Indo. J. Chem. Sci. 15 (3) (2026)

Indonesian Journal of Chemical Science

http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs

Synthesis and Characterization of Bioplastics from Cassava Starch (*Amylum Manihot*) and TiO_2 with Glycerol from Used Cooking Oil as a Plastisizer

Dwika Dewi Pramesti✉, Mohammad Alauhdin

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50275

Info Artikel

Diterima: 28-06-2025

Disetujui: 14-08-2026

Dipublikasikan: 13-11-2026

Keywords:
Bioplastik
Pati Singkong
Gliserol Minyak Jelantah
TiO_2

Abstract

Bioplastic is an environmentally friendly plastic made from natural materials which can be naturally decomposed by microorganisms. The main material in the preparation of bioplastics is starch, a biopolymer. Cassava starch (Amylum Manihot) is often used because of its high starch content, reaching around 90%. However, bioplastics from cassava starch have weaknesses in their mechanical properties, so it is necessary to add a plasticizer and reinforcing materials. This research aims to study the effect of the addition of TiO_2 as reinforcing material on the characteristics of cassava starch bioplastics. In addition, glycerol from used cooking oil was used as plasticizer. The duration of the plastics biodegradation was analyzed. The preparation of bioplastics started with the synthesis of glycerol from used cooking oil. Then, the bioplastics were prepared by varying the amount of TiO_2, i.e 1%, 2%, 3%, 4% and 5%. Characterization of the produced bioplastics included physical, chemical and biodegradation tests. The results showed that the addition of TiO_2 increased the tensile strength and modulus young but decreased the plastic elongation. The bioplastic with the highest mechanical properties were produced from 5 grams of starch and 2% TiO_2. It had a tensile strength value of 1.112 MPa, a percent elongation value of 29.186%, and a young modulus value of 13.896%. In addition, TiO_2 has a role in the rate of biodegradation of bioplastics. The higher the concentration of TiO_2 added, the slower the bioplastic degradation process.

Abstrak

Bioplastik adalah jenis plastik yang ramah lingkungan yang terbuat dari bahan alami dan dapat terurai secara alami oleh mikroorganisme. Bahan utama yang dapat digunakan dalam pembuatan bioplastik ini adalah pati yang merupakan biopolimer. Pati singkong (Amylum Manihot) sering digunakan dalam pembuatan bioplastik karena kandungan patinya yang tinggi, mencapai sekitar 90%. Namun, bioplastik yang dibuat dari pati singkong memiliki kelemahan pada sifat mekaniknya, sehingga perlu ditambahkan plasticizer dan bahan penguat. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh penambahan bahan penguat TiO_2 terhadap karakteristik bioplastik pati singkong yang dibuat dengan plasticizer gliserol dari minyak jelantah. Selain itu, laju biodegradasi pada bioplastik juga dianalisis. Pembuatan bioplastik diawali dengan pembuatan gliserol dari minyak jelantah, kemudian pembuatan bioplastik dengan variasi TiO_2 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%. Karakterisasi terhadap bioplastik yang dihasilkan meliputi sifat fisik, kimia dan uji biodegradasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan TiO_2 meningkatkan nilai kuat tarik, menurunkan elongasi dan meningkatkan modulus young. Hasil uji mekanik bioplastik menunjukkan bahwa pada komposisi 5 gram pati dan 2% TiO_2 memberikan nilai kuat tarik 1,112 MPa, nilai persen pemanjangan (elongasi) 29,186% dan nilai modulus young 13,896%. Selain itu, TiO_2 memiliki peran pada laju biodegradasi bioplastik. Semakin tinggi konsentrasi TiO_2 yang ditambahkan semakin lambat proses degradasi bioplastik.

© 2026 Universitas Negeri Semarang

✉ Correspondence address:
Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
E-mail: dwikadewi1@students.unnes.ac.id

