



## The Effect of Sorbitol Concentration on the Characteristics of Starch-Based Bioplastic

Rega Desramadhani <sup>✉</sup> dan Samuel Budi Wardhana Kusuma

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang  
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

### Info Artikel

Diterima : 22-06-2023

Disetujui : 26-08-2023

Dipublikasikan : 31-08-2023

### Keywords:

pati kentang  
pati talas  
oksidasi pati  
sorbitol  
bioplastik

### Abstrak

Bioplastik merupakan plastik yang dapat terurai secara alami oleh mikroorganisme menjadi senyawa yang ramah lingkungan. Salah satu bahan alam yang banyak digunakan untuk membuat bioplastik adalah pati. Pati kentang dan pati talas berpotensi sebagai bahan baku pembuatan bioplastik, namun perlu ditingkatkan kecerahan pati dengan cara memodifikasi pati dengan menggunakan NaOCl. Bioplastik yang terbuat dari pati memiliki sifat mekanik yang rendah sehingga perlu ditambahkan suatu bahan yang mampu meningkatkan sifat mekanik, yaitu plastisizer. Penambahan sorbitol sebagai plastisizer diharapkan mampu memperbaiki sifat mekanik bioplastik. Pembuatan bioplastik diawali dengan oksidasi pati kentang dan pati talas, kemudian ditambahkan dengan plastisizer sorbitol dengan variasi konsentrasi 1,5; 2; dan 2,5 (%v). Bioplastik dikarakterisasi dengan pengujian sifat fisik dan mekanik. Penambahan konsentrasi sorbitol mempengaruhi sifat fisik dan mekanik yang ditimbulkan. Perlakuan terbaik pada pembuatan bioplastik berbasis pati kentang dan pati talas termodifikasi diperoleh pada konsentrasi sorbitol 1,5%v dengan nilai kuat tarik masing-masing 3,77 MPa dan 2,53 MPa, persen pemanjangan 19,96% dan 8,53%, *Modulus Young* 18,87% dan 29,71%, nilai ketebalan 0,1669 mm dan 0,1517 mm, serta diperoleh nilai ketahanan air 74,90% dan 66,47%. Hasil identifikasi gugus fungsi pati dan bioplastik menunjukkan adanya gugus fungsi yang sama di daerah serapan yang sama. Hasil morfologi bioplastik dari pati kentang termodifikasi menunjukkan hasil permukaan yang kasar, sedangkan morfologi permukaan bioplastik dari pati talas termodifikasi menunjukkan hasil permukaan yang halus.

### Abstract

Bioplastics are plastics that can be decomposed naturally by microorganisms into environmentally friendly compounds. One of the natural materials that are widely used to make bioplastics is starch. Potato starch and taro starch have the potential as raw materials for making bioplastics, but it is necessary to increase the brightness of the starch by modifying the starch using NaOCl. Bioplastics made from starch have low mechanical properties, so it is necessary to add a material that can improve mechanical properties, namely a plasticizer. The addition of sorbitol as a plasticizer is expected to improve the mechanical properties of bioplastics. The production of bioplastics begins with the oxidation of potato starch and taro starch, then the plasticizer sorbitol is added with various concentrations of 1.5; 2; and 2.5 (%v). Bioplastics are characterized by testing physical and mechanical properties. The addition of sorbitol concentration affects the physical and mechanical properties produced. The best treatment for the manufacture of bioplastics based on modified potato starch and taro starch was obtained at a sorbitol concentration of 1.5% v with a tensile strength of 3.77 MPa and 2.53 MPa, elongation of 19.96% and 8.53%, *Modulus Young* 18.87% and 29.71%, thickness 0.1669 mm and 0.1517 mm, and water uptake of 74.90% and 66.47%. The results of identification of the functional groups of starch and bioplastics indicated the presence of the same functional groups in the same absorption area. The morphology of bioplastics from modified potato starch showed a rough surface, while the surface morphology of bioplastics from modified taro starch showed a smooth surface.

© 2023 Universitas Negeri Semarang

<sup>✉</sup> Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

E-mail: [regadesra@students.unnes.ac.id](mailto:regadesra@students.unnes.ac.id)

## Pendahuluan

Pencemaran lingkungan merupakan masalah global dan umum yang terjadi baik di negara maju maupun negara berkembang. Industri plastik dianggap sebagai salah satu industri terpenting yang memproduksi bahan polimer yang biasa disebut plastik dan digunakan untuk berbagai industri termasuk pengemasan (Rizwana Beevi *et al.*, 2020). Plastik adalah produk yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari, hampir digunakan di seluruh dunia untuk berbagai tujuan. Namun, bahan baku utama untuk produksi plastik berasal dari penggunaan plastik tak terbarukan (*non-renewable*) yang berasal dari minyak bumi menyebabkan sampah menumpuk, pencemaran dan kerusakan lingkungan (Nur *et al.*, 2020), serta dapat mengganggu dekomposisi bahan organik lainnya (Cordeiro *et al.*, 2019). Bahan plastik tahan terhadap jamur dan bakteri, sehingga plastik sulit untuk terdegradasi dan berdampak buruk di lingkungan (Cordeiro *et al.*, 2019; Nuryati *et al.*, 2019) sehingga perlu dikembangkan plastik yang lebih mudah terdegradasi dan aman bagi lingkungan, yaitu bioplastik (Asngad *et al.*, 2020).

Bioplastik merupakan plastik yang dapat terurai secara alami oleh mikroorganisme menjadi senyawa yang ramah lingkungan. Dalam pembuatan plastik dengan sifat *biodegradable*, plastik dibuat dari bahan-bahan yang memiliki sifat terbarukan, yaitu senyawa yang terdapat pada tumbuhan (Nur *et al.*, 2020; Saputro & Ovita, 2017). Bioplastik dapat digunakan seperti plastik konvensional biasa, namun akan hancur oleh aktivitas mikroorganisme dan menghasilkan air serta senyawa yang tidak berbahaya bagi lingkungan setelah habis terpakai dan dibuang ke lingkungan (Sinaga *et al.*, 2014). Penggunaan bahan *biodegradable* dari sumber daya alam yang dapat diperbarui sangat membantu mengurangi persentase limbah plastik.

Salah satu bahan alam yang banyak digunakan untuk membuat bioplastik adalah pati. Pati merupakan biopolimer paling melimpah setelah selulosa yang ditemukan pada tumbuhan tingkat tinggi dan dapat diperbaharui (Fonseca *et al.*, 2015). Pati umumnya memiliki kelarutan yang rendah, stabilitas termal dan tegangan geser yang rendah serta kecenderungan mengalami retrogradasi dan sineresis (Calvin, 2016; Vanier *et al.*, 2012). Keterbatasan tersebut membuat pati menghambat penerapannya dalam industri makanan sehingga perlu dilakukan perbaikan sifat-sifat pati untuk meningkatkan penggunaan pati, salah satunya adalah dengan memodifikasi pati tersebut.

Modifikasi pati merupakan perubahan karakteristik fisika dan kimia yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan sifat fisiko-kimia yang kurang baik dari pati. Metode oksidasi yang digunakan adalah metode dengan menggunakan natrium hipoklorit sebagai oksidator. Modifikasi dicapai jika reaksinya dengan zat pengoksidasi seperti natrium hipoklorit, di bawah pH dan suhu yang terkontrol. Selama proses tersebut terjadi depolimerisasi parsial pati, sehingga dapat menurunkan massa molekul dan viskositas, menghasilkan peningkatan stabilitas dan kejernihan larutan pati serta kemampuannya dalam pembentukan bioplastik (Fonseca *et al.*, 2018).

