

Karakteristik Struktural Bioplastik dari Tepung Porang dan Kombinasinya dengan Tepung Biji Durian

Structural Characteristics of Bioplastics from Porang Flour and Its Blends with Durian Seed Flour

¹Nelsy Dian Permatasari, ^{2*}Jatmiko Eko Witoyo, ³Donor Utomo Muhammad Susilo, ^{4,5} Simon Bambang Widjanarko

¹Jurusan Teknologi Pangan, Politeknik Tonggak Equator, Kota Pontianak

²Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Kab. Lampung Selatan

³Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Pontianak, Kota Pontianak

⁴Departemen Ilmu Pangan dan Bioteknologi, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Kota Malang

⁵Pusat Penelitian dan Pengembangan Porang Indonesia (P4I), Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Brawijaya, Kota Malang
email: jatmiko.witoyo@tip.itera.ac.id

ABSTRACT

The development of bioplastics from local resources, such as porang flour and its blends with durian seed flour, seeks to address the conventional plastic problem due to their degradable properties. Research on bioplastic from porang flour and its blends with durian seed flour is still focused on mechanical characteristics and biodegradability. However, comprehensive structural characterization of these bioplastics is still rarely performed. So, this study focused on characterizing structural characteristics of bioplastics made from porang flour and of porang flour-durian seed flour blends, including surface properties, pattern and crystallinity properties, and functional groups. The method used in this research was a comparative method, by descriptively comparing data between the two bioplastic samples. The results showed that porang flour-durian seed flour blends bioplastic had a smoother surface microstructure than porang flour bioplastic. However, when observed in cross-sections using SEM, it had more voids and clumps than porang flour bioplastic. Moreover, both bioplastics had the same XRD pattern and crystalline nature, which was amorphous. The functional groups composed of both bioplastics were mostly the same: O-H stretching, C-H stretching, C=O stretching, C-O stretching, C-O-C stretching, β -glucosidic bonds, and mannose bonds with different intensities. However, a functional group was only found in the porang flour-durian seed flour blend bioplastic, namely the C=O=H, which indicated the presence of durian seed starch.

Keywords: Bioplastics; Composite bioplastics; porang flour; Porang flour- durian seed flour blends; structural characteristics

ABSTRAK

Pengembangan bioplastik dari bahan lokal seperti tepung porang dan kombinasinya tepung biji durian merupakan salah satu upaya untuk menyelesaikan permasalahan plastik konvensional, dikarenakan memiliki sifat mudah terurai. Penelitian bioplastik dari tepung porang dan kombinasinya dengan tepung biji durian sejauh ini masih difokuskan pada karakteristik mekanis dan biodegradabilitas. Namun, karakterisasi struktural dari kedua Karakteristik Struktural Bioplastik dari Tepung Porang dan Kombinasinya dengan Tepung Biji Durian
Oleh: Nelsy Dian Permatasari, Jatmiko Eko Witoyo, Donor Utomo Muhammad Susilo, Simon Bambang Widjanarko

bioplastik secara komprehensif masih jarang dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah karakterisasi struktural bioplastik berbahan dasar tepung porang dan kombinasinya dengan tepung biji durian, meliputi sifat permukaan, pola dan sifat kristalinitas, dan gugus fungsi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode komparasi, dengan membandingkan data secara deskriptif antar kedua sampel bioplastik. Hasil penelitian menunjukkan bioplastik campuran tepung porang-tepung biji durian memiliki permukaan lebih halus secara mikrostruktur dibandingkan bioplastik tepung porang. Namun, memiliki banyak rongga dan gumpalan dibandingkan bioplastik tepung porang bila diamati secara melintang menggunakan SEM. Bioplastik tepung porang dan bioplastik campuran tepung porang-tepung biji durian memiliki pola XRD yang sama, dengan sifat kristal yang sama yaitu *amorf*. Gugus fungsi penyusun kedua bioplastik sebagian besar sama yaitu O-H *stretching*, C-H *stretching*, C=O *stretching*, C-O *stretch*, C-O-C *stretching*, ikatan β -glukosidik dan ikatan manosa dengan intensitas yang berbeda. Namun, ada satu gugus fungsi yang hanya ditemukan pada bioplastik campuran tepung porang-tepung biji durian yaitu gugus fungsi C=O=H, yang mengindikasikan keberadaan pati biji durian.

Kata kunci: bioplastik, komposit, tepung porang, tepung biji durian

PENDAHULUAN

Plastik telah menjadi bagian penting dan tak terpisahkan dalam kehidupan sehari-hari manusia yang hampir ditemukan di setiap tempat dengan berbagai aplikasi yang berbeda-beda (Selvamurugan & Sivakumar, 2019; Shafqat et al., 2020; Shamsuddin et al., 2017). Namun, penggunaan plastik konvensional memberikan dampak buruk terhadap lingkungan, dikarenakan waktu degradasinya membutuhkan waktu lama, sekitar ratusan bahkan ribuan tahun (Shamsuddin et al., 2017). Salah satu upaya untuk mengurangi dampak negatif limbah plastik konvensional adalah dengan mengembangkan bioplastik ramah lingkungan dengan memanfaatkan sumberdaya lokal Indonesia yang berlimpah. Bioplastik merupakan polimer alami yang mudah terdegradasi dan umumnya dapat dibuat dari protein, lemak, pati (Thakur et al., 2019), ataupun polimer lain yang dapat membentuk film seperti

polisakarida, seperti glukomanan, karagenan, agar, chitosan, dan polisakarida lain (Díaz-Montes, 2022; Du et al., 2019; Kurt & Kahyaoglu, 2014; L. Wang et al., 2019).

