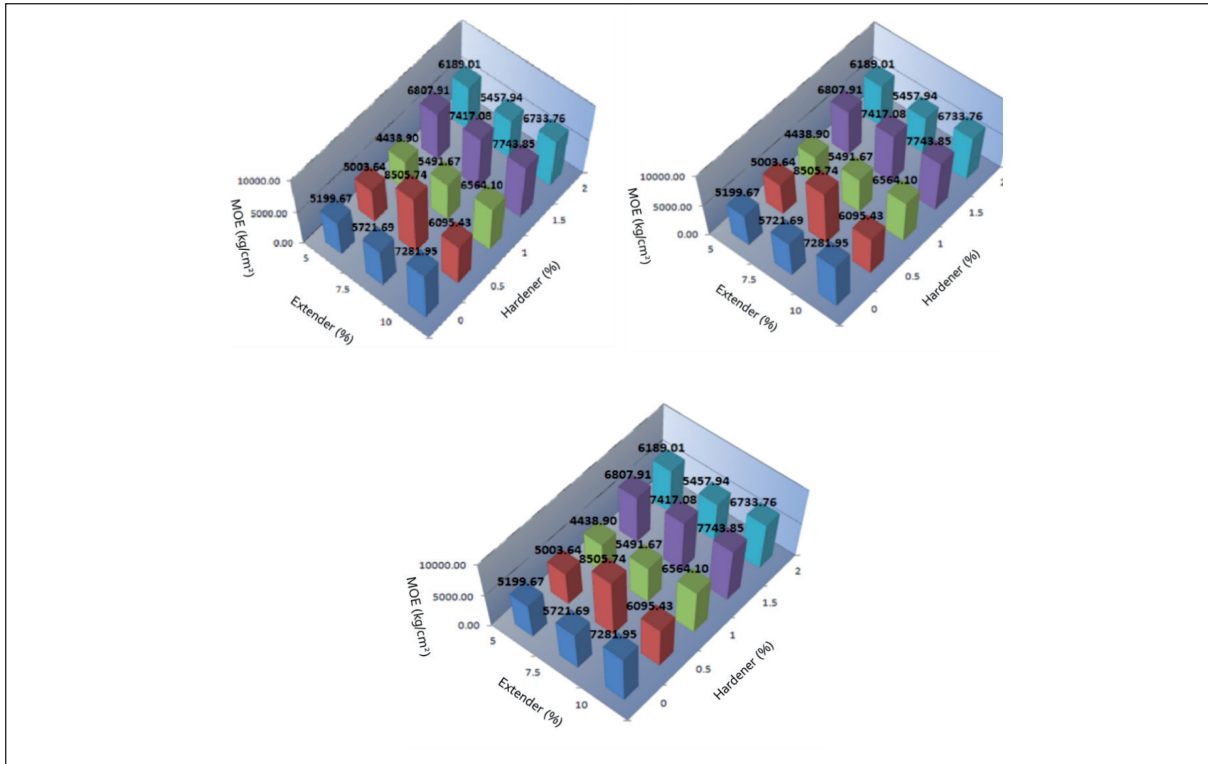


Figure 3. Histogram of the Flexure Strength (MOE) of the Laminated Wood: (a) AA; (b) MM; (c) AM

In comparison with their respective types of whole wood (MOE for whole African wood = 9,862.95 kg/cm², MOE for whole Mahogany = 13,128.48 kg/cm²), the maximum MOE value was lower, each 14% adrift (Africa) and 22% (Mahogany). Meanwhile, laminated wood whose raw material consists of Africa and Mahogany (AM) is 28% lower than the MOR of whole Mahogany but 4% higher than whole African wood.

Based on analysis of the variance, it is known that the type of wood (A) and the use of extender (B) in the TF adhesive formulation have a very significant effect on the flexural strength of laminated wood, which the calculated proportion of roles are 12% and 7%, respectively. On the other hand, the use of hardener (C) in the TF adhesive formula at various levels did not have a significant effect (2%) on the flexural strength of laminated wood, as well as the interaction of AB (1%), AC (7%), BC (7%), and ABC (10%). Based upon these values, it can be seen that the flexible strength of this laminated wood is dominated by the type of wood that comprises it (A).

The results also showed that products made of high-density wood (Mahogany, SG = 0.63) produced greater flexural strength than similar products made from low density wood (Africa, SG = 0.42). However, laminated wood, whose raw material is a mixture of African wood and mahogany, has the flexural toughness value between the products made from each of these types of wood.

Further, the difference test reveals that the highest flexural strength is achieved by laminated wood whose raw material is made of Mahogany with 7.5% extender content and 1.0% hardener is not significantly different from similar products using an extender content of 5% and 10% with 0–2.0% hardener. The results of this study also showed that the flexural strength of the aforementioned products



was not significantly different from laminated wood made from a mixture of African and Mahogany wood using an extender as much as 5.0–10.0% and 0.0–2.0% hardener, similar to when comparing to laminated wood which is made from African wood which uses an extender of as much as 7.5–10% in the adhesive and 0–1.5% hardener content.

The lowest flexural strength value is achieved by laminated wood whose raw material is made of African wood with an extender content of 5.0% and a hardener of 1.0%, which is not significantly different from similar laminated wood products using an extender as much as 7.5–10.0% with a hardener content of 0.0–2.0%. Further analysis also showed that the flexural strength of the product was not significantly different compared to laminated wood made from a mixture of African and Mahogany wood using an extender of 5.0–10.0% and 0.0–2.0% hardener. The flexural toughness (MOE) is only dominated by the type of wood in which it is composed; however, the efficiency of the laminated wood joints is individually influenced by the type of wood composing it and the extender content used in the TF adhesive mixture.