Tujuan dari memodifikasi pati adalah agar pati memiliki tingkat kecerahan yang lebih jernih, serta memiliki kemampuan untuk membentuk bioplastik (A. Korma, 2016). Hasil penelitian terdahulu tentang bioplastik dari pati termodifikasi oksidasi (Fonseca *et al.*, 2018; Gonz *et al.*, 2021; Kowalczyk *et al.*, 2018; Ekafitri *et al.*, 2018; Melani *et al.*, 2017; Oluwasina *et al.*, 2019) menunjukkan bahwa kekuatan tarik, *Modulus Young*, dan persen pemanjangan yang lebih tinggi, kadar air yang lebih rendah serta kecerahan dan transparan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pati yang tidak dimodifikasi.

Kentang (*Solanum tuberosum L.*) merupakan sumber pati yang digunakan untuk membuat formula bioplastik. Kandungan pati yang terdapat pada kentang, yaitu sekitar 20% dari berat bahan kering (Robertson *et al.*, 2018). Komponen polisakarida seperti amilosa dan amilopektin pada pati kentang menunjukkan sifat pembentukan bioplastik yang baik, stabilitas kimia dan dapat di makan. Pati kentang juga digunakan sebagai stabilizer dalam emulsi gelatin yang dapat diperoleh dari sumber daya alam terbarukan dan biokompatibel (Podshivalov *et al.*, 2017). Berdasarkan hasil penelitian Niken & Adepristian (2013) diperoleh kadar amilosa dan amilopektin pada pati kentang berturut-turut sebesar 21,04% dan 78,962%.

Talas (*Colocasia esculenta*) merupakan tanaman yang telah lama dibudidayakan dan dimanfaatkan sebagai sumber pangan tambahan di Indonesia. Umbi talas merupakan tanaman yang mengandung sumber pati yang baik, pati yang diperoleh yaitu 70–80 g/100 g dari berat talas kering (Rashmi *et al.*, 2018), sehingga pati yang ada pada umbi talas ini sangat potensial untuk dijadikan bahan baku pembuatan bioplastik agar nilai ekonomi dari umbi talas meningkat (Lutfi *et al.*, 2019). Hasil penelitian menurut Aryanti (2017), pati umbi talas yang diperoleh memiliki kadar amilosa sebesar 5,55% dan kadar amilopektin sebesar 74,45%.

Pati kentang dan pati talas dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan bioplastik yang baik. Namun, bioplastik dari pati bersifat rapuh sehingga perlu adanya penambahan plastisizer (Ng *et al.*, 2022). Plastisizer berfungsi untuk menurunkan gaya intermolekuler dan molekuler ikatan hidrogen sepanjang rantai polimer sehingga dapat meningkatkan fleksibilitas bioplastik (Gao *et al.*, 2021). Salah satu plastisizer yang dapat digunakan adalah sorbitol.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan sorbitol pada pembuatan bioplastik dari pati kentang dan pati talas termodifikasi NaOCl. Proses penambahan sorbitol bertujuan untuk memperbaiki sifat karakteristik dari bioplastik. Adapun konsentrasi sorbitol yang akan ditambahkan pada proses pembuatan bioplastik bervariasi yaitu 1,5 %v, 2 %v, dan 2,5 %v. Variasi konsentrasi dilakukan bertujuan untuk mengetahui konsentrasi optimum terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan. Selanjutnya bioplastik akan diuji karakteristiknya dengan beberapa parameter yaitu uji ketebalan, uji sifat mekanik, uji daya serap air, dan analisis gugus fungsi pada bioplastik menggunakan alat instrumen FTIR (*Fourier Transform-Infra Red*) dan mengetahui morfologi permukaan menggunakan instrumen SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

### Metode

Variabel bebas dari penelitian ini, yaitu penambahan konsentrasi sorbitol 1,5%, 2%, dan 2,5% (%v). Variabel terikat dari penelitian ini adalah karakteristik bioplastik yang terdiri dari analisis gugus fungsi, morfologi permukaan, uji ketebalan, uji daya serap air, uji sifat mekanik yang meliputi kuat tarik, persen pemanjangan, dan *Modulus Young*. Variabel kontrol dari penelitian ini adalah massa pati 5 gram, suhu 35°C pada pembuatan pati termodifikasi NaOCl, suhu 45°C pada pengeringan pati termodifikasi NaOCl, suhu 80°C pada pembuatan bioplastik, suhu 70°C pada pengeringan bioplastik, kecepatan pengadukan 400 rpm pada pembuatan pati termodifikasi dan pembuatan bioplastik dengan waktu pengadukan selama 60 menit proses oksidasi pati dan pembuatan bioplastik.

Penelitian ini menggunakan alat labu erlenmeyer, neraca analitik, kaca arloji, gelas ukur, gelas beker, oven, cetakan bioplastik 18 cm, pipet tetes, pipet volume, kertas saring dan corong kaca, batang pengaduk, spatula, kertas indikator pH, thermometer 100°C, *magnetic stirrer*, *hotplate*, alat titrasi, dan mikrometer sekrup 0,01 mm. Sedangkan instrumen yang digunakan, yaitu *Fourier Transform Infra-Red* (FT-IR) Perkin Elmer Spectrum IR 10.6.1, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) JEOL tipe JSM-6510, dan *Texture Analyzer LLOYD Instrument*, sedangkan bahan yang digunakan adalah pati kentang dan pati talas yang sudah jadi, aquades, sorbitol 70%, NaOH 0,5 M dan 0,1 M (pelet p.a.), NaOCl 3% (v/v) (teknis), HCl 0,1 M (p.a.), AgNO<sub>3</sub> 0,1 M (p.a.), indikator fenolftalein (p.a.), dan etanol 96% (p.a.).

### Modifikasi Pati Kentang dan Talas

Untuk menghasilkan pati yang dimodifikasi NaOCl, yaitu sebanyak 80 gram pati dan 200 mL aquades dihomogenkan dengan pengadukan kontinyu 400 rpm. pH larutan diatur menjadi 9,5 dengan menggunakan larutan NaOH 0,5 M. Selanjutnya, natrium hipoklorit (NaOCl) 3% ditambahkan sebanyak 30 mL dengan cara diteteskan sedikit demi sedikit selama 20 menit sambil mempertahankan pH 9,0-9,5 dan suhu pada 35°C. Setelah penambahan NaClO reaksi dibiarkan berlangsung selama 60 menit. pH kemudian diatur menjadi 7,0 menggunakan aquadest yang diikuti dengan sedimentasi pati. Air dituang dan pati dicuci tiga kali dengan aquades sebelum dikeringkan pada suhu 45°C sampai benar-benar kering (Adeltrudis & Nilna, 2017).

### Penentuan Kadar Karboksil dari Pati Termodifikasi

Penentuan kadar karboksil pati termodifikasi ini mengikuti prosedur yang telah dilakukan Yuniar *et al.*, (2019) dengan beberapa modifikasi. Sebanyak 3 gram sampel pati termodifikasi didispersikan dalam 25 mL HCl 0,1 M, diaduk selama 30 menit, kemudian disaring. Pati tersebut kemudian dicuci sampai tidak ada lagi kandungan Cl<sup>-</sup> menggunakan AgNO<sub>3</sub>. Selanjutnya, 300 mL aquadest ditambahkan ke dalam pati yang bebas dari Cl<sup>-</sup>. Larutan dipanaskan dalam air mendidih sampai terbentuk gelatin, pemanasan kemudian dilanjutkan selama 15 menit. Larutan panas dititrasi dengan NaOH 0,1 M menggunakan indikator fenolftalein. Uji rantai karboksil diulangi menggunakan pati yang belum termodifikasi.

$$\% \text{Karboksil} = \frac{(V_s - V_b) \times M \text{ NaOH} \times 0,0045}{\text{berat sampel (g)}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

dimana,

V<sub>b</sub> adalah volume NaOH yang digunakan untuk menguji pati yang belum termodifikasi (mL), V<sub>s</sub> adalah volume NaOH yang diperlukan untuk pati termodifikasi (mL), berat sampel (basis kering), M adalah molaritas.