Sumberdaya alam lokal Indonesia yang berpotensi untuk menjadi kandidat bahan baku sintesis bioplastik adalah tepung porang dan tepung biji durian. Tepung porang kasar memiliki kandungan glukomanan berkisar antara 60-70%, (Faridah, 2016; Witoyo et al., 2023; Yanuriati et al., 2017), dan meningkat menjadi 80-95% setelah proses purifikasi (Faridah, 2016; Hermanto et al., 2019; Nurlela et al., 2022; Witoyo et al., 2022). Glukomanan pada tepung porang secara umum memiliki sifat seperti glukomanan yang diisolasi dari sahlep (Kurt & Kahyaoglu, 2014) dan konjac (Du et al., 2019; Wang et al., 2019), yaitu bersifat *biodegradable*, biokompatibilitas bila dipadukan dengan bahan lain, aman dan

memiliki kemampuan untuk membentuk lapisan tipis (Zhang & Rhim, 2022). Sumber daya alam lain yang berpotensi sebagai bahan baku bioplastik adalah tepung biji durian. Tepung biji durian memiliki kandungan pati yang relatif tinggi berkisar sebesar 40,29–46,81% Lebih lanjut, tepung biji durian memiliki kadar protein dan lemak secara berurutan sebesar 0,1-8,12% dan 0,02-3,07% (Permatasari et al., 2022b, 2021), dan telah digunakan sebagai bahan baku pembuatan bioplastik dengan dikombinasikan dengan bahan lain seperti pati (Retnowati et al., 2015) ataupun polisakarida (Permatasari et al., 2022a).

Penelitian sintesis bioplastik dari tepung porang, tepung biji durian ataupun gabungannya telah banyak dieksplorasi oleh peneliti dahulu (Fitriyana et al., 2022; Kurt, 2019b; Nurlatifah & Amyranti, 2023; Permatasari et al., 2022a; Retnowati et al., 2015; Strnad et al., 2019; Sultoni et al., 2014), dan hanya fokus pada karakteristik mekanis dan biodegradabilitas. Namun, penelitian mengenai karakteristik struktural bioplastik dari tepung porang, dan campuran tepung porang-tepung biji durian, seperti sifat mikrostruktur, pola XRD, dan gugus fungsional secara komprehensif masih jarang dilakukan. Penelitian ini perlu dilakukan untuk memahami morfologi, sifat kristalinitas dan interaksi antar komponen penyusun bioplastik dalam rangka untuk pengembangan formulasi dan optimasi penyusun komponen bioplastik untuk menghasilkan bioplastic dengan karakteristik lebih baik dengan memanfaatkan potensi sumberdaya lokal Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah karakterisasi struktural bioplastik berbahan dasar tepung porang dan campuran tepung porang dan tepung biji durian menggunakan

peralatan canggih seperti SEM (*Scanning Electron Microscopy*), XRD (*X-Ray Diffraction*), dan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*).

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah tepung porang hasil pencucian menggunakan etanol hasil penelitian terdahulu (Witoyo et al., 2022), dan tepung biji durian asal Kalimantan Barat, hasil dari penelitian sebelumnya (Permatasari et al., 2022b). Bahan lain yang digunakan dalam pembuatan bioplastik adalah gliserol dan akuades yang diperoleh dari toko bahan kimia disekitar Kota Malang, Indonesia. Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi timbangan analitik, *hot plate* (MS-H-Pro), *magnetic stirrer*, *beacker glass* (merk pyrex), spatula (merk pyrex), cawan petri, oven (memmert), dan desikator.

Sintesis Bioplastik

Proses sintesis bioplastik tepung porang dan campuran tepung porang-tepung biji durian mengacu pada Kurt & Kahyaoglu (2014) dengan modifikasi. Sintesis bioplastik tepung porang dilakukan dengan langkah sebagai berikut: 1,5 gram tepung porang dilarutkan dalam 100 ml akuades. Campuran ini diaduk hingga homogen menggunakan pengaduk magnetik dengan kecepatan 100 rpm dan kemudian dipanaskan hingga suhu 75 °C menggunakan *hot plate*. Setelah suhu mencapai 75°C, ditambahkan 5% v/v gliserol dan dipanaskan kembali hingga 81°C dan dipertahankan selama 15 menit sambil diaduk dengan kecepatan 500 rpm. Selanjutnya, larutan bioplastik dituangkan

ke dalam cawan petri hingga mencapai ketebalan 2 mm. Cawan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 50°C dan dikeringkan hingga beratnya konstan (± 48 jam), dan bioplastik siap untuk diuji lanjut.

Sintesis bioplastik komposit tepung porang dan tepung biji durian dibuat dengan prosedur sebagai berikut: 0,5 gram tepung biji durian dilarutkan dalam 100 ml akuades. Campuran ini diaduk hingga homogen menggunakan pengaduk magnetik dengan kecepatan 100 rpm dan kemudian dipanaskan hingga suhu 75 °C menggunakan *hot plate*. Setelah suhu mencapai 75°C, tambahkan 5% v/v gliserol dan 1% b/v tepung porang ke dalam larutan tepung biji durian, dan dipanaskan kembali hingga 81°C dan dipertahankan selama 15 menit sambil diaduk dengan kecepatan 500 rpm. Selanjutnya, larutan komposit bioplastik dituangkan ke dalam cawan petri hingga mencapai ketebalan 2 mm. Cawan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 50°C dan dikeringkan hingga beratnya konstan, (± 48 jam), dan bioplastik komposit siap untuk diuji lanjut.