Overall, the flexural strength of laminated wood meets the Japanese Standard because the value is more than 1100 kg/cm², and it belongs to class 1 of the strength class.

CONCLUSIONS

The adhesive produced from TF adhesive has met the Indonesian National Standard. The fracture and flexural strengths of laminated wood are influenced by the wood species, extender content, and hardener content in the TF adhesive formula. From all treatment factors, it can be concluded that the resulting value meets the Japanese Standard requirements with MOR ranging from 222.00–981.60 kg/cm² and MOE ranging from 4,438.90–10,238.79 kg/cm².

It is advisable to make laminated wood from a combination of Africa-Mahogany wood using tannin formaldehyde adhesive containing a 5% extender and without hardener.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors are grateful for the support of Forest Products Research and Development Centre for the research.

REFERENCES

- Arbenz, A. & Avérous, L. (2015). Chemical modification of tannins to elaborate aromatic biobased macromolecular architectures. *Green Chemistry*, 17(5), 2626–2646. <http://doi.org/10.1039/C5GC00282F>
- BSN. (1998). SNI 06-4567-1998 - Liquid phenol formaldehyde for plywood adhesive. National Standard Agency, Jakarta.
- JIS. (2003). Japanese Agricultural Standard for Glued Laminated Timber JAS, MAFF, Notification No. 234. Japan Plywood Inspection Corporation, Tokyo.
- Malik, J., & Santoso, A. (2005). Keteguhan lentur statis balok laminated dari tiga jenis kayu limbah pembalakan hutan tanaman (Static bending of the laminated wood made from forest plantation logging waste wood). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 23(5), 385–397. <https://doi.org/10.20886/jphh.2005.23.5.385-397>
- Malik, J., Santoso, A. & Roliadi, H. (2005). Characteristic of laminated wood of logging waste of three natural forest wood species. *Journal of Forestry Research* 2(1), 37–48. <https://doi.org/10.20886/ijfr.2005.2.1.37-48>
- Maloney, T.M. (1977). *Modern Particleboard and dry-process fiber board manufacturay*. Miller-Freeman publication. San Fransisco.
- Pizzi A. (1983). *Wood Adhesives: Chemistry and technology*. Marcel and Dekker, Inc. New York.
- Santoso, A. (1995). *Pencirian isolat lignin dan upaya menjadikannya sebagai bahan perekat kayu lapis (Characterization of Lignin Isolates and Its Formulation as Plywood Adhesives)* [Master Thesis, IPB University].



- Santoso, A (1998). Penelitian pemanfaatan tanin sebagai perekat kayu lapis (Research on The Utilisation of Tannin for Plywood Adhesives). Proceedings of The First National Seminar of MAPEKI 24 March 1998. Faculty of Forestry, IPB University, Bogor.
- Santoso, A. (2001). Uji Coba Pembuatan Perekat Tanin (Research on Tannin Adhesive Manufacturing). Laporan Hasil Penelitian. Puslitbang Teknologi Hasil Hutan (Technical Report of Forest Products Research and Development). Bogor.
- Santoso, A., Ruhendi, S., Hadi, Y. S., & Achmadi, S. S. (2004). Sintesis dan karakterisasi resin lignin resorsinol formaldehida sebagai perekat kayu laminated (Resorcinol formaldehyde as laminated wood adhesive). Majalah IPTEK (IPTEK Magazine). Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi 15(3), 89–98. LPPM – ITS. Surabaya.
- Shmulsky, R., Jones, P. D. & Lilley, K. (2011). Forest products and wood science: an introduction / Rubin Shmulsky, P. David Jones; drawings by Karen Lilley, Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell, 2011. 6th ed.

PROSIDING ILMIAH SEMINAR NASIONAL LIGNOSELULOSA 2020

TANTANGAN DAN PELUANG INDUSTRIALISASI PRODUK BERBASIS LIGNOSELULOSA

Prosiding Ilmiah Seminar Nasional Lignoselulosa 2020 ini merupakan salah satu upaya untuk mendiseminasikan hasil-hasil penelitian di Pusat Penelitian Biomaterial LIPI terkait penelitian, pengembangan, dan pengkajian bahan bioproduk yang bersumber dari lignoselulosa. Artikel-artikel dalam prosiding ini telah diseminarkan dalam Seminar Nasional Lignoselulosa 2020 dengan tema “Tantangan dan Peluang Industrialisasi Produk Berbasis Lignoselulosa” dengan beragam bahasan, di antaranya bioproduk, material, bioenergi, dan lingkungan. Prosiding ini menyajikan sebanyak 13 makalah lengkap dari partisipasi aktif, peserta dari kalangan peneliti, akademisi, dan praktisi industri. Selain itu, juga terdapat 5 buah abstrak dari pemakalah kunci (*keynote speaker*).

Prosiding ini cocok dibaca oleh Anda yang tertarik untuk mencari referensi dalam pengembangan bioproduk dari lignoselulosa.

Selamat membaca!



Diterbitkan oleh:

LIPI Press, anggota Ikapi
Gedung PDDI LIPI Lt. 6
Jln. Jend. Gatot Subroto 10, Jakarta Selatan 12710
Telp.: (021) 573 3465 | Whatsapp 0812 2228 485
E-mail: press@mail.lipi.go.id
Website: lipipress.lipi.go.id | penerbit.lipi.go.id

DOI 10.14203/press.362



e-ISBN 978-602-496-262-3

