



# Peningkatan Biodegradabilitas dan Penyerapan Air Akibat Penambahan Mikroselulosa Hasil Isolasi Tandan Kosong Kelapa Sawit dalam Bioplastik

Berlian Sitorus<sup>1\*</sup>, Icha Novianti<sup>2</sup>, Adhitiyawarman<sup>3</sup>, Antonius<sup>4</sup> 

<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Kimia, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received September 21, 2022

Revised September 24, 2022

Accepted April 30, 2023

Available online July 25, 2023

### Kata Kunci:

Bioplastik, mikroselulosa, tandan kosong kelapa sawit, uji biodegradabilitas, uji mekanik

### Keywords:

Bioplastic, biodegradability test, cellulose, mechanical test, oil palm empty fruit bunch



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

## ABSTRAK

Bioplastik adalah jenis bahan yang cakupannya luas, meliputi plastik berbasis bio (bio-based) tetapi tidak harus biodegradabel ataupun plastik berbahan dasar petrokimia dan bio yang dianggap bersifat biodegradable. Penggunaan bioplastik diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan yang diakibatkan sampah plastik konvensional. Namun seringkali sifat fisik dari bioplastik belum sesuai dengan yang diinginkan, sehingga perlu ditingkatkan, misalnya dalam hal kekuatan mekanik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan mikroselulosa hasil isolasi dari tandan kosong kelapa sawit terhadap sifat bioplastik komposit dari PVA-selulosa-asam sitrat-pati-glislerol. Adapun tahapan metode yang dilakukan: preparasi serat, delignifikasi, hidrolisis asam, pembuatan *film* tipis bioplastik, serta karakterisasi mikroselulosa dan plastik yang dihasilkan. Mikroselulosa hasil isolasi memiliki derajat kristalinitas 39% dan diameter serat  $\pm 8,5 \mu\text{m}$ . Bioplastik dengan lima variasi penambahan massa mikroselulosa: masing-masing diuji kekuatan mekanik, biodegradabilitas dengan metode *soil burial test*, dan penyerapan air. Hasil pengujian menunjukkan pengaruh penambahan mikroselulosa terhadap bioplastik, yaitu dalam hal peningkatan kekuatan tarik dari bioplastik menjadi 7 - 8 MPa dan persen elongasi 10-16%. Biodegradabilitas dan penyerapan air dari bioplastik semakin tinggi seiring dengan penambahan jumlah mikroselulosa dalam bioplastik.

## ABSTRACT

Bioplastics are a wide range of materials, including bio-based plastics but not necessarily biodegradable or petrochemical and bio-based plastics which are considered biodegradable. The use of bioplastic is expected to reduce the use of conventional plastics and environmental pollution due to plastic waste. However, mostly the physical properties of bioplastics need to be improved, for example, its mechanical strength. This study aims to determine the effect of the amount of microcellulose isolated from oil palm empty fruit bunches added to the bioplastic properties of composites of PVA-cellulose-citric acid-starch-glycerol. The methods used consisted of several steps: fiber preparation, delignification, acid hydrolysis, casting bioplastic thin films, and characterization for microcellulose and bioplastics. The isolated microcellulose had a degree of crystallinity of 39% and a fiber diameter of  $\pm 8.5 \mu\text{m}$ . Bioplastics made with five mass variations of micro cellulose added were tested in terms of mechanical, biodegradability by soil burial test method, and water absorption. The results of the tensile strength test of bioplastics show that the addition of cellulose increased the tensile strength up to 7 - 8 MPa and the percent elongation was 10 - 16%. Based on the biodegradability and water absorption test, it was concluded that the higher the cellulose content in the bioplastic, the higher the biodegradability and water absorption ability of the bioplastic. The biodegradability and water absorption of bioplastics also increase as more microcellulose is used in the bioplastics.

## 1. PENDAHULUAN

Pencemaran akibat sampah plastik saat ini telah menjadi masalah utama dunia, seperti yang disebutkan dalam deklarasi *United Nation Environmental Assembly* (Perrez, 2020). Sifat dari plastik konvensional yang tidak dapat didegradasi (*nondegradable*) selama puluhan sampai ratusan tahun telah menjadi penyebab meningkatnya penumpukan sampah plastik. Pada tahun 2025, diperkirakan sekitar 11 miliar ton plastik akan terakumulasi di tempat pembuangan sampah dan lingkungan alam dan menyebabkan pencemaran lingkungan yang parah (Brahney et al., 2020). Data Badan Pusat Statistik (BPS) 2021 menyebutkan limbah plastik Indonesia mencapai 66 juta ton per tahun dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) di tahun 2018 memperkirakan sekitar 0,26-0,59 juta ton plastik mengalir ke laut karena sifatnya yang ringan sehingga mudah terbawa oleh air dan angin (Moenawar, 2019). Bioplastik adalah jenis bahan yang cakupannya luas, meliputi plastik berbasis bio (*bio-based*) tetapi tidak

\*Corresponding author.