Pengujian Mikrostruktur

Sifat permukaan dan penampang melintang bioplastik tepung porang dan bioplastik komposit tepung porang-tepung biji durian di observasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) FEI *type Inspect S50*. Pembesaran yang digunakan untuk observasi sifat permukaan bioplastik adalah 1000x dan 5000x, sementara untuk penampang melintang bioplastik adalah 250x dan 500x.

Pengujian Pola dan Sifat Kristalinitas

Pengujian pola dan sifat kristalinitas bioplastik tepung porang dan bioplastik komposit tepung porang-tepung biji durian mengacu pada metode yang dideskripsikan oleh Witoyo et al. (2023) dengan modifikasi. Pola XRD dievaluasi menggunakan PANalytical X'Pert Pro dengan laju pindai sebesar 4°C min⁻¹. Sudut difraksi yang diamati berkisar 10° sampai 90°.

Pengujian Gugus Fungsi

Gugus fungsi dari bioplastik tepung porang dan bioplastik komposit tepung porang-tepung biji durian dievaluasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) (IRPrestige 21, Shimadzu, Jepang) pada bilangan gelombang 4000 – 400 cm⁻¹ dengan jumlah pindai sebesar 40 dengan resolusi sebesar 4 cm⁻¹.

Analisis Data

Data mikrostruktur, XRD, dan gugus fungsi dari bioplastik tepung porang dan bioplastik komposit berbasis tepung porang-tepung biji durian dianalisis secara deksriptif dengan membandingkan dengan penelitian terdahulu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mikrostruktur Bioplastik

Mikrostruktur bioplastik tepung porang dan bioplastik komposit berbasis tepung porang-tepung biji durian ditampilkan pada Gambar 1. Gambar 1 A1 dan A2 memperlihatkan bahwa tepung porang porang memiliki permukaan yang sangat kasar dan terlihat banyak granula glukomanan yang belum tergelatinasi secara sempurna untuk membentuk gel. Hal ini mungkin disebabkan oleh proses

pengadukan yang belum optimal selama proses sintesis bioplastik dan penggunaan konsentrasi tepung porang yang terlalu tinggi. Konsentrasi tepung porang yang terlalu tinggi menyebabkan penggumpalan semakin besar yang disebabkan terhambatnya proses gelatinisasi atau pembengkakan granula glukomanan akibat kekurangan air selama proses sintesis bioplastik. Menurut Sumarwoto (2007), glukomanan dapat membengkak sebesar 138-200% dari kondisi awal dan menghasilkan viskositas yang kental dibandingkan dengan pati yang hanya membengkak sebesar 25% dari kondisi awalnya. Hal ini disebabkan adanya sifat khas dari glukomanan yaitu hidrofilik. Fenomena seperti juga ditemukan pada bioplastik komposit dari *whey*-konjac glucomannan (Fahrullah et al., 2020; Fahrullah & Ervandi, 2022). Lebih lanjut, penampang melintang bioplastik tepung porang (Gambar 1 A3-A4) memiliki ketebalan yang sangat tipis, rata, dan tidak ada rongga udara dibandingkan dengan bioplastik komposit berbasis tepung porang-tepung biji durian (Gambar 1 B3-B4). Mikrostruktur bioplastik yang homogen dan halus tanpa retakan atau pori-pori mengindikasikan film terbentuk dengan baik dan memiliki kompatibilitas yang tinggi (Tong et al., 2020; Wu et al., 2019).

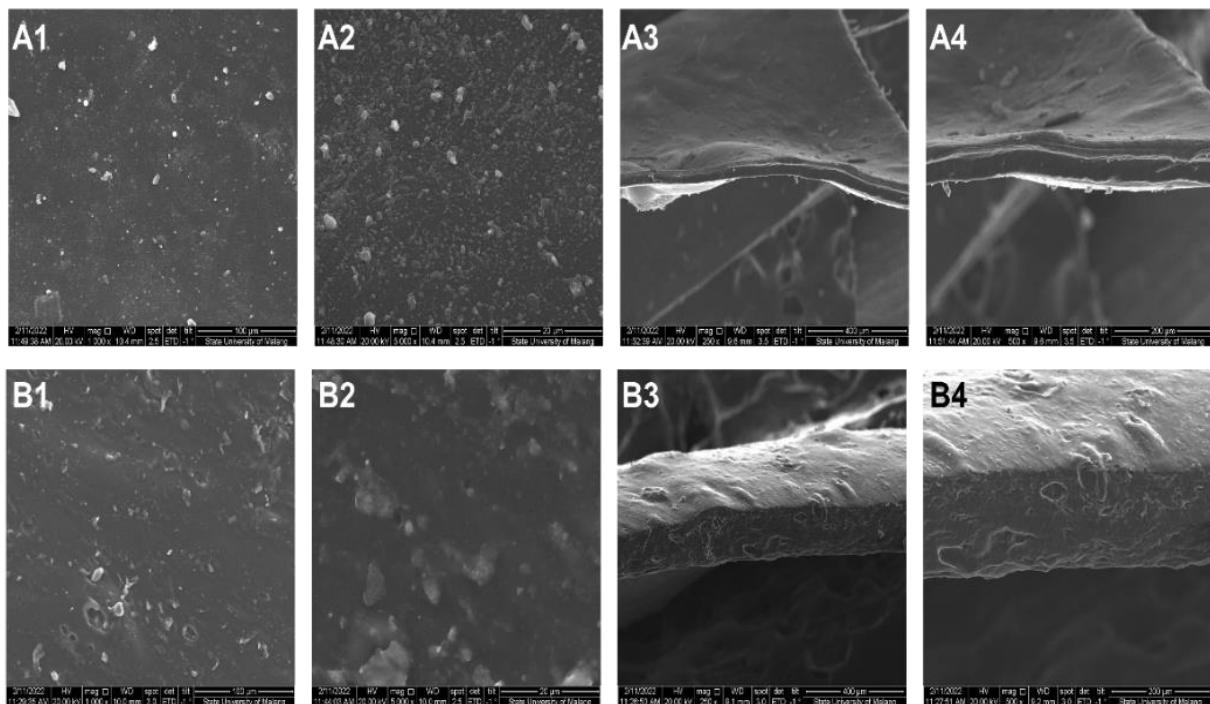
Gambar 1 B1 dan B2 memperlihatkan bioplastik komposit tepung porang-tepung biji durian memiliki permukaan yang lebih halus dibandingkan dengan penampakan bioplastik dari tepung porang (Gambar 1 A1 dan A2), walaupun masih ditemukan penggumpalan pada beberapa bagian. Namun, bioplastik komposit tepung porang-tepung biji durian