### Pembuatan Bioplastik Pati Termodifikasi

Pembuatan bioplastik pati termodifikasi ini mengikuti prosedur yang telah dilakukan Oluwasina *et al.*, (2019) dengan beberapa modifikasi. Bioplastik dibuat dengan metode *casting*. Sebanyak 5 g pati termodifikasi dan 100 mL aquades diaduk dalam gelas kimia selama 15 menit, setelah itu larutan

sorbitol ditambahkan sebanyak variasi konsentrasi yang telah ditentukan. Campuran tersebut dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan pengadukan 400 rpm pada suhu 80°C selama 45 menit. Perlakuan diulangi pada variasi konsentrasi sorbitol yang dapat dilihat pada Tabel 1. Campuran bioplastik dituang pada loyang cetakan berdiameter 18 cm, setelah itu dikeringkan pada suhu 60°C selama 16 jam dan didinginkan pada suhu kamar. Bioplastik dilepas dari cetakan dan disimpan dalam wadah kedap udara. Lembar bioplastik selanjutnya diuji karakteristiknya yang meliputi uji ketebalan, daya serap air, uji mekanik dan analisis gugus fungsi menggunakan FT-IR serta mengetahui morfologi permukaan menggunakan SEM dengan hasil produk yang terbaik.

**Tabel 1.** Komposisi Pembuatan Bioplastik

Kode Sampel	Pati termodifikasi (gram)	Sorbitol (%v/v)
Kentang	5	1,5 %
K 1,5 %	5	1,5 %
K 2 %	5	2 %
K 2,5 %	5	2,5 %
Talas	5	1,5 %
T 1,5 %	5	1,5 %
T 2 %	5	2 %
T 2,5 %	5	2,5 %

**Uji Ketebalan**

Ketebalan bioplastik diukur menggunakan alat mikrometer sekrup dengan ketelitian 0,01 mm. Bioplastik dipotong dengan ukuran 2 x 2 cm. Pengukuran bioplastik dilakukan pada lima titik yang berbeda yaitu pada bagian setiap sudut bioplastik dan bagian tengah bioplastik. Nilai ketebalan diperoleh dari rata-rata hasil pengukuran (Oluwasina *et al.*, 2019). Pengujian ini dilakukan sebanyak dua kali. Nilai ketebalan bioplastik didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Ketebalan = \frac{(titik\ 1 + titik\ 2 + titik\ 3 + titik\ 4 + titik\ 5)}{5} \dots \dots \dots (2)$$

**Uji Daya Serap Air**

Uji daya serap air dilakukan dengan memotong sampel bioplastik 2 x 2 cm, kemudian ditimbang sebagai berat awal ( $W_0$ ). Sampel dimasukkan ke dalam wadah yang berisi aquades sebanyak 50 mL dengan suhu kamar selama 24 jam, sampel diambil dan dibersihkan dengan menggunakan kain kasa sebelum ditimbang (Oluwasina *et al.*, 2019). Uji daya serap air dilakukan sebanyak dua kali. Pengujian ini dihitung dengan rumus:

$$Daya\ serap\ air(\%) = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

dimana,

$W_t$ : berat sampel setelah direndam air

$W_0$ : berat sampel sebelum direndam air

**Uji Sifat Mekanik**

Uji sifat mekanik dilakukan dengan bioplastik dengan ukuran 15 x 2 cm pada bagian permukaan bioplastik kemudian dijepitkan pada alat dan mesin akan meregangkan bioplastik hingga putus. Alat yang digunakan untuk uji kuat tarik, yaitu *Texture Analyzer LLOYD Instrument*. Kekuatan tarik (MPa),

persen pemanjangan (%), dan *Modulus Young* (MPa) dihitung dengan persamaan (1), (2), dan (3), masing-masing: (Kowalczyk *et al.*, 2018).

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A} \dots \dots \dots (4)$$

dimana,  
 $\sigma$  : kuat tarik (N/m<sup>2</sup>)  
 $F_{maks}$  : beban maksimum (N)  
 $A$  : luas penampang awal (m<sup>2</sup>)

$$persen\ pemanjangan\ (\%) = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

dimana,  
 $\Delta l$  : pertambahan panjang (m)  
 $l_0$  : panjang mula-mula material yang diukur (m)

$$E = \frac{\sigma}{e} \times 100\% \dots \dots \dots (6)$$

dimana,  
 $E$  : *Modulus Young* (MPa)  
 $e$  : persen pemanjangan (%)  
 $\sigma$  : kekuatan tarik (MPa)

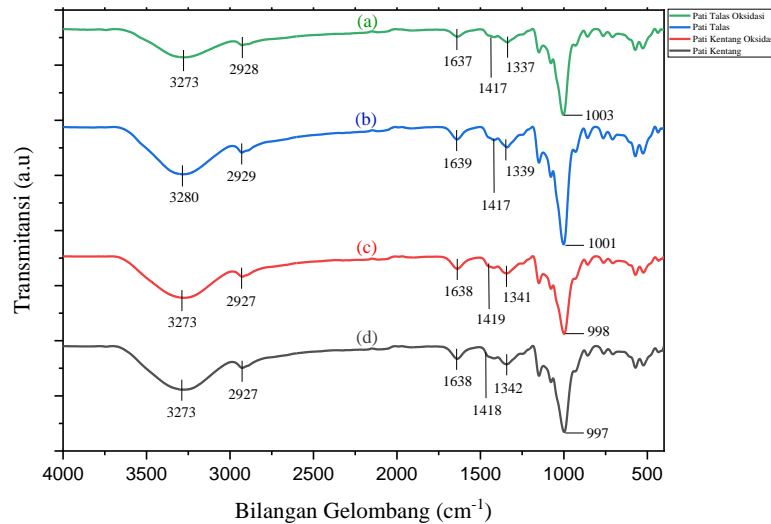
## Hasil dan Pembahasan

### Kadar Karboksil Pati Termodifikasi

Perlakuan modifikasi pati dengan NaOCl 3% (v/v) diperoleh kadar karboksil sebesar 0,11%. Gugus karboksil yang terdapat pada pati termodifikasi merupakan hasil reaksi oksidasi dari gugus hidroksil molekul pati menjadi karbonil kemudian karboksil (Fonseca *et al.*, 2015). Perbedaan pati alami dan termodifikasi, yaitu proses modifikasi pati dapat mengoksidasi pigmen dan protein sebelum mengoksidasi unit glukosa sehingga warna pada pati kentang maupun talas yang dihasilkan setelah oksidasi menjadi lebih cerah, (Choiriyah *et al.*, 2020).

Rendahnya nilai kadar karboksil yang terjadi selama proses reaksi oksidasi berlangsung, yaitu terjadi karena sejumlah pati yang dimodifikasi terdegradasi menjadi lebih larut air, sehingga terbuang saat proses pencucian bersama dengan kandungan gugus karbonil dan karboksil. Ada dua reaksi penting yang terjadi selama oksidasi, yaitu oksidasi gugus hidroksil menjadi gugus karbonil dan karboksil serta depolimerisasi molekul pati dengan pemutusan ikatan  $\alpha$ -(1,4)- glikosidik (Klein *et al.*, 2014). Penelitian sebelumnya mengemukakan semakin tinggi konsentrasi natrium hipoklorit yang digunakan maka semakin tinggi pula kandungan gugus karbonil dan karboksil. Kandungan gugus karbonil dan karboksil dalam butiran pati termodifikasi mewakili tingkat oksidasi. Derajat oksidasi pati termodifikasi ditentukan oleh jumlah gugus karboksil dalam molekul pati (Zhou *et al.*, 2016).