p-ISSN 2252-6951
e-ISSN 2502-6844

Pendahuluan

Kehidupan manusia saat ini tidak terlepas dari penggunaan plastik untuk kebutuhan sehari-hari ataupun untuk kebutuhan industri. Dalam satu tahun, 381 juta ton sampah plastik dihasilkan, 100 juta ton diantaranya merupakan plastik kemasan sintetis, dan kira-kira sebesar itulah sampah plastik yang dihasilkan setiap tahun. Sementara kebutuhan plastik dalam negeri mencapai 3,2 juta ton. Berdasarkan data yang diperoleh dari Asosiasi Industri Plastik Indonesia (INAPLAS) dan Badan Pusat Statistik (BPS), terdapat fakta bahwa Indonesia menjadi penyumbang sampah plastik terbesar kedua di dunia. Sampah plastik di Indonesia mencapai 64 juta ton/tahun, 3,2 juta ton diantaranya merupakan sampah plastik yang dibuang ke laut (Prameswari & Prembayun, 2022). Dari permasalahan plastik ini, Indonesia menjadi negara pembuang sampah plastik terbesar ke laut setelah Tiongkok. Sampah-sampah plastik yang tidak diolah dan dibuang sembarangan ini mengakibatkan penyumbatan pada saluran air dan pintu air pada sungai yang dapat mengakibatkan banjir. Plastik yang dibuang dengan cara dikubur di dalam tanah juga sulit terdegradasi, karena berasal dari polimer sintetik yang akan terdegradasi selama puluhan bahkan ratusan tahun (Kamsiati et al., 2017).

Adanya sampah plastik yang susah untuk terdegradasi mendorong banyak pihak untuk melakukan penelitian pembuatan plastik dengan bahan yang mudah terdegradasi. Cara yang efektif untuk melakukan pembuatan plastik yang mudah terdegradasi dengan cara mengembangkan plastik biodegradable atau bioplastik (Suhendra et al., 2020). Bioplastik merupakan plastik ramah lingkungan yang berasal dari bahan alam dan mudah terurai secara alami oleh mikroorganisme. Bahan alam yang digunakan untuk pembuatan bioplastik ini adalah polimer alam seperti pati, selulosa, serat alam, kolagen, kasein, kitosan, protein atau lipid yang berasal dari hewan dan bahan alam lainnya. Penggunaan bioplastik dapat dijadikan sebagai alternatif untuk mengurangi penggunaan plastik konvensional yang terbuat dari turunan minyak bumi (Cahyaningtyas et al., 2019).

Pati adalah salah satu bahan baku bioplastik yang banyak tersedia di Indonesia. Pati diperoleh dengan mengekstraksi bahan nabati yang mengandung karbohidrat, seperti sereal dan berbagai umbi-umbian. Sumber karbohidrat yang banyak mengandung pati antara lain jagung, sagu, singkong, beras, ubi jalar, sorgum, talas, dan garut (Kamsiati et al., 2017).

Salah satu pati yang digunakan dalam pembuatan bioplastik adalah pati singkong. singkong dipilih karena memiliki kandungan pati yang cukup tinggi yaitu mencapai 90% (Natalia & Muryeti, 2020). Namun, bioplastik berbahan baku pati ini memiliki kelemahan, karena pati bersifat kurang elastis dan hidrofilik yang mempengaruhi stabilitas dan sifat mekanik pada bioplastik. Untuk itu cara memperbaiki sifat mekanik pada plastik diperlukan bahan tambahan diantaranya adalah gliserol sebagai plasticizer (pemlastis) dan titanium dioksida (TiO2) sebagai zat penguat (Sari et al., 2019).

Gliserol merupakan salah satu bahan plasticizer yang efektif karena dapat mengurangi ikatan hidrogen internal pada ikatan intermolekuler. Hal ini dapat mengurangi kerapuhan dan ketahanan dalam bioplastik terutama jika disimpan dalam suhu yang rendah (Ulfiasari et al., 2021). Gliserol dapat diperoleh dari minyak nabati atau hewani melalui proses transesterifikasi, saponifikasi dan hidrolisis minyak. Selain itu gliserol juga dapat diperoleh dari minyak jelantah. Minyak jelantah adalah minyak goreng yang telah mengalami proses penggorengan atau pemanasan yang berulang-ulang. Minyak jelantah dapat berupa minyak sayur, minyak jagung, dan lainnya. Minyak jelantah ini merupakan asam lemak jenuh yang dalam jangka waktu tertentu menyebabkan pecahnya ikatan trigliserida menjadi gliserol dan Free Fatty Acid (FFA). Minyak jelantah ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan utama pembuatan gliserol yang akan digunakan dalam pembuatan bioplastik (Yudistirani dkk, 2019).