ditemukan banyak rongga dipermukaannya. Penampakan mikrostruktur yang lebih halus pada bioplastik komposit berbasis tepung porang-tepung biji durian tergelatinisasi hampir sempurna, dan kedua komponen tepung mampu berikatan satu sama lain untuk membentuk lapisan film tipis (Hadi et al., 2022). Gambar 1 B4-B5 memperlihatkan bahwa secara melintang bioplastik komposit tepung porang-tepung biji durian memiliki ketebalan lebih tebal, memiliki banyak gumpalan granula, tidak beraturan dan ditemukan beberapa rongga dibandingkan dengan bioplastik tepung porang. Hasil penelitian ini bersesuaian dengan studi yang dilaporkan oleh Khodaei et al. (2020) dan Nair & Jyothi (2013). Gumpalan granula disebabkan oleh polimer dalam matriks komposit bioplastik yang tidak menyatu dengan baik (Retnowati et al., 2015), ataupun tidak tergelatinisasi dengan sempurna, terutama komponen pati dan granula glukomanan (Fahrullah et al., 2020; Wu et al., 2019). Rongga ataupun pori yang ditemukan pada bioplastik komposit berbasis tepung porang-tepung biji durian diduga disebabkan oleh proses agregasi dan dispersi yang kurang seragam dari tepung porang-tepung biji durian selama proses sintesis matriks bioplastik, sehingga menimbulkan ketidakteraturan bentuk pada bioplastik yang dihasilkan (Lei et al., 2019). Wang et al. (2010) menyatakan bahwa elasi dan agregasi memegang peran penting dalam strukturisasi dari bahan organik, dan bergantung pada kemampuan dari biopolimer untuk berinteraksi dan membentuk struktur yang teratur.

Mikrostruktur dari bioplastik, baik bioplastik tepung porang maupun bioplastik komposit berbasis tepung porang-tepung

biji durian berkaitan erat dengan karakteristik mekanik bioplastik yang dihasilkan. Bioplastik dengan mikrostruktur kurang kompak dan berongga cenderung memiliki kuat tarik dan elongasi yang rendah sehingga bioplastik menjadi mudah untuk putus

(Fahrullah & Ervandi, 2022; Wang et al., 2010). Dias et al. (2010) menambahkan bahwa homogenitas matriks film berkorelasi positif dengan peningkatan integritas polimer dan peningkatan sifat mekanik dari film.

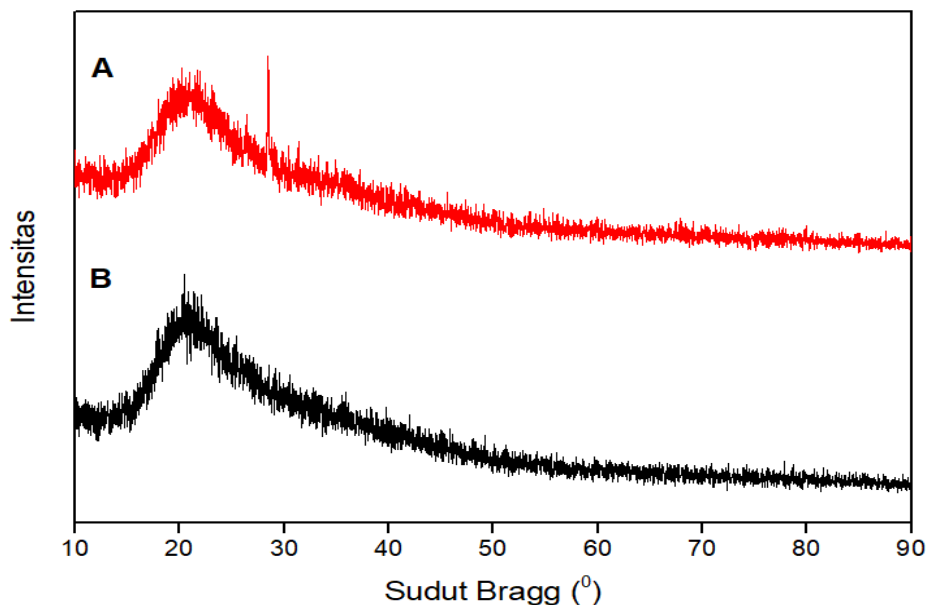


Gambar 1 Mikrostruktur bioplastik tepung porang (A) dan bioplastik tepung porang-tepung biji durian (B) pada pembesaran 1000x (1), pembesaran 5000x (2), penampang melintang 250x (3) dan penampang melintang 500x (4)