Spektrum yang ditunjukkan pada Gambar 1. mengilustrasikan gugus fungsi serupa pada pati kentang dan talas yang belum termodifikasi maupun sudah termodifikasi, dengan daerah absorbansi di wilayah yang sama, hanya berbeda dalam bilangan gelombangnya. Spektra infra merah pati yang belum dan sudah termodifikasi tidak menunjukkan perbedaan yang besar. Ini terjadi karena adanya pembentukan gugus fungsi yang tidak berubah selama dimodifikasi (Fonseca *et al.*, 2018).



**Gambar 1.** Hasil FTIR (a) Pati Talas Modifikasi (b) Pati Talas (c) Pati Kentang Modifikasi (d) Pati Kentang

Analisis pada pati menggunakan FTIR menunjukkan adanya serapan pada bilangan gelombang pada 3280, 3273, 3273, 3273  $\text{cm}^{-1}$  dikaitkan dengan adanya gugus hidroksil (-OH). Di wilayah ini, bilangan gelombang menurun sesuai dengan perlakuan pati selama oksidasi, gugus hidroksil digantikan oleh gugus karbonil dan karboksil. Vibrasi gugus C-H muncul di daerah 2900 hingga 3000  $\text{cm}^{-1}$ . Oleh karena itu, pada bilangan gelombang 2929, 2927, 2928, dan 2927  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus C-H. Dalam perlakuan menggunakan NaOCl yang telah ditentukan, reaksi oksidasi pati tidak berlangsung secara signifikan. Hal ini ditunjukkan dengan rendahnya puncak pada bilangan gelombang sekitar 1700  $\text{cm}^{-1}$  yang mengindikasikan gugus karbonil (C=O). Bilangan gelombang yang terletak pada serapan 1639, 1638, 1637, dan 1638  $\text{cm}^{-1}$  terkait dengan air yang diserap ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dalam butiran di daerah amorf. Daerah bilangan gelombang 1550–1750  $\text{cm}^{-1}$  sesuai dengan  $\text{H}_2\text{O}$  amorf. Bilangan gelombang pada 1417, 1418, 1417, dan 1419  $\text{cm}^{-1}$  mungkin sesuai dengan gugus karboksil (-COO). Bilangan gelombang pada 1339, 1342, 1337, dan 1341  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus -CH<sub>2</sub> yang terletak antara 1200 dan 1350  $\text{cm}^{-1}$  atau gugus OH dari  $\text{H}_2\text{O}$ . Bilangan gelombang pada 1001, 997, 1003, 998  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan regangan C-O dengan kontribusi regangan C-OH. Bilangan gelombang pada 997 dan 998  $\text{cm}^{-1}$  juga digambarkan sebagai bagian amorf dari struktur, karena air yang berinteraksi dengan ikatan hidrogen antarmolekul (Fonseca *et al.*, 2018).

### Uji Ketebalan

Berdasarkan Tabel 2. nilai ketebalan bioplastik yang diperoleh telah memenuhi standar ketebalan bioplastik yang telah ditetapkan oleh *Japanese Industrial Standart (JIS)*, yaitu sebesar  $\leq 0,25$  mm. Rata-rata ketebalan dihitung dari lima titik berbeda menggunakan mikrometer sekrup dengan ketelitian 0,01 mm yang menunjukkan bahwa tidak adanya perbedaan yang signifikan antara bioplastik pati kentang dan pati talas termodifikasi.

**Tabel 2.** Hasil Pengukuran Ketebalan Bioplastik

Sampel Bioplastik	Konsentrasi Sorbitol (%v)	Ketebalan (mm)
Bioplastik Kentang Termodifikasi Oksidasi	1,5	0,1669±0,01
	2	0,2378±0,01
	2,5	0,1790±0,01
Bioplastik Talas Termodifikasi Oksidasi	1,5	0,1517±0,01
	2	0,1685±0,01
	2,5	0,1315±0,01
Bioplastik Kentang	1,5	0,1700±0,01
Bioplastik Talas	1,5	0,1706±0,01

Seiring dengan bertambahnya konsentrasi plastisizer, maka meningkat pula hasil ketebalan yang diperoleh (Unsa & Paramastri, 2018), semakin meningkat gugus hidroksil pada sorbitol yang akan

berinteraksi dengan gugus hidroksil pati melalui mekanisme ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen dan ikatan polimer yang terbentuk berpengaruh terhadap jumlah padatan bioplastik, semakin banyak jumlah padatan, maka semakin meningkat pula ketebalan bioplastik yang diperoleh (Angelina *et al.*, 2019).

### Uji Daya Serap Air

Berdasarkan Tabel 3. Nilai daya serap air pati termodifikasi lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan pati tanpa NaOCl, berkisar antara 25,10% – 56,87%. Uji daya serap air dilakukan untuk mengetahui kemampuan bioplastik dalam menyerap air. Bioplastik dengan daya serap air yang tinggi akan mudah hancur sehingga cepat mengalami degradasi sedangkan bioplastik dengan daya serap air yang rendah akan lebih dapat melindungi produk yang dikemas. Penyerapan air menyebabkan terjadinya penurunan sifat mekanik bioplastik secara signifikan. Standar ketahanan air berdasarkan SNI yaitu 99% (Adil *et al.*, 2020), nilai ketahanan air yang diperoleh dalam penelitian ini belum memenuhi standar yang telah ditentukan. Hal ini sejalan dengan penelitian Rozzana *et al.*, (2022), yaitu persentase nilai air yang diserap akan berbanding terbalik dengan ketahanan air dari bioplastik, semakin kecil nilai daya serap air yang diserap oleh bioplastik, maka semakin besar nilai ketahanan air yang diperoleh bioplastik tersebut.

**Tabel 3.** Hasil Pengukuran Daya Serap Air dan Ketahanan Air Bioplastik

Sampel Bioplastik	Konsentrasi Sorbitol (%v)	Daya Serap Air (%)	Ketahanan Air (%)
Bioplastik Kentang Termodifikasi	1,5	25,10	74,90
	2	34,20	65,80
	2,5	51,28	48,72
Bioplastik Talas Termodifikasi	1,5	33,54	66,46
	2	38,63	61,37
	2,5	41,12	58,88
Bioplastik Kentang	1,5	56,87	43,13
Bioplastik Talas	1,5	48,24	51,76

Semakin banyak penambahan sorbitol maka semakin tinggi nilai daya serap air yang diperoleh, karena sorbitol bersifat hidrofilik. Sifat hidrofilik pada bioplastik berkurang dengan penambahan kandungan plastisizer, yang berarti kandungan air yang lebih tinggi dalam bioplastik menyebabkan peningkatan saturasi air. Gugus hidroksil yang terdapat dalam partikel pati dan plastisizer merupakan penyebab tingginya penyerapan air pada polimer plastisisasi (Mohammed *et al.*, 2023).

### Uji Sifat Mekanik

Sifat mekanik yang diukur, yaitu kuat tarik, *Modulus Young*, dan persen pemanjangan. Tabel 4. menunjukkan hasil pengukuran uji sifat mekanik bioplastik berbahan pati termodifikasi oksidasi dengan berbagai konsentrasi sorbitol.