Kualitas bioplastik juga dipengaruhi oleh sifat mekanik, untuk menaikkan sifat mekanik pada bioplastik selain dengan penambahan gliserol juga dibutuhkan bahan tambahan lainnya. Salah satu bahan penguat yang digunakan adalah titanium dioksida (TiO2). Titanium dioksida (TiO2) memiliki luas permukaan dan energi permukaan yang tinggi sehingga interaksi antarmuka yang baik dan secara signifikan mampu meningkatkan sifat mekanik dan termal (Merisiyanto et al., 2012).

.

Metode

Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas lab, indikator universal, kertas saring, spatula, neraca analitik, cetakan bioplastik, ball pipet, hot plate, desikator, magnetic stirrer dan oven.

Instrumen yang dipakai adalah spektrofotometer Fourier Transform Infra Red PerkinElmer Spectrum IR 10.6.1, alat Uji Mekanik Texture Analyser LLOYD INSTRUMENT, Scanning Electron Microscope SEM-EDX JEOL JSM-6510LA

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah pati singkong atau tepung tapioka dengan merek Rose Brand, titanium dioksida (TiO2, Merck), aquades (H2O), Natrium Hidroksida (NaOH, Merck), Asam asetat (CH3COOH, Merck 100%), Metanol PA Merck, Asam Klorida (HCl, Merck 37%), Natrium Tiosulfat (Na2S2O3, Merck), Kalium Iodida (KI), Asam Sulfat (H2SO4, Merck 98%), indikator kanji, amilosa murni, etanol 95%, larutan iod, minyak jelantah, bleaching earth, cairan EM4.

Prosedur Penelitian

Tahapan dari penelitian ini yaitu pembuatan gliserol dari minyak jelantah, pemurnian gliserol, penetapan kadar amilosa dan amilopektin dari pati singkong, tahap pembuatan bioplastik, dan tahap karakterisasi bioplastik yang dihasilkan.

Pembuatan Gliserol dengan Minyak Jelantah

Pembuatan ini dilakukan dengan proses trans-esterifikasi. Minyak jelantah disaring menggunakan kain saring sebanyak dua kali. 450 mL minyak jelantah yang telah disaring ditambahkan 150 mL metanol dan 0,567 gram katalis NaOH. Kemudian dipanaskan dengan hotplate dan magnetic stirrer pada suhu 70-75 ℃ dengan kecepatan 500 rpm selama 1 jam. Setelah tercampur pindahkan ke corong pemisah dan didiamkan selama kurang lebih 8 jam hingga larutan terpisah antara biodiesel dan gliserol. Setelah itu, gliserol dialirkan dengan hati-hati melalui kran yang terdapat pada corong pemisah, sehingga didapatkan gliserol kasar yang terbuat dari minyak jelantah dan selanjutnya dimurnikan agar bisa digunakan sebagai plasticizer gliserol (Cengristitama & & Wulandari, 2021; Cengristitama & Insan, 2020; Hadrah et al., 2018; Yudistirani, Sri Anastasia Susanty Deddy & Hamany, 2019).

Pemurnian Gliserol

Gliserol yang telah dihasilkan melalui proses trasnsesterifikasi minyak jelantah perlu dimurnikan. Pertama dilakukan pengecekan pH, jika pH gliserol > 7 maka dilakukan penambahan asam sulfat 10% untuk menetralkan pH. Kemudian menambahkan bleaching earth sebanyak 1% dari berat sampel yang digunakan untuk menghilangkan atau menjernihkan warna pada sampel gliserol. Setelah itu campuran diaduk selama 30 menit pada 30 ℃, kemudian didiamkan selama 24 jam. Sampel yang sudah didiamkan disaring menggunakan kertas saring. Lalu dilakukan uji kekentalan atau viskositas, uji kadar air, uji densitas dan diuji dengan FTIR untuk mengetahui gugus fungsinya (Agusti & Nurlatifah, 2020; Pardi, 2016).