E-mail addresses: [berlian.sitorus@chemistry.untan.ac.id](mailto:berlian.sitorus@chemistry.untan.ac.id) (Berlian Sitorus)

harus biodegradabel ataupun plastik berbahan dasar petrokimia dan bio yang dianggap bersifat biodegradabel (Lambert & Wagner, 2017). Bioplastik telah diusulkan untuk menggantikan plastik konvensional yang berbahan baku petrokimia yang tidak biodegradabel untuk mengatasi krisis yang diakibatkan oleh plastik konvensional tersebut (Zhu et al., 2016). Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan produk samping berupa padatan dari industri pengolahan kelapa sawit yang banyak ditemukan di Indonesia namun belum digunakan secara optimal. Laju perkembangan industri kelapa sawit yang semakin pesat membutuhkan perhatian yang besar terutama dampak dari jumlahnya yang besar terhadap lingkungan sekitarnya, membuat TKKS akan menjadi masalah serius jika tidak ditangani. TKKS lebih banyak dibakar, dibuang di tempat pembuangan sampah ataupun dikomposkan menjadi pupuk organik, dan masih sedikit dimanfaatkan sesuai dengan kandungan kimia di dalamnya. Kandungan selulosa yang cukup tinggi dalam TKKS, yakni  $\pm 36\%$ , membuat TKKS dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan bioplastic (Isroi et al., 2017). Selulosa dari TKKS dapat diisolasi hingga menjadi mikropartikel kristalin yang mencapai ukuran mikro (mikroselulosa). Ekstraksi mikroselulosa dari berbagai macam varietas pertanian yang mengandung lignoselulosa telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Hasil isolasi mikroselulosa dari daun kelapa sawit dan menghasilkan mikroselulosa dengan luas permukaan  $5,6 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , yang lebih tinggi dibandingkan dengan selulosa asal, yakni  $2 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  (Hussin et al., 2016). Pemanfaatan TKKS sebagai sumber untuk mendapatkan mikroselulosa juga telah dilaporkan oleh penelitian lain, namun umumnya melalui hidrolisis menggunakan asam kuat dengan konsentrasi tinggi. Contohnya, terdapat penelitian terdahulu yang menggunakan asam sulfat dengan konsentrasi 55% untuk mengisolasi mikroselulosa dari batang pohon palem yang memperoleh indeks kristalinitas tinggi sebesar 82,2% (Xiang et al., 2016).

Hidrolisis TKKS dengan asam sulfat konsentrasi 64% menghasilkan MCC dengan index kristalinitas 58% (Ching & Ng, 2014). Peneliti lain mengisolasi mikroselulosa dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  konsentrasi 45, 55 dan 65% dan memperoleh mikroselulosa dengan kristalinitas tertinggi menggunakan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  konsentrasi 55% (Pujiasih et al., 2018). Penambahan mikroselulosa ke dalam bahan baku dalam pembuatan bioplastik sebagai penguat telah dilaporkan dapat mengatasi kekurangan dari sifat mekanik bioplastik yang sudah ada. Sebagai contoh adalah mikroselulosa bakteri sebagai penguat pada komposit bioplastik untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik plastik (Maryam et al., 2019), mikroselulosa sebagai penguat dalam komposit poliasam laktat (Khaw et al., 2019). Pada penelitian ini mikroselulosa diisolasi dari serat TKKS dan digunakan sebagai bahan aditif dalam menghasilkan bioplastik dan selanjutnya dilakukan karakterisasi dan pengujian. Proses isolasi mikroselulosa dilakukan menggunakan asam klorida dalam hidrolisis asam, dan mikroselulosa yang diperoleh dicampurkan dengan bahan lain untuk pembuatan bioplastik yang dicetak sebagai *film* tipis melalui metode *casting*. Secara khusus dilakukan penambahan mikroselulosa dalam jumlah yang bervariasi ke dalam campuran bahan pembuatan bioplastik, untuk mempelajari pengaruh jumlah mikroselulosa terhadap sifat bioplastik yang diperoleh. Keterbaruan dalam penelitian ini adalah pada cara isolasi selulosa dari TKKS yang dilakukan dalam kondisi tekanan dan temperatur yang tidak tinggi. Jika dibandingkan dengan yang dilaporkan oleh peneliti lain, dengan sumber selulosa yang sama yaitu dari TKKS namun memerlukan tekanan tinggi, dan NaOCl dalam konsentrasi yang lebih tinggi, misalnya oleh (Isroi et al., 2017). Selain itu, hidrolisis dilakukan menggunakan asam dengan konsentrasi yang rendah, yaitu HCl 0,1 M, sedangkan umumnya hidrolisis pada ekstraksi mikroselulosa dilakukan menggunakan asam dengan konsentrasi tinggi (Ching & Ng, 2014; Pujiasih et al., 2018; Xiang et al., 2016).

## 2. METODE

Proses isolasi selulosa dari TKKS diawali dengan delignifikasi menggunakan 1 L campuran larutan  $\text{HNO}_3$  3,5% dan 10 mg  $\text{NaNO}_2$  ke dalam 75 g serbuk TKKS. Proses delignifikasi dilakukan dengan pemanasan pada temperatur  $90^\circ\text{C}$  selama 2 jam yang kemudian disaring, dan residu dicuci menggunakan akuades sampai pH filtrat netral. Residu tersebut selanjutnya didelignifikasi kembali menggunakan 750 mL larutan NaOH 2% dan  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  2% dengan temperatur  $50^\circ\text{C}$  selama 1 jam. Campuran ini kemudian disaring dan residu dicuci menggunakan akuades sampai pH filtrat netral. Proses delignifikasi dilanjutkan dengan *bleaching* (pemutihan) menggunakan NaOCl 1,75% pada temperatur  $70^\circ\text{C}$  selama 30 menit. Selulosa yang diperoleh kemudian disaring dan dicuci menggunakan akuades sampai pH filtrat netral.