**Tabel 4.** Hasil Pengukuran Uji Sifat Mekanik Bioplastik

Sampel Bioplastik	Konsentrasi Sorbitol (%v)	Uji Mekanik		
		Kuat Tarik (MPa)	<i>Modulus Young</i> (MPa)	Persen Pemanjangan (%)
Bioplastik Kentang Termodifikasi Oksidasi	1,5	3,77	18,87	19,96
	2	3,28	52,29	6,27
	2,5	2,05	17,77	11,51
Bioplastik Talas Termodifikasi Oksidasi	1,5	2,53	29,71	8,53
	2	1,83	26,55	6,87
	2,5	1,87	24,04	7,76
Bioplastik Kentang	1,5	3,31	39,46	8,38
Bioplastik Talas	1,5	3,88	40,30	9,64

Kekuatan tarik adalah ukuran besarnya beban atau gaya yang dapat ditahan sebelum suatu sampel rusak atau patah. Kekuatan tarik dipengaruhi oleh plasticizer dan penguat yang ditambahkan dalam proses pembuatan bioplastik. Berdasarkan Tabel 3. semakin tinggi konsentrasi sorbitol yang digunakan, maka nilai

kuat tarik film bioplastik yang dihasilkan akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena sorbitol sebagai plastisizer dapat mengurangi energi yang dibutuhkan molekul untuk melakukan pergerakan sehingga kekakuannya menurun dan menyebabkan menurunnya nilai kuat tarik. Selain itu, penambahan sorbitol juga dapat mengurangi ikatan hidrogen internal molekul dan menyebabkan melemahnya gaya tarik intermolekul rantai polimer yang berdekatan sehingga mengurangi daya regang putus (Putra *et al.*, 2017). Nilai kekuatan tarik yang tinggi akan mampu melindungi produk yang dikemasnya dari kerusakan sehingga bioplastik yang dihasilkan semakin kuat (Lusiana *et al.*, 2019). Sedangkan nilai kuat tarik rendah mengindikasikan bioplastik lebih mudah putus. Nilai kekuatan tarik dari film bioplastik berkisar antara 1,83-3,77 MPa. Kuat tarik film bioplastik tertinggi diperoleh 3,77 MPa (pati kentang termodifikasi dengan konsentrasi sorbitol 1,5 %v), sedangkan kuat tarik bioplastik terendah sebesar 1,83 MPa (pati talas termodifikasi dengan konsentrasi sorbitol 2 %v). Berdasarkan nilai kekuatan tarik, bioplastik dari bahan pati kentang termodifikasi lebih tinggi dibandingkan dari bahan pati talas termodifikasi. Hal ini disebabkan karena perbedaan jenis pati, terutama pada amilosa dan interaksinya terhadap plastisizer serta ketebalan bioplastik juga berpengaruh pada nilai kekuatan tarik.

Menurut *Japanese Industrial Standard* (JIS) menyebutkan bahwa nilai standar minimal kuat tarik untuk plastik pembungkus makanan sebesar 3,92266 MPa (Ariska & Suyatno, 2015), sedangkan menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) standar kuat tarik berkisar 24,7-302 MPa (Adil *et al.*, 2020). Nilai kuat tarik yang diperoleh di penelitian ini lebih rendah dari standar yang telah ditetapkan, sehingga belum memenuhi standar JIS maupun SNI. Hal ini terjadi karena amilopektin memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan amilosa. Berdasarkan hasil penelitian Niken & Adepristian (2013) diperoleh kadar amilosa dan amilopektin pada pati kentang berturut-turut sebesar 21,04% dan 78,962%, sedangkan pati umbi talas yang diperoleh memiliki kadar amilosa sebesar 5,55% dan kadar amilopektin sebesar 74,45% (Aryanti, 2017).

Persen pemanjangan merupakan perubahan panjang bioplastik setelah bioplastik putus saat mengalami peregangan. Berdasarkan Tabel 3. nilai persen pemanjangan yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai yang tidak beraturan. Nilai persen pemanjangan cenderung semakin menurun, hal ini berbeda dengan penelitian Oluwasina *et al.* (2019), Ramadhani *et al.* (2022), Putra *et al.* (2017), dan Lusiana *et al.* (2019) yang mengatakan bahwa seiring dengan penambahan konsentrasi plastisizer maka nilai persen pemanjangan juga akan meningkat. Namun, dalam penelitian ini pada konsentrasi 1,5 %v baik bioplastik dari pati kentang maupun talas termodifikasi menurun. Untuk pati kentang termodifikasi dari 19,96% menjadi 6,27%, sedangkan untuk pati talas termodifikasi dari 8,53% menjadi 6,87%. Hal ini terjadi karena adanya pati yang masih beraglomerasi atau tidak larut sempurna dan juga memiliki ketebalan yang berbeda-beda pada tiap sisi. Peningkatan persen pemanjangan saat memutus bioplastik menyebabkan bioplastik menjadi lebih elastis. Peningkatan persen pemanjangan juga terjadi karena plastisizer mampu mengurangi kerapuhan dan meningkatkan fleksibilitas bioplastik antar molekul antara amilosa dan amilopektin dengan pati sehingga mempengaruhi ikatan hidrogen molekul pati dengan plastisizer sorbitol (Rahmatullah *et al.*, 2022).

Menurut *Japanese Industrial Standard* (JIS) yang menyebutkan bahwa persen pemanjangan kurang baik apabila kurang dari 10% dan dikategorikan sangat baik apabila lebih dari 50% (Ariska & Suyatno, 2015). Sedangkan menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) standar persen pemanjangan yang baik berkisar 21-220 % (Adil *et al.*, 2020). Namun dalam penelitian ini, hanya beberapa sampel yang telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh JIS, yaitu pada sampel kentang pati termodifikasi dengan penambahan sorbitol 1,5 %v dan 2,5 %v dengan nilai 19,96% dan 11,51%, sedangkan nilai persen pemanjangan dari bioplastik yang ditetapkan oleh SNI belum dapat terpenuhi.

*Modulus Young* merupakan kekakuan film bioplastik terhadap ekstensibilitas, semakin besar nilai *Modulus Young* maka bahan tersebut bersifat kaku. Berdasarkan Tabel 3. nilai *Modulus Young* atau sifat elastisitas bioplastik cenderung menurun dengan bertambahnya plastisizer. Nilai yang diperoleh berkisar antara 17,77 MPa hingga 52,29 MPa. Penurunan sifat elastisitas ini disebabkan oleh jarak ikatan antar molekulernya semakin menurun karena titik jenuhnya telah melewati sehingga molekul-molekul dari plastisizer yang berlebih berada pada fase tersendiri di luar fase polimer dan gaya intermolekul antar rantai akan menurun yang menyebabkan gerakan pada rantai lebih bebas. Semakin rendah nilai elastisitas maka semakin baik dan fleksibel film bioplastik yang terbentuk (Ramadhani *et al.*, 2022). Penelitian Ariska & Suyatno (2015) mengatakan bahwa nilai *Modulus Young* berbanding lurus dengan kekuatan tarik dan berbanding terbalik dengan persen pemanjangan. Bioplastik dengan kandungan plastisizer yang lebih rendah menyajikan nilai *Modulus Young* tinggi. Hal ini terjadi karena penggunaan plastisizer mengurangi gaya antarmolekul dan meningkatkan mobilitas rantai polimer dengan meningkatkan ruang bebas dalam rantai. Ketika bioplastik mengalami tekanan mekanis, pergerakan rantai polimer difasilitasi dengan penambahan plastisizer, karena plastisizer memodifikasi jaringan pati, menghasilkan bioplastik dengan