Penentuan Kadar Pati

Dalam menentukan kadar pati, sampel pati sebanyak 1 gram ditimbang dan dimasukkan ke dalam labu alas bulat 500 mL, lalu ditambahkan 10 mL larutan HCl 25% dan 50 mL aquades. Campuran ini direfluks selama 3 jam pada suhu 100°C. Setelah refluks, larutan didinginkan ke suhu ruang dan ditambahkan 3 tetes indikator PP serta NaOH 20% hingga netral, dengan pengecekan menggunakan kertas pH universal. Larutan tersebut kemudian dipindahkan ke labu ukur 250 mL dan ditambahkan aquades hingga tanda tera, lalu disaring. Dari larutan yang telah disaring, diambil 10 mL filtrat dan dimasukkan ke dalam labu alas bulat 500 mL, kemudian ditambahkan 10 mL larutan Luff Schoorl. Campuran ini direfluks selama 10 menit pada suhu 100°C, kemudian didinginkan. Setelah dingin, ditambahkan 5 mL larutan KI 20% dan 5 mL H2SO4 25% secara perlahan. Selanjutnya, campuran dititrasi dengan larutan Na-tiosulfat 0,1 N hingga berubah warna menjadi kuning jerami. 3 tetes amilum ditambahkan lalu dititrasi kembali hingga warna biru hilang atau berubah menjadi putih. Cara tersebut juga dilakukan terhadap blanko. Setelah mendapatkan data, kadar pati dapat dihitung melalui rumus berikut (Ulfiasari et al., 2021):

$$adar\ pati\ (\%) = \frac{G \times Fp \times 0{,}9}{mg\ sampel} \times 100\% \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (1)$$

Keterangan:
G = jumlah mg glukosa
Fp = Faktor pengenceran

Uji Kadar Amilosa dan Amilopektin

1. Pembuatan Kurva Standar

Satu gram amilum dimasukkan ke dalam gelas beker lalu tambahkan 100 mL aquades dan dipanaskan 70 ℃ selama 5 menit lalu dinginkan dan saring. Setelah itu pipet filtrat dengan variasi volume; 0 (untuk blangko) 0,5; 1,25; 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5mL ke dalam labu takar 50 mL dan tera dengan aquades. Masing-masing konsentrasi diambil 5 mL filtrat dan ditambahkan 2 mL CH3COOH dan 2 mL larutan iod (lugol) lalu pindahkan ke dalam labu takar 100 mL dan tera dengan aquades. Lalu diukur absorbansinya pada

panjang gelombang maksimal (Ardiansyah et al., 2018). Setelah itu membuat kurva hubungan antara kadar amilosa dengan serapannya untuk memperoleh persamaan regresi yang digunakan dalam penentuan kadar amilosa.

2. Analisis Kadar Amilosa dan Amilopektin

Satu gram sampel pati singkong di masukan ke dalam gelas beker menambahkan 100 mL aquades dan dipanaskan 70 ℃ selama 5 menit lalu dinginkan dan saring. Setelah itu ambil 5 mL filtrat lalu menambahkan 2 mL CH3COOH dan 2 mL larutan iod (lugol) lalu pindahkan ke dalam labu takar 100 mL, kemudian ditambahkan aquades hingga batas tera dan dikocok kembali hingga homogen. Selanjutnya diukur serapannya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang antara 400-750 nm. Hasil serapan yang diperoleh dimasukkan dalam kurva standar untuk memperoleh konsentrasi amilosa pada sampel (mg/mL). Setelah memperoleh hasil serapan maka dapat menentukan kadar amilosa dengan rumus:

$$kadar\ amilosa\ (\%) = \frac{C}{W} \times 100\% \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$$kadar\ Amilopektin(\%) = kadar\ amilum - kadar\ amilosa \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Keterangan :
C = konsentrasi sampel (mg/mL)
W= Berat sampel (mg)
Fp= faktor pengenceran

Pembuatan Bioplastik

Sebanyak 5 gram pati singkong disuspensikan dalam 100 mL aquades dan ditambahkan gliserol 1,5%. Campuran ini dipanaskan pada suhu 70-80°C sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 450 rpm selama 30 menit hingga larutan tergelatinisasi. Selanjutnya, larutan dituangkan ke dalam cetakan loyang berdiameter 18 cm, memastikan tidak ada gelembung udara yang dapat mempengaruhi sifat bioplastik. Larutan tersebut kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam. Setelah itu, cetakan dikeluarkan dari oven dan didiamkan pada suhu kamar. Bioplastik yang telah jadi dipisahkan dengan hati-hati dari cetakannya dan siap untuk dikarakterisasi (Yudistirani dkk, 2019).