Selulosa hasil isolasi dari TKKS dicampurkan ke dalam 500 mL larutan NaOH 17,5% pada temperatur  $80^\circ\text{C}$  selama 30 menit. Selulosa yang telah murni kemudian dibleaching dengan  $\text{H}_2\text{O}_2$  10% pada temperatur  $60^\circ\text{C}$ . Selanjutnya disaring dan dicuci menggunakan akuades sampai pH filtrat netral, dan dikeringkan pada temperatur  $60^\circ\text{C}$ . Proses dilanjutkan dengan hidrolisis 12,5 g selulosa menggunakan 2 mL HCl 0,1 M pada temperatur  $55^\circ\text{C}$  selama 1 jam. Selulosa hasil hidrolisis didinginkan dan ditambahkan 25 mL akuades yang selanjutnya didiamkan satu malam sampai terbentuk suspensi.

Selulosa tersuspensi kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 3000 rpm selama 20 menit, sehingga diperoleh mikroselulosa yang kemudian dianalisis gugus fungsi (FTIR), kristalinitas (XRD) dan morfologi dengan *scanning electron microscope* (SEM). Untuk membuat bioplastik, sejumlah 2,5 g PVA dilarutkan dalam 25 mL akuades pada temperatur 90°C sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Pada gelas *beaker* yang berbeda, pati-asam sitrat-gliserol dicampur dan dilarutkan juga dalam aquadest. Campuran tersebut kemudian ditambahkan ke dalam larutan PVA dan diaduk selama ± 10 menit untuk memulai terjadinya *crosslinking*. Mikroselulosa hasil isolasi selanjutnya ditambahkan ke dalam campuran PVA-pati-asam sitrat-gliserol dan diaduk selama 50 menit sehingga diperoleh larutan yang kental. Campuran dituang dengan metode *casting* ke atas permukaan kaca akrilik untuk mendapatkan lapisan *film* berukuran 20 x 25 cm dan ketebalan ± 0,23 mm, dikeringkan dalam oven temperatur 50°C selama 12 jam kemudian dikeringkan selama 72 jam sehingga diperoleh *film* bioplastik (Maryam et al., 2019).

**Tabel 1. Variasi Massa Komponen Pembuatan Bioplastik**

Variasi Bioplastik	Massa Selulosa (g)	Pati (g)	Asam Sitrat (g)	PVA (g)	Gliserol (mL)
BP1	0	2,5	1,25	2,5	1
BP2	0,25	2,5	1,25	2,5	1
BP3	0,50	2,5	1,25	2,5	1
BP4	0,75	2,5	1,25	2,5	1
BP5	1,00	2,5	1,25	2,5	1

Bioplastik yang dianalisis adalah bioplastik yang dibuat dengan lima variasi penambahan jumlah mikroselulosa ke dalam campuran selulosa-pati-asam-PVA-gliserol, dan diberikan label seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Sifat bioplastik yang dihasilkan dianalisis melalui uji sifat mekanik, biodegradabilitas dan penyerapan air, selain morfologi dan kristalinitasnya. Uji sifat mekanik dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* berdasarkan pada ASTM D638 (*Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic*). Tegangan, regangan, modulus elastisitas (Young) dan persentase elongasi *film* bioplastik yang dibuat dari bahan aditif selulosa TKKS dihitung berdasarkan persamaan (1) – (4).

$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{F_{\max}}{\text{Luas Area Bioplastik}} \quad (1)$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = \frac{\text{Panjang bioplastik setelah ditarik} - \text{Panjang bioplastik sebelum ditarik}}{\text{Panjang bioplastik sebelum ditarik}} \quad (2)$$

$$\text{Modulus Elastisitas } (E) = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (3)$$

$$\text{Persentase Elongasi } (E) = \epsilon \times 100\% \quad (4)$$

Uji biodegradabilitas dan penyerapan air dilakukan dengan memotong bioplastik menjadi ukuran 2 x 2 cm yang kemudian ditimbang sampai diperoleh massa konstan (MB<sub>0</sub>). Uji biodegradabilitas dilakukan dengan menanam bioplastik tersebut ke dalam tanah dan diamati setiap tujuh hari selama 8 minggu. Setiap minggu, masing-masing variasi bioplastik dibersihkan dan ditimbang sehingga diperoleh massa konstan (MB<sub>1</sub>). Persentase kehilangan massa bioplastik dihitung berdasarkan Persamaan (5). Uji penyerapan air dilakukan dengan merendam bioplastik yang telah dipotong sebelumnya ke dalam wadah berisi akuades selama 24 jam dan ditimbang. Bioplastik tersebut kemudian direndam kembali ke dalam akuades selama 10 detik dan ditimbang kembali (MB<sub>2</sub>). Persentase penyerapan air dihitung menggunakan Persamaan (6).

$$\text{Persentase Kehilangan Massa} = \frac{MB_0 - MB_1}{MB_0} \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{Persentase Penyerapan Air} = \frac{MB_2 - MB_0}{MB_0} \times 100\% \quad (6)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil