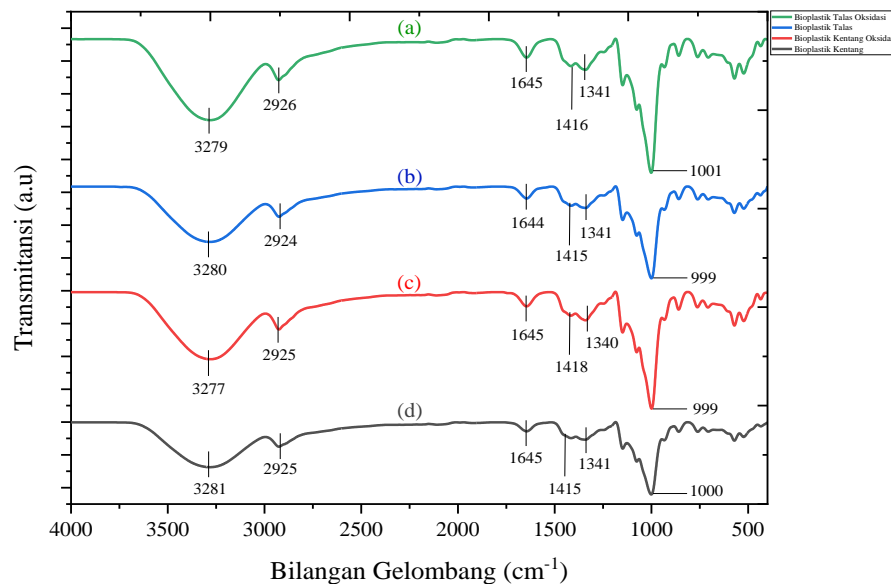


matriks yang kurang padat. Plastisizer dapat meningkatkan persen pemanjangan bioplastik dengan meningkatkan ruang molekul dalam matriks dan mengurangi ikatan hidrogen (Fonseca *et al.*, 2018).

Menurut *Japanese Industrial Standart* (JIS) menyebutkan bahwa nilai standar minimal *Modulus Young* bioplastik sebesar 0,35 MPa (Ariska & Suyatno, 2015). Dalam penelitian ini, nilai *Modulus Young* yang diperoleh bioplastik sudah memenuhi standar yang ditetapkan oleh JIS. Rata-rata nilai *Modulus Young* yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar 17-52 MPa. Nilai *Modulus Young* bioplastik dipengaruhi oleh ikatan hidrogen yang terbentuk pada struktur bioplastik. Adanya ikatan hidrogen tersebut menyebabkan rantai semakin panjang sehingga bioplastik menjadi lebih elastis.

### Analisis Gugus Fungsi FT-IR Bioplastik

Hubungan antara partikel pati dan plastisizer ditelaah menggunakan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) yang digunakan untuk mengetahui adanya gugus fungsi yang terdapat pada jenis film bioplastik. Spektra FTIR ditunjukkan pada Gambar 2.



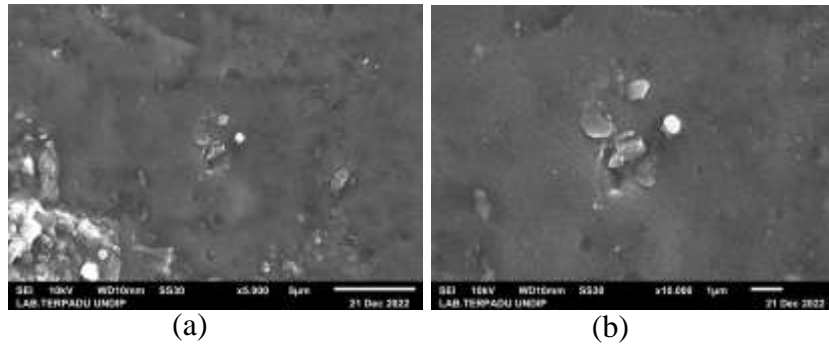
**Gambar 2.** Hasil FTIR (a) Bioplastik Talas Oksidasi (b) Bioplastik Talas (c) Bioplastik Kentang Oksidasi (d) Bioplastik Kentang

Berdasarkan Gambar 2. menunjukkan adanya puncak serapan pada bilangan gelombang 3280, 3281, 3279, dan 3277  $\text{cm}^{-1}$  yang dikaitkan dengan ikatan hidrogen yang dibentuk oleh interaksi gugus O-H pada ujung rantai polimer pati dan dalam plastisizer, vibrasi ikatan C-H pada bilangan gelombang 2924, 2925, 2926, dan 2925  $\text{cm}^{-1}$  berasal dari puncak serapan C-H alifatik (Sanyang *et al.*, 2016), vibrasi ikatan O-H *bending* pada bilangan gelombang 1644, 1645, 1645, dan 1645  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan tekukan dari air yang diserap, bilangan gelombang 1340-1418  $\text{cm}^{-1}$  merupakan adanya ikatan  $\text{CH}_2$ , dan puncak pada 999-1000  $\text{cm}^{-1}$  merupakan tanda peregangan C-O pada C-O-C dan C-O-H dalam cincin glikosidik pati (Mohammed *et al.*, 2023).

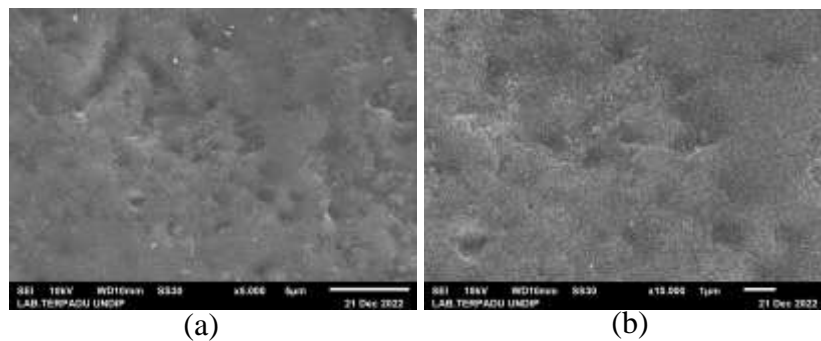
Hasil FTIR yang diperoleh pada Gambar 2. menunjukkan bahwa tidak ditemukan gugus fungsi baru pada spektrum bioplastik dibandingkan dengan pati. Adanya gugus fungsi O-H dan C-O pada bioplastik menunjukkan bahwa produk tersebut memiliki kemampuan untuk terdegradasi. Komponen bioplastik seperti pati dan plastisizer memiliki sifat hidrofilik yang mengikat molekul air dari lingkungan sekitar dan memfasilitasi degradasi (Jannah *et al.*, 2021).