Pembuatan Bioplastik dengan Penambahan TiO2

TiO2 dengan berbagai konsentrasi (1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%) dicampur dalam 100 mL aquades dan disonikasi selama 25 menit. Setelah proses sonikasi selesai, larutan tersebut ditambahkan dengan 5 gram pati singkong, kemudian ditambahkan gliserol dengan volume 1,5 mL ke dalam campuran. Larutan diaduk menggunakan hot plate dan magnetic stirrer pada suhu 70-80°C selama 30 menit dengan kecepatan 450 rpm hingga larutan tergelatinisasi. Selanjutnya, larutan dituangkan ke dalam cetakan loyang berdiameter 18 cm, memastikan tidak ada gelembung udara yang dapat mempengaruhi sifat mekanik bioplastik. Setelah tercetak, larutan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam. Setelah proses pengeringan selesai, bioplastik dikeluarkan dari oven dan didiamkan pada suhu ruang. Bioplastik kemudian dipisahkan dari cetakannya dengan hati-hati agar tidak rusak. Setelah itu, bioplastik dapat dikarakterisasi menggunakan FTIR, SEM, dan diuji sifat mekanik serta biodegradabilitasnya. Variasi konsentrasi TiO2 terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Konsentrasi TiO_2 dalam Pembuatan Bioplastik

Sampel	Massa Pati (gram)	Volume Gliserol (mL)	Konsentrasi TiO_2 (%)
1	5 gram	1,5 mL	1%
2	5 gram		2%
3	5 gram		3%
4	5 gram		4%
5	5 gram		5%

Uji Biodegradasi

Uji biodegradasi dilakukan untuk menentukan kualitas bioplastik sehingga dapat digolongkan sebagai plastik biodegradable atau non-biodegradable. Selain itu, uji ini juga bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan sampel bioplastik untuk terurai atau terdegradasi. Metode yang digunakan dalam uji degradasi melibatkan 50 mL larutan EM4 2%. Sampel berukuran 2x2 cm ditimbang untuk mendapatkan berat awal. Kemudian, sampel dimasukkan ke dalam larutan EM4 dan dibiarkan terbuka tanpa penutup. Pengamatan terhadap sampel dilakukan setiap hari selama 2 minggu atau hingga sampel

mengalami degradasi. Setelah itu, sampel dikeringkan kembali dan ditimbang untuk mendapatkan berat akhir.

Hasil dan Pembahasan

Pembuatan dan Pemurnian Gliserol dari Minyak Jelantah

Pembuatan gliserol dilakukan melalui proses transesterifikasi minyak jelantah dengan penambahan metanol dan katalis NaOH. Proses ini melibatkan reaksi kimia antara minyak jelantah dan alkohol (biasanya metanol atau etanol) yang menghasilkan gliserol. Faktor-faktor seperti waktu reaksi, suhu reaksi, dan kecepatan pengadukan mempengaruhi proses ini. Transesterifikasi minyak jelantah untuk produksi gliserol memerlukan suhu sekitar 70℃ karena pada suhu ini, laju reaksi transesterifikasi meningkat secara signifikan. Dengan memanaskan campuran minyak jelantah, metanol, dan katalis NaOH pada suhu 70° C, katalis NaOH menjadi aktif dan mempercepat reaksi transesterifikasi. Kecepatan pengadukan yang tinggi, yaitu 500 rpm, digunakan untuk memastikan bahwa semua bahan baku (minyak jelantah, metanol, dan katalis) tercampur dengan baik dan katalis terdistribusi secara merata dalam campuran. Setelah proses transesterifikasi selesai, gliserol dipisahkan menggunakan corong pemisah dan dibiarkan semalam (Hadrah dkk., 2018).

Gliserol kasar yang dihasilkan dari proses transesterifikasi minyak jelantah memiliki kualitas rendah karena mengandung zat pengotor seperti sisa metanol, sisa katalis NaOH, biodiesel, air, dan bahan pengotor lainnya dari bahan baku yang digunakan. Oleh karena itu, gliserol tersebut perlu dimurnikan. Proses pemurnian dilakukan dengan menambahkan asam sulfat (pengasaman) untuk menetralkan katalis basa yang masih terikat dalam gliserol. Asam sulfat ditambahkan sedikit demi sedikit hingga pH gliserol kasar mencapai pH 6. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$NaOH_{(aq)} + H_2SO_{4_{(aq)}} \rightarrow Na_2SO_{4_{(s)}} + H_2O_{(aq)}$$

Penggunaan asam sulfat dalam pemurnian gliserol dilakukan karena ion H+ dalam asam sulfat dapat memprotonasi sabun yang ada, menghasilkan asam lemak bebas. Asam lemak bebas tersebut kemudian terpisah sebagai lapisan atas karena memiliki massa jenis dan polaritas yang lebih rendah daripada gliserol. Ion SO_4^{2-} yang dihasilkan dari ionisasi H_2SO_4 dapat berikatan dengan ion natrium dari katalis NaOH, membentuk Na_2SO_4 yang cenderung tidak larut dan akan mengendap sebagai lapisan bawah. Dengan menambahkan asam sulfat, gliserol kasar dapat secara otomatis terpisah menjadi tiga lapisan berbeda: lapisan asam lemak bebas di bagian atas, lapisan gliserol di tengah, dan sedikit lapisan garam anorganik di bagian bawah.