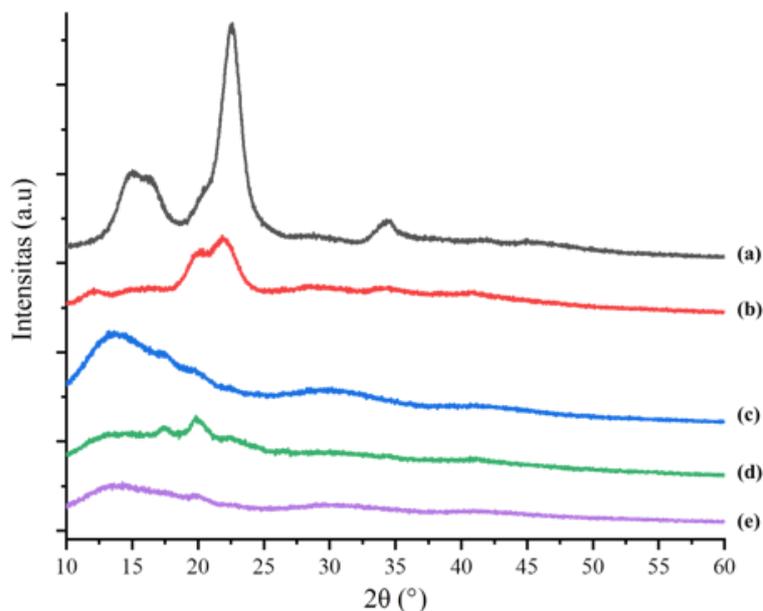
Uji mekanik dilakukan untuk mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tarikan, disebut juga sebagai kekuatan tarik, dan untuk mengetahui sejauh mana material tersebut bertambah panjang atau persen elongasi. Perubahan nilai kekuatan tarik bioplastik terhadap massa mikroselulosa dari TKKS dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Analisis Kuat Tarik dan Elongasi Bioplastik

Variasi Bioplastik	Kuat Tarik (MPa)	Elongasi (%)
BP1	7,0	6,7
BP2	7,4	9,3
BP3	8,0	10,0
BP4	7,9	11,6
BP5	7,7	16,0

Perubahan nilai kuat tarik yang tidak selalu meningkat dengan meningkatnya jumlah selulosa dalam bioplastik seperti yang ditunjukkan oleh bioplastik pada studi ini kemungkinan disebabkan oleh terjadinya flokulasi serat selulosa dalam bioplastik. Hal yang serupa juga dilaporkan oleh (Sun et al., 2014) pada pembuatan komposit PVA dengan selulosa mikrokristalin hasil yang berasal dari limbah kain katun, dimana kekuatan tarik tidak meningkat atau kadang-kadang menurun walaupun jumlah mikroselulosa yang ditambahkan meningkat.

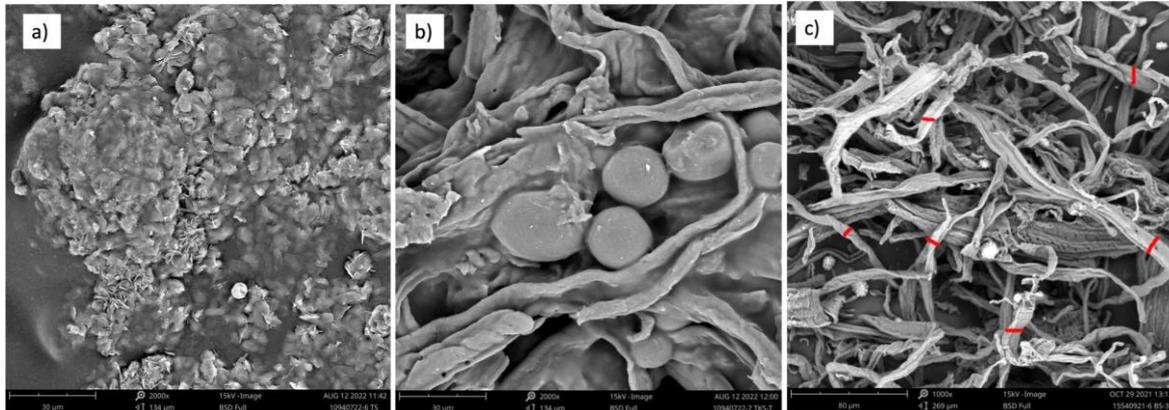
Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk mengetahui kristalinitas mikroselulosa serat TKKS. Difraksi sinar X dapat memberikan informasi keadaan amorf dan kristalin mikroselulosa. Sebagai pembanding, analisis dengan XRD dilakukan juga terhadap mikroselulosa komersial, dan tiga variasi bioplastik, yaitu bioplastik tanpa penambahan mikroselulosa (BP1) dibandingkan dengan bioplastik dengan jumlah mikroselulosa terendah, 0,25 g (BP2) dan bioplastik dengan jumlah mikroselulosa tertinggi (BP5) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Hasil Analisis XRD dari (a) Mikroselulosa Komersial, (b) Mikroselulosa Hasil Hidrolisis, (c) Bioplastik Tanpa Mikroselulosa (BP1), (d) Bioplastik dengan Mikroselulosa 0,25 g (BP2), dan (e) Bioplastik dengan Mikroselulosa 1 g (BP5)