Pola dan Sifat Kristalinitas Bioplastik

Pola kristalinitas bioplastik tepung porang dan bioplastik komposit berbasis tepung porang-tepung biji durian ditampilkan pada Gambar 2. Bioplastik, baik bioplastik tepung porang dan bioplastik komposit tepung porang-tepung biji durian memiliki pola dan sifat kristalinitas hampir sama yaitu *amorf*, yang ditandai adanya puncak melebar pada sekitar sudut *bragg* sebesar 22° . Hasil ini

memiliki hasil yang sama dengan hasil penelitian yang dilaporkan oleh Kurt (2019a) dan Nair & Jyothi (2013). Menurut Nair & Jyothi (2013), bioplastik dari konjac glukomanan tidak memungkinkan memiliki struktur kristalin dikarenakan struktur utama yang kokoh (*bulky*), rigid dan rapat. Gambar 2A juga memperlihatkan adanya puncak yang tajam sudut *bragg* sebesar 27° .



Gambar 2. Pola XRD bioplastik tepung porang (A) dan bioplastik tepung porang-tepung biji durian (B)

Gugus Fungsi Bioplastik

Gugus fungsi bioplastik tepung porang dan bioplastik komposit berbasis tepung porang-tepung biji durian ditampilkan pada Gambar 3. Ikatan vibrasi O-H *stretching* pada bioplastik tepung porang ditemukan pada bilangan gelombang $3251,98\text{ cm}^{-1}$, mengindikasikan adanya ikatan intra dan intermolekuler ikatan hidrogen dari glukomanan dari tepung porang, pati dari tepung biji durian, air dan gliserol (Kurt, 2019a; Kurt & Kahyaoglu, 2014). Bioplastik komposit berbasis tepung porang-tepung biji durian memiliki ikatan vibrasi O-H yang lebih *narrow* diduga memiliki ikatan intra dan intermolekuler ikatan hidrogen dari komponen penyusun tepung porang dan tepung biji durian lebih kuat dibanding ikatan hidrogen antar penyusun tepung porang pada bioplastik tepung porang. Bilangan gelombang pada $2920,22\text{ cm}^{-1}$ dan $2852,72\text{ cm}^{-1}$ pada bioplastik tepung porang, dan bilangan gelombang pada $2924,08\text{ cm}^{-1}$ dan $2852,72\text{ cm}^{-1}$ berkaitan

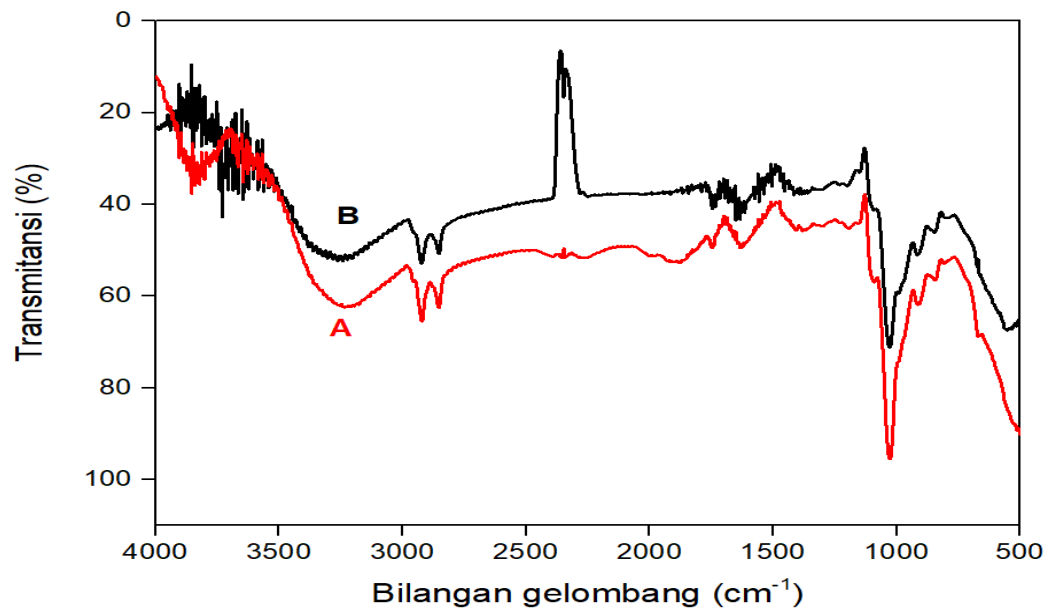
dengan adanya ikatan C-H *stretching* (Liu et al., 2020; Tong et al., 2020; Wu et al., 2019). Intensitas yang tinggi pada bilangan gelombang $2349,29\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya keberadaan gugus C=O=H pada bioplastik komposit berbasis tepung porang-tepung biji durian dan tidak ditemukan pada bioplastik tepung porang. Keberadaan gugus C=O=H disebabkan tingginya kandungan pati pada tepung biji durian yaitu sebesar 41,42% (Permatasari et al., 2022b), dan berkontribusi pada pembentukan film selama sintesis bioplastik komposit. Navasingh et al. (2023) mencatat bahwa intensitas tinggi pada kisaran bilangan gelombang 2350 and 2500 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan gugus C=O=H dan merefleksikan adanya kandungan pati beras pada sampel bioplastik.