Selain proses pengasaman, pemurnian gliserol juga melibatkan proses bleaching atau penjernihan warna. Dalam penelitian ini, proses penjernihan dilakukan dengan menggunakan bleaching earth sebanyak 1% dari berat gliserol. Proses ini melibatkan pengadukan pada kecepatan 400 rpm dan suhu 30°C selama 30 menit. Selama proses tersebut, warna gliserol berubah dari cokelat kemerahan menjadi kuning bening setelah 25 menit. Setelah waktu tersebut, tidak ada perubahan warna yang signifikan karena bleaching earth menjadi jenuh dan tidak mampu lagi menyerap warna secara maksimal. Setelah pemurnian dan penjernihan, gliserol didiamkan selama 24 jam dan kemudian disaring untuk memisahkannya dari sisa asam lemak bebas dan bleaching earth.

Hasil Analisis Fisikokimia Gliserol Hasil Pemurnian

Gliserol yang sudah dimurnikan dianalisis sifat fisik dan kimianya yang meliputi kadar air, densitas, viskositas, pH dan gugus fungsinya untuk membandingkan karakteristiknya dengan gliserol komersial.

Tabel 2. Sifat Fisik Gliserol

Sifat Fisik	Gliserol	
	Hasil Penelitian	SNI
Densitas (g/ml)	1,2572	1,2610
Kadar air (%)	9,57	Maksimal 10
Viskositas (cP)	31,5	1499
Warna	Kuning bening	Bening

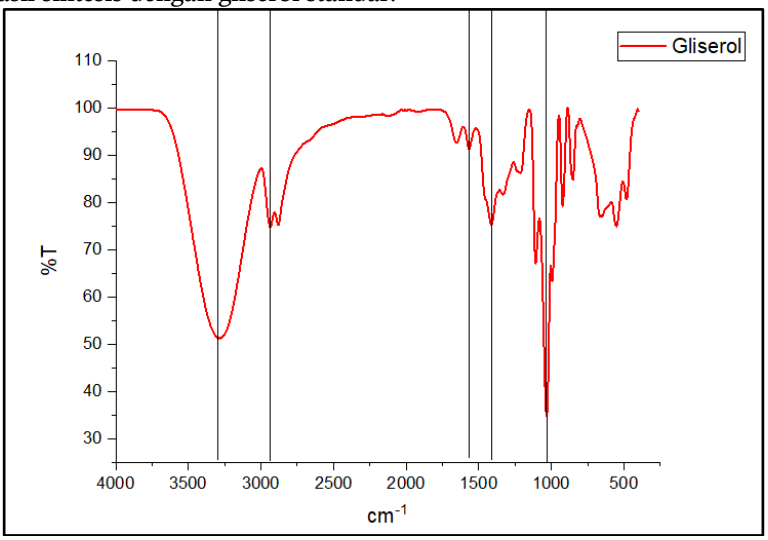
Kadar air dalam gliserol dari minyak jelantah dapat berpengaruh terhadap kualitas dan stabilitas gliserol. Kadar air yang tinggi dalam gliserol dapat menyebabkan terjadinya reaksi hidrolisis atau pemecahan molekul gliserol, yang dapat menghasilkan produk samping seperti asam lemak bebas. Produk samping tersebut dapat mengurangi kualitas dan kestabilan gliserol serta dapat menyebabkan masalah pada produk yang menggunakan gliserol sebagai bahan baku. kadar air pada sampel gliserol yang tertera pada Tabel 4 telah memenuhi standar. Kadar air yang ditetapkan oleh SNI 06-1564-1995 yaitu maksimal 10%. Pada penelitian ini kadar air 9,57% sudah memenuhi standar SNI tetapi termasuk kadar air yang masih tinggi.