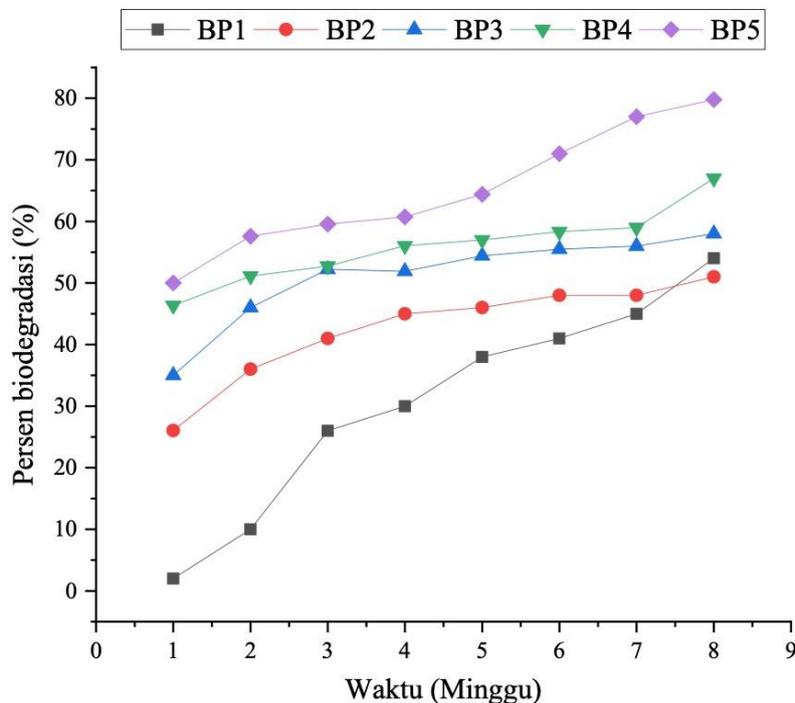
Morfologi permukaan dari mikroselulosa maupun bioplastik diperoleh dari mikrograf yang dihasilkan oleh *Scanning Electron Microscopy* (SEM), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2 (a), terlihat permukaan bioplastik yang terlihat tidak rata. Selain itu, terdapat bagian dari bioplastik yang menggumpal dan ada benang-benang fibril dari selulosa yang berasal dari TKKS. Keadaan tersebut dapat disebabkan karena antara matriks pati dengan serat selulosa kurang homogen. Kurangnya homogenitas dari bioplastik akan menyebabkan melemahnya ikatan antar muka

dari permukaan serat dengan matriks dan berpotensi menurunkan sifat mekanik bioplastik. Berdasarkan Gambar 2 (b), dapat dilihat permukaan bioplastik terdapat untaian serat panjang. Hal ini menunjukkan mikroselulosa dari TKKS telah berhasil dimasukkan ke dalam bioplastik.



Gambar 2. Morfologi Permukaan dari: a) Bioplastik BP1; b) Bioplastik BP5 ; c) Mikroselulosa dari TKKS

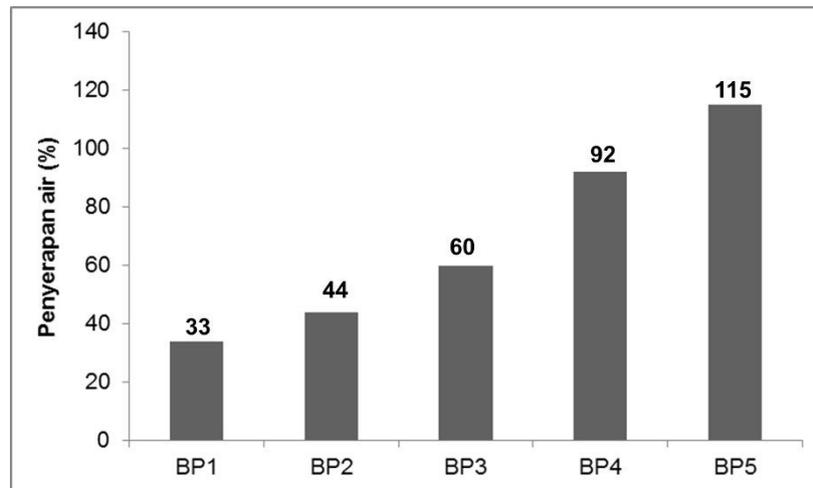
Uji biodegradasi bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat plastik *biodegradable* terdegradasi oleh mikroorganisme di suatu lingkungan. Media yang digunakan adalah tanah kompos karena di dalam tanah kompos terdapat banyak jenis mikroorganisme (jamur, bakteri maupun alga) dalam jumlah yang banyak, sehingga akan menunjang proses degradasi yang dilakukan (Haryati et al., 2017). Hasil uji biodegradasi dari kelima variasi bioplastik berupa persentase pengurangan berat bioplastik setelah dikubur dalam tanah per minggu, dengan total waktu percobaan selama delapan minggu dapat dilihat pada Gambar 3. Terlihat bahwa dalam jangka waktu delapan minggu bioplastik tanpa mikroselulosa (BP1) mampu terurai sebesar 47%, dan semakin tinggi kandungan mikroselulosa dalam bioplastik, semakin tinggi juga persen biodegradasi plastik tersebut.



Gambar 3. Persentase Penurunan Berat Sampel Bioplastik per Minggu

Uji penyerapan air bertujuan untuk mengetahui ketahanan bioplastik terhadap air dengan melihat seberapa besar air yang diserap sampel bioplastik. Adapun uji penyerapan air mengacu pada standar ASTM-D570-98. Semakin tinggi nilai penyerapan air pada *film* plastik menunjukkan ketahanan

plastik tersebut terhadap air berkurang. **Gambar 4** menunjukkan kemampuan penyerapan air dari lima variasi bioplastik : BP1, BP2, BP3, BP4 dan BP5.