Gugus fungsi pada bilangan gelombang 1745 cm^{-1} pada bioplastik tepung porang dan $1732,08\text{ cm}^{-1}$ dan

1737,86 cm^{-1} mengindikasikan gugus fungsi C=O *stretching* pada kedua sampel bioplastik (Kurt, 2019a; Nurliasari et al., 2024; Tong et al., 2020; Wu et al., 2019). Bilangan gelombang pada 1645,28 cm^{-1} merupakan wilayah absorpsi dari gugus fungsi C=O (Nurliasari et al., 2024; Q. Wang et al., 2022), dan ditemukan pada kedua sampel bioplastik. Lebih lanjut, bilangan gelombang pada 1091,76 cm^{-1} dan 1028,06 cm^{-1} pada kedua sampel berkaitan dengan keberadaan gugus fungsi C-O *stretch* (Nair & Jyothi, 2013), dan vibrasi dari *couple* -O-H akibat efek gaya hidrogen (Jin & Lu, 2024). Lebih lanjut, (Kurt, 2019a) menginterpretasikan bilangan gelombang pada area $\sim 1025 \text{ cm}^{-1}$ sebagai gugus C-O-C *stretching*, yang mengindikasikan ikatan hidrogen antara glukomanan dan gliserol. Pada penelitian ini diduga keberadaan gugus fungsi pada bilangan gelombang sebesar 1028,06 cm^{-1} sebagai ikatan hidrogen dari glukomanan pada tepung porang dan pati pada tepung biji durian dengan gliserol. Gambar 3 juga memperlihatkan bioplastik komposit berbasis tepung porang-tepung biji durian gugus fungsi pada bilangan gelombang

sebesar 1028,06 cm^{-1} memiliki intensitas ikatan lebih rendah dibandingkan bioplastik tepung porang. Hal ini mengindikasikan penurunan ikatan hidrogen dari bioplastik komposit berbasis tepung porang-tepung biji durian, sehingga ikatan hidrofilik dengan air lebih terbatas. Kurt (2019a) dan Saberi et al. (2017) melaporkan bahwa peningkatan ikatan hidrogen akan menurunkan hidrogen bebas dalam struktur film, yang memungkinkan ikatan hidrofilik dengan air.

Ikatan β -glukosidik dari glukomanan ditemukan pada bilangan gelombang 912,33 cm^{-1} pada bioplastik tepung porang, dan 914,25 cm^{-1} pada bioplastik komposit berbasis tepung porang-tepung biji durian. Baskaran et al. (2018) melaporkan bahwa keberadaan gugus fungsi pada bilangan gelombang $\sim 912 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan β -glukosidik antara monosakarida penyusun biopolimer. Lebih lanjut, bilangan gelombang pada 849,82 cm^{-1} untuk sampel bioplastik tepung porang, dan bilangan gelombang pada 846,75 cm^{-1} merupakan puncak ikatan manosa glukomanan dari tepung porang (Wu et al., 2012).



Gambar 3 Gugus fungsional bioplastik tepung porang (A) dan bioplastik tepung porang-tepung biji durian (B)

KESIMPULAN

Karakterisasi struktural bioplastik tepung porang dan bioplastik komposit campuran tepung porang-tepung biji durian telah berhasil dievaluasi. Bioplastik tepung porang memiliki permukaan yang lebih kasar dibandingkan dengan bioplastik komposit berbasis tepung porang-tepung biji durian. Namun, bioplastik tepung porang memiliki ketebalan yang lebih tipis dan kompak tanpa rongga dibandingkan sampel lain berdasarkan penampang melintang menggunakan SEM. Kedua bioplastik memiliki pola XRD dan sifat kristalinitas sama, yaitu *amorph*. Bioplastik tepung porang tersusun atas gugus fungsi O-H *stretching*, C-H *stretching*, C=O *stretching*, C-O *stretch*, C-O-C *stretching*, ikatan β -glukosidik dan ikatan manosa, sedangkan bioplastik komposit berbasis tepung porang-tepung biji durian tersusun atas O-H *stretching*, C-H *stretching*, C=O=H, C=O *stretching*, C-O *stretch*, C-O-C *stretching*, ikatan β -glukosidik dan ikatan manosa dengan intensitas yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Baskaran, P. G., Kathiresan, M., Senthamaikannan, P., & Saravanakumar, S. S. (2018). Characterization of new natural cellulosic fiber from the bark of *Dichrostachys cinerea*. *Journal of Natural Fibers*, 15, 62–68. <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1304314>
- Dias, A. B., Müller, C. M. O., Larotonda, F. D. S., & Laurindo, J. B. (2010). Biodegradable films based on rice starch and rice flour. *Journal of Cereal Science*, 51(2), 213–219. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.11.014>
- Díaz-Montes, E. (2022). Polysaccharides: sources, characteristics, properties, and their application in biodegradable films. *Polysaccharides*, 3, 480–501. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides3030029>
- Du, Y., Sun, J., Wang, L., Wu, C., Gong, J., Lin, L., Mu, R., & Pang, J. (2019). Development of antimicrobial packaging materials by incorporation of gallic acid into Ca²⁺ crosslinking konjac glucomannan/gellan gum films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137, 1076–1085. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.079>
- Fahrullah, F., & Ervandi, M. (2022). Karakterisasi mikrostruktur film whey dengan penambahan konjac glucomannan. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 16(3), 403–411. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v16i3.12303>
- Fahrullah, F., Radiati, L. E., Purwadi, & Rosyidi, D. (2020). The physical characteristics of whey based edible film added with konjac. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 8(1), 333–339. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.8.1.31>
- Faridah, A. (2016). Comperation of porang flour (*Amorphophallus muelleri*) purification method: conventional maceration (gradient ethanol leaching) and ultrasonic maceration method using response surface methodology. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 6(2), 265–272. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.6.2.769>
- Fitriyana, F., Qhomaruddin, Q., & Nadir, M. (2022). Aplikasi bioplastik dari tepung porang sebagai kemasan makanan. *Jurnal Teknik Kimia*