Kandungan kadar air ini dapat berasal dari hasil reaksi pengasaman gliserol pada saat netralisasi terjadinya pembentukan air dari reaksi antara asam sulfat dan NaOH.

Densitas gliserol dari minyak jelantah merupakan salah satu parameter yang penting dalam karakterisasi bahan baku pada pembuatan bioplastik. Massa jenis merupakan besaran fisika yang menunjukkan perbandingan antara massa suatu benda dengan volumenya (Wahyuni dkk., 2016). Dalam pembuatan bioplastik, densitas gliserol dari minyak jelantah sangat penting untuk diukur karena dapat mempengaruhi sifat-sifat fisik dan kimiawi dari bioplastik yang dihasilkan. Untuk mengukur densitas gliserol dari minyak jelantah, dapat dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut dengan densitometer atau piknometer. Hasil penentuan densitas pada penelitian ini dengan piknometer menunjukkan densitas gliserol masih sedikit di bawah standar SNI yaitu sebesar 1,2572 g/ml. Densitas yang belum memenuhi standar ini dapat dipengaruhi adanya senyawa lain dalam gliserol seperti air dan sisa metanol.

Viskositas gliserol dari minyak jelantah dapat diukur dengan menggunakan alat yang disebut *Viscosimeter Brookfield.* Viskositas gliserol dari minyak jelantah sangat penting untuk diketahui karena viskositas dapat mempengaruhi sifat mekanik dan proses produksi dari bioplastik yang dihasilkan. Semakin besar viskositas gliserol dari minyak jelantah, semakin sulit campuran pati singkong dan gliserol dicampur secara homogen dan sulit untuk dicetak menjadi bentuk yang diinginkan. Oleh karena itu, viskositas yang optimal harus dipilih untuk memastikan bahwa bioplastik dapat dihasilkan dengan sifat mekanik dan keberlangsungan produksi yang baik. Hasil penentuan viskositas pada sampel gliserol yang sudah melewati tahap pemurnian sebesar 31,5 cP dan belum memenuhi standar yang ada. Rendahnya viskositas gliserol dapat dipengaruhi juga oleh kadar air yang terkandung dalam gliserol dan juga sisa atau zat pengotor lainnya.

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) dapat digunakan untuk menganalisis struktur kimia dari gliserol yang berasal dari minyak jelantah. FTIR merupakan teknik spektroskopi yang digunakan untuk mengidentifikasi ikatan-ikatan kimia dalam molekul dengan cara mengukur absorbansi dari radiasi inframerah yang dihasilkan. Dalam pembuatan bioplastik, analisis FTIR gliserol dari minyak jelantah sangat penting untuk memastikan bahwa gliserol yang digunakan memiliki struktur kimia yang sesuai. Keberhasilan pemurnian gliserol ini dikonfirmasi oleh hasil analisis FTIR. Gambar 1 menampilkan perbandingan hasil FTIR sampel gliserol hasil sintesis dengan gliserol standar.



Gambar 1. Hasil FTIR Gliserol

Pada FTIR gliserol terdapat gugus -OH dan gugus C=O yang memiliki pita serapan yang besar pada 3290 dan 1652 cm^{-1}. Selain itu terdapat gugus fungsi C-H alifatik atau alkana pada bilangan gelombang 2935 cm^{-1} dan juga pada bilangan gelombang 1032 cm^{-1} untuk gugus C-O. Semakin besar pita serapan untuk gugus -OH dan C=O, serta munculnya gugus C-H alifatik menunjukkan bahwa gliserol masih terdapat zat pengotor. Zat pengotor ini memiliki senyawa-senyawa yang muncul pada spektrum FTIR. Senyawa pengotor tersebut merupakan sabun, asam lemak bebas yang memiliki gugus fungsi C=O, C-O, -OH, dan C-H alifatik, sedangkan senyawa pengotor metanol memiliki gugus fungsi -OH dan C-H alifatik dan senyawa air memiliki gugus fungsi -OH. Tabel 3 menunjukkan hasil panjang gelombang FTIR pada sampel gliserol.