**Gambar 4.** Uji Penyerapan Air Bioplastik dengan Lima Variasi Massa Mikroselulosa

### Pembahasan

Isolasi mikroselulosa dilakukan dengan metode delignifikasi dengan mencampurkan  $\text{HNO}_3$  dan  $\text{NaNO}_2$  ke dalam serbuk serat TKKS dengan pemanasan. Proses *bleaching* bertujuan untuk membuat warna selulosa menjadi lebih putih. Penambahan larutan  $\text{NaOH}$  pada proses *bleaching* berfungsi untuk menciptakan suasana basa pada selulosa sehingga mencegah terjadinya degradasi. Selain itu, proses *bleaching* menggunakan  $\text{NaOCl}$  dapat mendegradasi lignin yang ada pada serat TKKS (Effendi et al., 2018). Selulosa TKKS hasil *bleaching* menggunakan  $\text{NaOCl}$  1,75% menghasilkan warna selulosa yang putih, namun selulosa hasil isolasi tersebut masih terdapat selulosa- $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$ . Oleh karena itu, dilakukan pemisahan  $\alpha$ -selulosa dari  $\beta$ , dan  $\gamma$ -selulosa menggunakan larutan  $\text{NaOH}$  17,5%. Konsentrasi  $\text{NaOH}$  tersebut dapat melarutkan  $\beta$  dan  $\gamma$ -selulosa, namun tidak untuk  $\alpha$ -selulosa sehingga akan membentuk endapan (Rahmah Harun, 2020).  $\alpha$ -selulosa yang diperoleh kemudian dihidrolisis menggunakan asam klorida ( $\text{HCl}$ ) untuk memotong rantai hemiselulosa, lignin dan zat pengotor yang masih terdapat pada selulosa. Proses hidrolisis dilanjutkan dengan sentrifugasi 3000 rpm selama 20 menit untuk memisahkan sisa asam dengan *pulp* selulosa. Hasil SEM menunjukkan mikroselulosa hasil hidrolisis memiliki bentuk untaian serat panjang yang tidak beraturan dengan diameter rerata  $\pm 8,54 \mu\text{m}$ . Penelitian terdahulu telah mengisolasi dan mengkarakterisasi selulosa- $\alpha$  dari jerami padi dengan diameter 5-10  $\mu\text{m}$  (Rivai et al., 2018). Seperti halnya pada penelitian ini, hasil dari penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa interkoneksi antara fibril masih terjadi. Hal tersebut dapat disebabkan oleh proses hidrolisis asam yang belum dapat sepenuhnya memotong bagian-bagian selulosa menjadi ukuran yang lebih kecil. **Gambar 1** menunjukkan bahwa mikroselulosa TKKS dan mikroselulosa komersial bersifat semikristalin.

Salah satu puncak dengan intensitas yang cukup tinggi pada difraktogram XRD selulosa TKKS yaitu pada  $2\theta = 22-23^\circ$ . Hal ini sesuai dengan puncak terkuat pada mikroselulosa yaitu  $22,7^\circ$  (Ciolacu et al., 2011). Perbedaan terlihat pada difraksi mikroselulosa komersial (**Gambar 1a**), yang memiliki puncak pada nilai  $2\theta = 15^\circ$  dan  $22^\circ$  sedangkan pada pola difraksi kristalin mikroselulosa dari TKKS **Gambar 1(b)** didapatkan nilai  $2\theta = 12,09^\circ$ ;  $22-23^\circ$ . Puncak difraksi yang didapatkan pola kisi kristal dari mikroselulosa yaitu pada  $2\theta = 12,09^\circ$ ;  $21,99^\circ$ . Hasil perhitungan menggunakan metode ketinggian puncak diperoleh indeks kristalinitas (*Cristallinity Index*: CI) mikroselulosa dari TKKS adalah sebesar 39%, sedangkan mikroselulosa komersial mempunyai derajat kristalinitas sebesar 73%. Pola difraksi XRD yang dihasilkan dari mikroselulosa yang berasal dari TKKS serta mikroselulosa komersial menunjukkan mikroselulosa yang didapatkan bersifat semikristalin (Abral et al., 2021; Razali et al., 2017). Berdasarkan hasil perhitungan indeks kristalinitas BP1, BP2 dan BP5 secara berurutan diperoleh 26, 24 serta 16%. Hal ini menunjukkan semakin banyak massa selulosa yang dimasukkan ke dalam bioplastik dapat mengurangi kristalinitas dari bioplastik yang dihasilkan. Hasil kuat tarik bioplastik yang diperoleh paling tinggi yaitu 8 MPa pada konsentrasi penambahan mikroselulosa sebanyak 0,5 gram (BP3), sedangkan nilai kuat tarik yang paling rendah yaitu 7 MPa pada BP1 yakni bioplastik tanpa penambahan mikroselulosa. Material dapat dikatakan memenuhi sifat mekanik golongan *moderate properties* jika memiliki nilai kuat tarik dalam rentang 10-100 MPa dan persen elongasi sekitar 10-20 % (Purwanti, 2010). Dari hasil kedua uji, dapat disimpulkan bahwa hampir seluruh variasi selain BP2, telah memenuhi sifat *moderate properties*

dalam hal persen elongasi, yaitu 10-16 MPa. Komposisi yang memberikan hasil uji tarik terbesar adalah bioplastik BP3 dengan kandungan 0,5 gram mikroselulosa yaitu 8,0 MPa, sedangkan elongasi terbesar dimiliki oleh BP5 (1 gram mikroselulosa). Persentase penguraian bioplastik terkecil terdapat pada bioplastik dengan massa mikroselulosa 0,25 g (BP2) yaitu sebesar (47%) dan nilai persentase tertinggi terdapat pada plastik yang mengandung 1 gram mikroselulosa (BP5) yaitu sebesar (80%). Hal ini menunjukkan bahwa selulosa memiliki sifat lebih mudah terdegradasi akibat adanya campuran yang dapat terdegradasi di dalam tanah. Akan tetapi dari segi bentuk atau fisik pada *film* bioplastik sudah mengalami perubahan seperti retak, kasar, ditumbuhi jamur dan tampak tanah yang bisa masuk kedalam rongga-rongga bioplastik. Setelah uji biodegradabilitas maka bioplastik berlubang yang akan berpengaruh pada matriks polimer dan mengakibatkan bioplastik menjadi rapuh (Khoramnejadian, 2011). Hal ini akan menyebabkan gaya antar polimer yang terbentuk melemah. Pengurangan massa pada bioplastik disebabkan komposisi bioplastik adalah bahan alam yang mudah terurai. Laju degradasi pada bioplastik yang cepat juga disebabkan karena adanya bantuan aktivitas mikroorganisme (bakteri) yang terdapat dalam media tanah. Berdasarkan standar mutu bioplastik untuk biodegradasi yaitu 100% dalam waktu 60 hari (Haryati et al., 2017). Persentase kehilangan massa dari bioplastik yang tertinggi dimiliki oleh BP5, yakni sebesar 80% pada hari ke-56. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan mikroselulosa sebanyak 1 gram membuat *film* plastik lebih mudah terdegradasi di dalam tanah dibandingkan variasi lainnya.