- Vokasional (JIMSI)*, 2(2), 50–58.
- Hadi, A., Nawab, A., Alam, F., & Zehra, K. (2022). Alginate/aloe vera films reinforced with tragacanth gum. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 4, 100105. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100105>
- Hermanto, M. B., Widjanarko, S. B., Suprpto, W., & Suryanto, A. (2019). The design and performance of continuous porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) flour mills. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 9(6), 2021–2027.
- Jin, Y., & Lu, Z. (2024). Preparation of carrageenan/konjac glucomannan/graphene oxide nanocomposite films with high mechanical and antistatic properties for food packaging. *Polymer Bulletin*, 81(2), 1373–1388. <https://doi.org/10.1007/s00289-023-04784-8>
- Khodaei, D., Oltrogge, K., & Hamidi-Esfahani, Z. (2020). Preparation and characterization of blended edible films manufactured using gelatin, tragacanth gum and, Persian gum. *LWT - Food Science and Technology*, 117, 108617. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108617>
- Kurt, A. (2019a). Development of a water-resistant salep glucomannan film via chemical modification. *Carbohydrate Polymers*, 213, 286–295. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.03.013>
- Kurt, A. (2019b). Rheology of film-forming solutions and physical properties of differently deacetylated salep glucomannan film. *Food and Health*, 5(3), 175–184. <https://doi.org/10.3153/fh19019>
- Kurt, A., & Kahyaoglu, T. (2014). Characterization of a new biodegradable edible film made from salep glucomannan. *Carbohydrate Polymers*, 104, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.003>
- Lei, Y., Wu, H., Jiao, C., Jiang, Y., Liu, R., Xiao, D., Lu, J., Zhang, Z., Shen, G., & Li, S. (2019). Investigation of the structural and physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of pectin-konjac glucomannan composite edible films incorporated with tea polyphenol. *Food Hydrocolloids*, 94, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.011>
- Liu, Z., Lin, D., Lopez-Sanchez, P., & Yang, X. (2020). Characterizations of bacterial cellulose nanofibers reinforced edible films based on konjac glucomannan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 145, 634–645. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.109>
- Nair, S. B., & Jyothi, A. N. (2013). Cassava starch-konjac glucomannan biodegradable blend films: In vitro study as a matrix for controlled drug delivery. *Starch/Staerke*, 65, 273–284. <https://doi.org/10.1002/star.201200070>
- Navasingh, R. J. H., Gurunathan, M. K., Nikolova, M. P., & Królczyk, J. B. (2023). Sustainable Bioplastics for Food Packaging Produced from Renewable Natural Sources. *Polymers*, 15, 3760. <https://doi.org/10.3390/polym15183760>
- Nurlatifah, I., & Amyranti, M. (2023). the utilization from glucomannan of porang flour (*Amorphophallus muelleri* Blume) as a raw material for making an edible film. *Berkala Sainstek*, 11(3), 138–144.
- Nurlela, N., Ariesta, N., Santosa, E., & Muhandri, T. (2022). Physicochemical