### Morfologi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Bioplastik

Bioplastik yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi dari permukaan sampel bioplastik yang dihasilkan. Hasil analisa karakteristik didasarkan pada kuat tarik, bioplastik dengan konsentrasi sorbitol 1,5 %v menunjukkan hasil kuat tarik yang lebih tinggi. Sehingga dilakukan uji fisik pada daerah patahan bioplastik dengan perbesaran 5.000x dan 10.000x, hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



**Gambar 3.** Morfologi Permukaan Bioplastik Kentang Termodifikasi menggunakan Perbesaran (a) 5.000x dan (b) 10.000x



**Gambar 4.** Morfologi Permukaan Bioplastik Talas Termodifikasi menggunakan Perbesaran (a) 5.000x dan (b) 10.000x

Berdasarkan Gambar 3. menunjukkan morfologi permukaan bioplastik berbasis pati kentang termodifikasi. Terlihat bahwa permukaan bioplastik kurang homogen dan terdapat bagian yang kasar serta butiran pati masih terlihat. Butiran pati yang tergelatinisasi sebagian dapat dikaitkan dengan pecahnya ikatan hidrogen yang tidak sempurna antara amilosa dan amilopektin, yang menghasilkan gelatinisasi sebagian dari butiran pati (Fonseca *et al.*, 2018). Selain itu, morfologi permukaan yang tidak merata bisa disebabkan oleh proses pengadukan yang kurang homogen pada saat pemanasan sehingga terdapat gumpalan putih pada film bioplastik (Jannah *et al.*, 2021). Serta pada Gambar 3. juga terdapat gelembung pada permukaan film bioplastik yang terjadi karena penyebaran plastisizer yang kurang rata dapat menyebabkan permukaan film tersebut menjadi tidak halus dan gelembung yang terbentuk juga akan membentuk pori atau lubang yang mengakibatkan bioplastik tersebut mudah sobek. Pada Gambar 4. menunjukkan morfologi permukaan bioplastik berbasis pati talas termodifikasi oksidasi dengan hasil yang menunjukkan permukaan yang halus.

### Simpulan

Bioplastik dengan penambahan sorbitol 1,5%v sebagai plastisizer merupakan komposisi terbaik pada pembuatan bioplastik berbasis pati kentang termodifikasi dan pati talas termodifikasi dengan nilai kuat tarik masing-masing 3,77 MPa dan 2,53 MPa, persen pemanjangan sebesar 19,96% dan 8,53%, *Modulus Young* sebesar 18,87% dan 29,71%, nilai ketebalan sebesar 0,1669 mm dan 0,1517 mm, serta diperoleh nilai ketahanan air sebesar 74,90% dan 66,47%. Hasil karakterisasi dari FT-IR menunjukkan adanya gugus O-H, C-H *stretching*, O-H *bending*, -CH<sub>2</sub> *bending*, dan adanya regangan C-O. Hasil morfologi SEM bioplastik dari pati kentang termodifikasi menunjukkan bahwa gelatinisasi pati tidak sempurna sehingga morfologinya kurang homogen dan kasar, sedangkan morfologi permukaan bioplastik dari pati talas termodifikasi menunjukkan hasil yang halus.

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Kimia Universitas Negeri Semarang atas fasilitas yang telah diberikan selama penelitian.

### Daftar Referensi

- A. Korma, S. (2016). Chemically Modified Starch and Utilization in Food Stuffs. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 5(4), 264.
- Adeltrudis Adelsa Danimayostu, Nilna Maya Shofiana, D. P. (2017). Pengaruh Penggunaan Pati Kentang ( *Solanum tuberosum* ) Termodifikasi Asetilasi-Oksidasi sebagai Gelling agent terhadap Stabilitas Gel Natrium Diklofenak The Effect of Acetylation-Oxidation Modified Potato Starch ( *Solanum tuberosum* ) as Gelling agent o. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, 3(1), 25–32.
- Adil, Patang, & Sukainah, A. (2020). Sintesis Kulit Ubi Kayu (*manihot esculenta*) sebagai Bahan Dasar Pembuatan Kemasan Biodegradable. *Pendidikan Teknologi Pertanian*, 6, 65–74.
- Alam, F., & Hasnain, A. (2009). Studies on swelling and solubility of modified starch from taro (*Colocasia esculenta*): Effect of pH and temperature. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 74(1), 45–50.
- Angelina, V. L., Sijabat, E. E., Widjaja, A. C., & Rahayu, L. H. (2019). Studi Awal Pembuatan Bioplastik dari Pati Kimpul (*Xanthosoma sagittifolium* L.Schott) dengan Penambahan Linseed Oil dan Sorbitol. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 2003, 29–34.
- Ariska, R. E., & Suyatno. (2015). Pengaruh konsentrasi karagenan terhadap sifat fisik dan mekanik *Edible Film* dari pati bonggol pisang dan karagenan dengan plasticizer gliserol. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, 34–40.
- Aryanti, N. Y. A. dan W. R. (2017). Pati Talas (*Colocasia Esculenta* (L.) Schott) Sebagai Alternatif Sumber Pati Industri. *Momentum*, 13(1), 46–52.
- Asngad, A., Marudin, E. J., & Cahyo, Se. (2020). Kualitas Bioplastik Dari Umbi Singkong Karet Dengan Penambahan Kombinasi Plasticizer Gliserol Dengan Sorbitol Dan Kitosan. *Bioeksperimen*, 6(1), 36–44.
- Asria, M., Elizarni, & Samah, D. S. D. (2015). The effect of the addition of sorbitol and glycerol towards the edible film characteristics of the belitung taro starch and the lime leaves as antimicrobial. *AIP Conference Proceedings*, 1699.
- Budiyati, C. S., & Ariyanti, D. (2014). Taro Tube Flour Modification via Hydrogen Peroxide Oxidation. *International Journal of Science and Engineering*, 7(2), 137–142.
- Calvin, O. (2016). Starch and modified starch in bread making: A review. *African Journal of Food Science*, 10(12), 344–351.
- Choiriyah, N. A., Benita, A. M., & Sundjaja, A. P. (2020). Modifikasi Pati Biji Nangka Secara Fisik Dan Kimia. *Agritech: Jurnal Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Purwokerto*, 22(2), 88.
- Cordeiro, P. N., Caetano, S. T., & De Carvalho, R. M. M. (2019). Production of Bioplastic From Potato Starch. *Southern Brazilian Journal of Chemistry*, 27(27), 30–34.
- Ekafitri, R., Pranoto, Y., Hermiani, A., & Rahman, T. (2018). Tepung Talas Bogor Termodifikasi Hasil Oksidasi Menggunakan Hidrogen Peroksida dengan dan Tanpa Iradiasi Sinar UV. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 12(2), 86–98.
- Fonseca, L. M., Gonçalves, J. R., El Halal, S. L. M., Pinto, V. Z., Dias, A. R. G., Jacques, A. C., & Zavareze, E. da R. (2015). Oxidation of potato starch with different sodium hypochlorite concentrations and its effect on biodegradable films. *Lwt*, 60(2), 714–720.
- Fonseca, L. M., Henkes, A. K., Bruni, G. P., Viana, L. A. N., de Moura, C. M., Flores, W. H., & Galio, A. F. (2018). Fabrication and Characterization of Native and Oxidized Potato Starch Biodegradable Films. *Food Biophysics*, 13(2), 163–174.
- Gao, W., Zhu, J., Kang, X., Wang, B., Liu, P., Cui, B., & Abd El-Aty, A. M. (2021). Development and characterization of starch films prepared by extrusion blowing: The synergistic plasticizing effect of water and glycerol. *Lwt*, 148(May), 111820.
- Gonz, B., Miguel, Á., Guti, M., Padilla-frausto, J. J., Navarro-villarruel, C. L., Lizette, C., Rodr, F., Barrera-