Hasil uji biodegradasi yang dilakukan oleh penelitian terdahulu terhadap bioplastik berbahan dasar pati dari ubi dengan penambahan , dengan pengujian selama 21 hari, seperti yang diharapkan juga menunjukkan bahwa plastik yang mempunyai konsentrasi selulosa mikrokristalin yang tinggi mempunyai kecepatan degradasi yang lebih tinggi juga (Abdullah et al., 2020). Bioplastik tertutup lebih dari 60% dalam 21 hari pengujian, yang ditunjukkan oleh pertumbuhan mikroba yang tinggi pada bioplastik. Demikian juga dengan kesimpulan hasil penelitian bahwa bioplastik dengan kadar selulosa mikrokristalin yang tinggi, mengalami degradasi yang lebih cepat terjadi (Dawam Abdu et al., 2018). Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh peningkatan sumber karbon dalam bioplastik ketika mikroselulosa ditambahkan ke dalamnya sehingga memicu peningkatan laju biodegradasi. Peningkatan persentase kadar air dari yang tertinggi hingga terendah dapat disusun berdasarkan rasio mikroselulosa pada sampel BP5, (115%) > BP4 (92%) > BP3 (60%) > BP2 (44%) dan BP1, bioplastik tanpa mikroselulosa 33%. Terlihat bahwa persentase kadar air tertinggi dimiliki oleh bioplastik dengan massa mikroselulosa tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kadar air menurun seiring dengan penurunan konsentrasi mikroselulosa dalam bioplastik. Hal tersebut diperkuat oleh penelitian yang menunjukkan nilai ketahanan air tertinggi sebesar 63,2% diperoleh pada bioplastik dengan konsentrasi 0% senyawa *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) (Erni Puryati et al., 2019). Hal tersebut menjelaskan bahwa dengan meningkatnya konsentrasi CMC yang ditambahkan pada *film*, maka *film* tersebut akan lebih mudah menyerap air sehingga menyebabkan plastik mudah rusak atau rapuh. Jika dibandingkan dengan standar ASTM Internasional untuk plastik konvensional, maka nilai serapan air dari bioplastik yang dihasilkan masih sangat tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa ketahanan terhadap airnya masih rendah jika dibandingkan dengan plastik sintetik komersial.

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa isolasi mikroselulosa dari TKKS telah berhasil dilakukan. Keberadaan mikroselulosa yang bersumber dari TKKS mempengaruhi sifat-sifat dari bioplastik jika dibandingkan bioplastik yang tidak mengandung mikroselulosa. Secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa penambahan mikroselulosa akan meningkatkan kekuatan mekanik dari bioplastik yang dihasilkan, meningkatkan biodegradabilitas dan mengurangi ketahanan air dari bioplastik. Bioplastik yang dihasilkan dalam penelitian ini menawarkan peluang baru untuk biomaterial yang terdegradasi dengan lebih baik. Berdasarkan temuan ini dapat dikatakan bahwa TKKS dapat menjadi pilihan yang baik dan berguna sebagai campuran dalam produksi bioplastik. Selain itu juga dapat meningkatkan nilai tambah dari TKKS sekaligus mengurangi masalah pencemaran lingkungan.

#### 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Fakultas MIPA Universitas Tanjungpura yang membantu pembiayaan penelitian melalui Dana DIPA FMIPA UNTAN tahun 2022 (SP DIPA-023.17.2.677517/2022).