- properties of glucomannan isolated from fresh tubers of *Amorphophallus muelleri* Blume by a multilevel extraction method. *Food Research*, 6(4), 345–353.
- Nurliasari, D., Dewantoro, A. I., Adly, M., Lubis, R., & Kastaman, R. (2024). An evaluation on physical characteristics of konjac polysaccharides-based film coating and its application for strawberries preservation. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, November.
<https://doi.org/10.32604/jrm.2024.056475>
- Permatasari, N. D., Witoyo, J. E., Masruri, M., Yuwono, S. S., & Widjanarko, S. B. (2022a). Application of a two-level full factorial design for the synthesis of composite bioplastics from durian seed flour and yellow konjac flour incorporating ethanolic extract of *Syzygium myrtifolium* leaves and its characterization. *Nature Environment and Pollution Technology*, 21(4), 1893–1901.
<https://doi.org/10.46488/NEPT.2022.v21i04.044>
- Permatasari, N. D., Witoyo, J. E., Masruri, M., Yuwono, S. S., & Widjanarko, S. B. (2022b). Nutritional and structural properties of durian seed (*Durio zibenthinus* Murr.) flour originated from West Kalimantan, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1012, 012038.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1012/1/012038>
- Permatasari, N. D., Witoyo, J. E., Ni'maturohmah, E., Masruri, M., Yuwono, S. S., & Widjanarko, S. B. (2021). Potential of durian seed (*Durio zibenthinus* Murr.) flour as the source of eco-friendly plastics materials: a mini-review. *International Conference on Agriculture and Applied Sciences (ICoAAS) 2021*, 55–62.
<https://doi.org/10.25181/icoaas.v2i2.2483>
- Retnowati, D. S., Ratnawati, R., & Purbasari, A. (2015). A biodegradable film from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) and durian (*Durio zibenthinus*) seed flours. *Scientific Study and Research: Chemistry and Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 16(4), 395–404.
- Saberi, B., Vuong, Q. V., Chockchaisawasdee, S., Golding, J. B., Scarlett, C. J., & Stathopoulos, C. E. (2017). Physical, barrier, and antioxidant properties of pea starch-guar gum biocomposite edible films by incorporation of natural plant extracts. *Food and Bioprocess Technology*, 10, 2240–2250.
<https://doi.org/10.1007/s11947-017-1995-z>
- Selvamurugan, M., & Sivakumar, P. (2019). Bioplastics – an eco-friendly alternative to petrochemical plastics. *Current World Environment*, 14(1), 49–59.
<https://doi.org/10.12944/cwe.14.1.07>
- Shafqat, A., Tahir, A., Mahmood, A., Tabinda, A. B., Yasar, A., & Pugazhendhi, A. (2020). A review on environmental significance carbon foot prints of starch based bio-plastic: A substitute of conventional plastics. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 27, 101540.
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101540>
- Shamsuddin, I. M., Jafar, J. A., Shawai, A. S. A., Yusuf, S., Lateefah, M., & Aminu, I. (2017). Bioplastics as better alternative to petroplastics and their role in national sustainability: a review. *Advances in Bioscience and Bioengineering*, 5(4), 63–70.
<https://doi.org/10.11648/j.abb.20170504.13>
- Strnad, S., Oberhollenzer, Z., Sauperl, O.,

- Kreze, T., & Zemljic, L. F. (2019). Modifying properties of feather keratin bioplastic films using konjac glucomannan. *Cellulose Chemistry and Technology*, 53(9), 1017–1027. <https://doi.org/10.35812/CelluloseChemTechnol.2019.53.100>
- Sulton, A. F., Mawarani, L. J., & Budiono, A. (2014). Pengaruh penambahan alkali terhadap karakteristik bioplastik tepung porang-cassava. *Jurnal Teknik ITS*, 3(2), A163–A168.
- Sumarwoto. (2007). Review : constituen of mannan of iles-iles (*Amorphophallus muelleri* Blume.). *Bioteknologi*, 4(1), 28–32.
- Thakur, R., Pristijono, P., Scarlett, C. J., Bowyer, M., Singh, S. P., & Vuong, Q. V. (2019). Starch-based films: Major factors affecting their properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 1079–1089. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.190>
- Tong, C., Wu, Z., Sun, J., Lin, L., Wang, L., Guo, Y., Huang, Z., Wu, C., & Pang, J. (2020). Effect of carboxylation cellulose nanocrystal and grape peel extracts on the physical, mechanical and antioxidant properties of konjac glucomannan films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 156, 874–884. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.051>
- Wang, L., Auty, M. A. E., & Kerry, J. P. (2010). Physical assessment of composite biodegradable films manufactured using whey protein isolate, gelatin and sodium alginate. *Journal of Food Engineering*, 96(2), 199–207. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.07.025>
- Wang, L., Mu, R., Li, Y., Lin, L., Lin, Z., & Pang, J. (2019). Characterization and antibacterial activity evaluation of curcumin loaded konjac glucomannan and zein nano fibril films. *LWT - Food Science and Technology*, 113, 108293. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108293>
- Wang, Q., Song, Y., Sun, J., & Jiang, G. (2022). A novel functionalized food packaging film with microwave-modified konjac glucomannan/chitosan/citric acid incorporated with antioxidant of bamboo leaves. *LWT*, 166, 113780. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113780>
- Witoyo, J. E., Argo, B. D., Yuwono, S. S., & Widjanarko, S. B. (2022). Optimization of fast maceration extraction of polished yellow konjac (*Amorphophallus muelleri* Blume) flour by Box-Behnken response surface methodology. *Food Research*, 6(5), 144–153. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(5\).455](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(5).455)
- Witoyo, J. E., Argo, B. D., Yuwono, S. S., & Widjanarko, S. B. (2023). The response surface methodology approach successfully optimizes a dry milling process of porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) flour production that uses micro mill-assisted by cyclone separator. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 25(1), 176–190.
- Wu, C., Li, Y., Du, Y., Wang, L., Tong, C., Hu, Y., Pang, J., & Yan, Z. (2019). Preparation and characterization of konjac glucomannan-based bionanocomposite film for active food packaging. *Food Hydrocolloids*, 89, 682–690. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.001>
- Wu, C., Peng, S., Wen, C., Wang, X., Fan, L., Deng, R., & Pang, J. (2012). Structural characterization and properties of konjac glucomannan/curdlan blend films.

- Carbohydrate Polymers*, 89(2), 497–503.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.03.034>
- Yanuriati, A., Marseno, D. W., Rochmadi, & Harmayani, E. (2017). Characteristics of glucomannan isolated from fresh tuber of Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume). *Carbohydrate Polymers*, 156, 56–63.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.08.080>
- Zhang, W., & Rhim, J. W. (2022). Recent progress in konjac glucomannan-based active food packaging films and property enhancement strategies. *Food Hydrocolloids*, 128, 107572.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107572>