- rodr, A., Reyna-villela, M. Z., & Javier, F. (2021). *Oxidized Starch Improves the Physicochemical Characteristics of Films for Food Preservation*.
- Hazrol, M. D., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S., Zuhri, M. Y. M., & Wahab, N. I. A. (2021). Corn starch (*Zea mays*) biopolymer plastic reaction in combination with sorbitol and glycerol. *Polymers*, *13*(2), 1–22.
- Jannah, N. R., Jamarun, N., & Putri, Y. E. (2021). Production of Starch-Based Bioplastic from Durio zibethinus Murr Seed Using Glycerol as Plasticizer. *Jurnal Riset Kimia*, *12*(2), 159–165.
- Klein, B., Vanier, N. L., Moomand, K., Pinto, V. Z., Colussi, R., Da Rosa Zavareze, E., & Dias, A. R. G. (2014). Ozone oxidation of cassava starch in aqueous solution at different pH. *Food Chemistry*, *155*, 167–173.
- Kowalczyk, D., Kazimierczak, W., Zięba, E., Meżyńska, M., Basiura-Cembala, M., Lisiecki, S., Karaś, M., & Baraniak, B. (2018). Ascorbic acid- and sodium ascorbate-loaded oxidized potato starch films: Comparative evaluation of physicochemical and antioxidant properties. *Carbohydrate Polymers*, *181*(June 2017), 317–326.
- Lusiana, S. W., Putri, D., Nurazizah, I. Z., & Bahruddin. (2019). Bioplastic Properties of Sago-PVA Starch with Glycerol and Sorbitol Plasticizers. *Journal of Physics: Conference Series*, *1351*(1).
- Lutfi, M., Afidah, A. R., Sutan, S. M., & Djoyowasito, G. (2019). Pengaruh Waktu dan Suhu Pengeringan terhadap Kandungan Pati pada Pembuatan Bubuk Umbi Talas ( *Colocasia Esculenta L . Schott* ) untuk Bioplastik Jurusan Keteknikan Pertanian , Fakultas Teknologi Pertanian , Universitas Brawijaya Abstrak The Effect Of Time. *Jurnal Rona Teknik Pertanian*, *12*(1), 39–49.
- Melani, A., Herawati, N., & Kurniawan, A. F. (2017). Bioplastik Pati Umbi Talas Melalui Proses Melt Intercalation (Kajian Pengaruh Jenis Filler, Konsentrasi Filler dan Jenis Plasticiezer). *Jurnal Distilasi*, *2*(2), 53–67.
- Mohammed, A. A. B. A., Hasan, Z., Omran, A. A. B., Elfaghi, A. M., Khattak, M. A., Ilyas, R. A., & Sapuan, S. M. (2023). Effect of Various Plasticizers in Different Concentrations on Physical, Thermal, Mechanical, and Structural Properties of Wheat Starch-Based Films. *Polymers*, *15*(1).
- Ng, J. S., Kiew, P. L., Lam, M. K., Yeoh, W. M., & Ho, M. Y. (2022). Preliminary evaluation of the properties and biodegradability of glycerol- and sorbitol-plasticized potato-based bioplastics. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *19*(3), 1545–1554.
- Niken, A., & Adepristian, D. (2013). Isolasi Amilosa dan Amilopektin dari Pati Kentang. *Teknologi Kimia Dan Industri*, *2*(3), 57–62.
- Nur, R. A., Nazir, N., & Taib, G. (2020). Karakteristik Bioplastik dari Pati Biji Durian dan Pati Singkong yang Menggunakan Bahan Pengisi MCC ( Microcrystalline cellulose ) dari Kulit Kakao. *Jurnal Gema Agro*, *25*(01), 1–10.
- Nuryati, N., Jaya, J. D., & Norhekmah, N. (2019). Pembuatan Plastik Biodegradable Dari Pati Biji Nangka. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, *6*(1), 20.
- Oluwasina, O. O., Olaleye, F. K., Olusegun, S. J., Oluwasina, O. O., & Mohallem, N. D. S. (2019). Influence of oxidized starch on physicochemical, thermal properties, and atomic force micrographs of cassava starch bioplastic film. *International Journal of Biological Macromolecules*, *135*, 282–293.
- Podshivalov, A., Zakharova, M., Glazacheva, E., & Uspenskaya, M. (2017). Gelatin/potato starch edible biocomposite films: Correlation between morphology and physical properties. *Carbohydrate Polymers*, *157*, 1162–1172.
- Putra, A. D., Johan, V. S., & Efendi, R. (2017). Penambahan Sorbitol sebagai Plasticizer dalam Pembuatan Edible Film Pati Sukun. *Jom Fakultas Pertanian*, *4*(2), 1–15.
- Rahmatullah, Putri, R. W., Rendana, M., Waluyo, U., & Andrianto, T. (2022). Effect of Plasticizer and Concentration on Characteristics of Bioplastic Based on Cellulose Acetate from Kapok (*Ceiba pentandra*) Fiber. *Science and Technology Indonesia*, *7*(1), 73–83.

- Ramadhani, R., Amalia, V., & Junitasari, A. (2022). Pengaruh Konsentrasi Sorbitol terhadap Karakteristik Edible Film Pati Kentang (*Solanum tuberosum L.*) dan Pengaplikasiannya pada Dodol Nanas. 15.
- Rashmi, Raghu, Gopenath, Palanisamy, P., Bakthavatchalam, P., Karthikeyan, M., Gnanasekaran, A., Ranjith, & Basalingappa, K. M. (2018). Taro (*Colocasia esculenta*): An overview. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 6(4), 156–161.
- Rizwana Beevi, K., Sameera Fathima, A. R., Thahira Fathima, A. I., Thameemunisa, N., Noorjahan, C. M., & Deepika, T. (2020). Bioplastic synthesis using banana peels and potato starch and characterization. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(1), 1809–1814.
- Robertson, T. M., Alzaabi, A. Z., Robertson, M. D., & Fielding, B. A. (2018). Starchy carbohydrates in a healthy diet: The role of the humble potato. *Nutrients*, 10(11).
- Rozzana, Nurhaliza, Saifullah Ramli, Syahiddin, & Abrar, M. (2022). Pengaruh Massa Pati Terhadap Tensile Strength, Elongasi dan Daya Serap Terhadap Air pada Pembuatan Bioplastik dari Pati Sagu dan Gliserol. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan (JIRL)*, 3(1), 17–21.
- Sanyang, M. L., Sapuan, S. M., Jawaid, M., Ishak, M. R., & Sahari, J. (2016). Effect of plasticizer type and concentration on physical properties of biodegradable films based on sugar palm (*arenga pinnata*) starch for food packaging. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 326–336.
- Saputro, A. N. C., & Ovita, A. L. (2017). Synthesis and Characterization of Bioplastic from Chitosan-Ganyong Starch (*Canna edulis*). *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 2(1), 13.
- Sinaga, R. F., Ginting, G. M., S Ginting, M. H., & Hasibuan, R. (2014). Pengaruh Penambahan Gliserol terhadap Sifat Kekuatan Tarik Dan Pemanjangan Saat Putus Bioplastik Dari Pati Umbi Talas. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(2), 19–24.
- Unsa, L. K., & Paramastri, G. A. (2018). Kajian jenis plasticizer campuran gliserol dan sorbitol terhadap sintesis dan karakterisasi edible film pati bonggol pisang sebagai pengemas buah apel. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 10(1), 35–47.
- Vanier, N. L., Da Rosa Zavareze, E., Pinto, V. Z., Klein, B., Botelho, F. T., Dias, A. R. G., & Elias, M. C. (2012). Physicochemical, crystallinity, pasting and morphological properties of bean starch oxidised by different concentrations of sodium hypochlorite. *Food Chemistry*, 131(4), 1255–1262.
- Yuniar, Margaretty, E., Fadarina, Aneasari, M., & Febriana, I. (2019). The Effect of Reaction Time and pH on the Process of Sago Starch. *Journal of Physics: Conference Series*, 1167(1).
- Zhou, F., Liu, Q., Zhang, H., Chen, Q., & Kong, B. (2016). Potato starch oxidation induced by sodium hypochlorite and its effect on functional properties and digestibility. *International Journal of Biological Macromolecules*, 84, 410–417.