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. H. D., Putri, O. D., Fikriyyah, A. K., Nissa, R. C., & Intadiana, S. (2020). Effect of microcrystalline cellulose on characteristics of cassava starch-based bioplastic. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 59(12). <https://doi.org/10.1080/25740881.2020.1738465>.
- Abbral, H., Chairani, M. K., Rizki, M. D., Mahardika, M., Handayani, D., Sugiarti, E., Muslimin, A. N., Sapuan, S. M., & Ilyas, R. A. (2021). Characterization of compressed bacterial cellulose nanopaper film after exposure to dry and humid conditions. *Journal of Materials Research and Technology*, 11, 896–904. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.01.057>.
- Brahney, J., Hallerud, M., Heim, E., Hahnenberger, M., & Sukumaran, S. (2020). Plastic rain in protected areas of the United States. *Science*, 368(6496). <https://doi.org/10.1126/science.aaz5819>.
- Ching, Y. C., & Ng, T. S. (2014). Effect of preparation conditions on cellulose from oil palm empty fruit bunch fiber. In *BioResources* (Vol. 9, Issue 4). <https://doi.org/10.15376/biores.9.4.6373-6385>.
- Ciolacu, D., Ciolacu, F., & Popa, V. I. (2011). Amorphous cellulose - Structure and characterization. *Cellulose Chemistry and Technology*, 45(1–2).
- Dawam Abdu, A. H., Pudjirahar, S., Karina, M., Dwi Putri, O., & Fauziyyah, R. H. (2018). Fabrication and Characterization of Sweet Potato Starch-based Bioplastics Plasticized with Glycerol. *Journal of Biological Sciences*, 19(1). <https://doi.org/10.3923/jbs.2019.57.64>.
- Effendi, F., Elvia, R., & Amir, H. (2018). Preparasi Dan Karakterisasi Mikrokrystalin Selulosa (MCC) Berbahan Baku Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). *Alotrop*, 2(1), 52–57. <https://doi.org/10.33369/atp.v2i1.4672>.
- Erni Puryati, N., Ariyani, D., & Sunardi, S. (2019). Pengaruh Penambahan Carboxymethyl Cellulose Terhadap Karakteristik Bioplastik Dari Pati Ubi Nagara (*Ipomoea batatas* L.). *Indo. J. Chem. Res.*, 7(1), 77–85. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2019.7-sun>.
- Haryati, S., Rini, A. S., & Safitri, Y. (2017). Pemanfaatan Biji Durian Sebagai Bahan Baku Plastik Biodegradable dengan Plasticizer Giserol dan Bahan Pengisi CaCO<sub>3</sub>. *Jurnal Teknik Kimia*, 23(1), 1–8.
- Hussin, M. H., Pohan, N. A., Garba, Z. N., Kassim, M. J., Rahim, A. A., Brosse, N., Yemloul, M., Fazita, M. R. N., & Haafiz, M. K. M. (2016). Physicochemical of microcrystalline cellulose from oil palm fronds as potential methylene blue adsorbents. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.094>.
- Isroi, Cifriadi, A., Panji, T., Wibowo, N. A., & Syamsu, K. (2017). Bioplastic production from cellulose of oil palm empty fruit bunch. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 65(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/65/1/012011>.
- Khaw, Y. Y., Chee, C. Y., Gan, S. N., Singh, R., Ghazali, N. N. N., & Liu, N. S. (2019). Poly(lactic acid) composite films reinforced with microcrystalline cellulose and keratin from chicken feather fiber in 1-butyl-3-methylimidazolium chloride. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(24). <https://doi.org/10.1002/app.47642>.
- Khoramnejadian, S. (2011). Converting non-biodegradable plastic to biodegradable by using natural polymer to help environment conservation. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9(2), 477–479.
- Lambert, S., & Wagner, M. (2017). Environmental performance of bio-based and biodegradable plastics: The road ahead. In *Chemical Society Reviews* (Vol. 46, Issue 22). <https://doi.org/10.1039/c7cs00149e>.
- Maryam, M., Rahmad, D., & Yunizurwan, Y. (2019). Sintesis Mikro Selulosa Bakteri Sebagai Penguat (Reinforcement) Pada Komposit Bioplastik Dengan Matriks PVA (Poli Vinil Alkohol). *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 41(2), 110. <https://doi.org/10.24817/jkk.v41i2.4055>.
- Moenawar, M. G. (2019). Seminar Nasional Sosial Ekonomi 2019. In *Manajemen Inovasi Mendukung Transformasi Pembangunan Agribisnis Kerakyatan dan Penyuluhan di Era Revolusi Industri 4.0* (Issue July 2019).
- Perrez, F. X. (2020). The role of the United Nations Environment Assembly in emerging issues of international environmental law. *Sustainability (Switzerland)*, 12(14), 20–21. <https://doi.org/10.3390/su12145680>.
- Pujiasih, S., Kurnia, Masykur, A., Kusumaningsih, T., & Saputra, O. A. (2018). Silylation and characterization of microcrystalline cellulose isolated from Indonesian native oil palm empty fruit bunch. *Carbohydrate Polymers*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.12.060>.
- Purwanti, A. (2010). Analisis Kuat Tarik dan Elongasi Plastik Kitosan Terplastisasi Sorbitol. *Jurnal Teknologi*, 3(2).
- Rahmah Harun. (2020). *Sintesis Karboksimetil Selulosa (CMC) dari Selulosa Pelepah Salak (Salacca Zalacca) Sebagai Flokulan*. UIN Alauddin Makassar.

- Razali, N., Hossain, M. S., Taiwo, O. A., Ibrahim, M., Nadzri, N. W. M., Razak, N., Rawi, N. F. M., Mahadar, M. M., & Kassim, M. H. M. (2017). Influence of acid hydrolysis reaction time on the isolation of cellulose nanowhiskers from oil palm empty fruit bunch microcrystalline cellulose. *BioResources*, 12(3). <https://doi.org/10.15376/biores.12.3.6773-6788>.
- Rivai, H., Hamdani, A. S., Ramdani, R., Lalfari, R. S., Andayani, R., Armin, F., & Djamaan, A. (2018). Production and Characterization of Alpha Cellulose Derived from Rice Straw (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Pharmaceutical Review and Research*, 52(1), 45–48. <https://doi.org/10.9734/bpi/tipr/v3/1698c>.
- Sun, X., Lu, C., Liu, Y., Zhang, W., & Zhang, X. (2014). Melt-processed poly(vinyl alcohol) composites filled with microcrystalline cellulose from waste cotton fabrics. *Carbohydrate Polymers*, 101(1). <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.088>.
- Xiang, L. Y., Mohammed, M. A., & Samsu Baharuddin, A. (2016). Characterisation of microcrystalline cellulose from oil palm fibres for food applications. *Carbohydrate Polymers*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.055>.
- Zhu, Y., Romain, C., & Williams, C. K. (2016). Sustainable polymers from renewable resources. In *Nature* (Vol. 540, Issue 7633). <https://doi.org/10.1038/nature21001>.