Tabel 3. Daerah Absorpsi Gugus Fungsi pada Sampel Gliserol

No.	Bilangan Gelombang	Ikatan
1.	3290,38 cm^{-1}	-OH
2.	2935,14 cm^{-1}	C-H alifatik
3.	1652,25 cm^{-1}	C=O
4.	1412,01 cm^{-1}	C-H dari CH_2
5.	1032,83 cm^{-1}	C-O

Karakteristik Pati Singkong

Dalam penelitian ini, pati yang digunakan adalah pati singkong merek Rose Brand, dan analisis kadar patinya dilakukan menggunakan metode Luff Schoorl melalui hidrolisis asam. Menurut standar SNI 3451:201, metode ini merupakan salah satu cara untuk menganalisis karbohidrat dalam sampel. Hidrolisis asam dilakukan dengan menggunakan HCl sebagai katalisator yang bertujuan untuk mengubah pati menjadi glukosa. Pemanasan dalam suasana asam mempercepat hidrolisis pati menjadi gula pereduksi, di mana suhu yang lebih tinggi menghasilkan lebih banyak gula pereduksi. Proses ini menyebabkan pemecahan pati menjadi unit glukosa dari amilosa dan amilopektin lebih cepat, serta menghasilkan struktur pati yang lebih longgar. Akibatnya, pati memiliki kemampuan yang lebih tinggi dalam menyerap air dibandingkan dengan amilum. Hal ini juga menyebabkan berat molekul dan kadar glukosa dalam pati lebih tinggi (Pramesti et al., 2015).

Hasil hidrolisis menghasilkan hidrolisat, yaitu larutan kental berwarna cokelat kekuningan yang terutama mengandung glukosa. Setelah proses hidrolisis selesai dan larutan didinginkan, NaOH dan indikator fenolftalein (PP) ditambahkan. NaOH berfungsi menghentikan reaksi hidrolisis dan menetralkan pH larutan dengan mengikat ion H+ dalam larutan asam, sehingga pH menjadi netral atau mendekati pH 7. Indikator PP digunakan untuk menunjukkan sifat asam atau basa larutan, berubah warna menjadi merah muda pada pH 8 hingga 10. Dalam uji amilosa dan amilopektin, indikator PP membantu mengidentifikasi titik akhir penambahan NaOH untuk menetralkan larutan yang telah selesai hidrolisis, ditandai dengan perubahan warna menjadi merah muda, menunjukkan bahwa larutan telah mencapai pH netral atau mendekati netral.

Reaksi yang terjadi dalam penentuan kandungan gula dengan metode Luff Schoorl adalah sebagai berikut:

$$R - COH + 2CuO \rightarrow Cu_2O_{(s)} + R - COOH_{(aq)} \text{ .....(1)}$$

$$Cu_2O + 2H_2SO_{4_{(aq)}} \rightarrow 2CuSO_{4_{(aq)}} + H_2O_{(l)} \text{.....(2)}$$

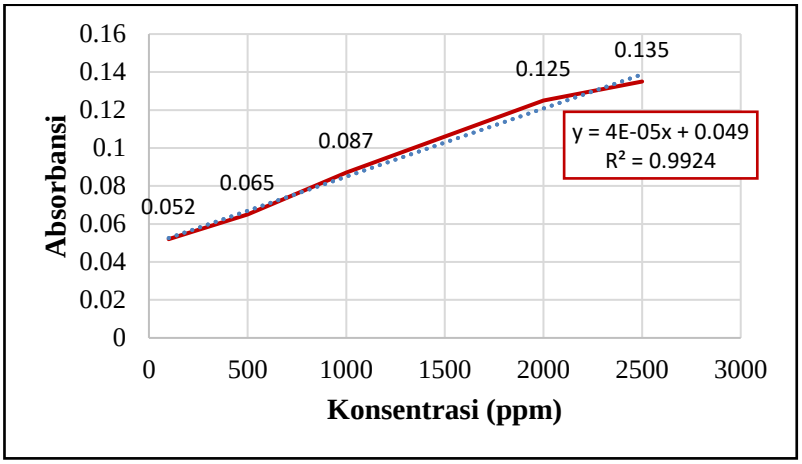
$$2CuSO_{4_{(aq)}} + 4KI_{(aq)} \rightarrow 2CuI + I_2 + 2K_2SO_{4_{(aq)}} \text{.....(3)}$$

$$I_2 + 2Na_2S_2O_3 \rightarrow Na_2S_4O_6 + 2NaI \text{.....(4)}$$

(Anggreani & Anisah, 2021).

Proses refluks pertama menghasilkan larutan yang kemudian ditambah dengan larutan Luff Schoorl dan direfluks selama 10 menit untuk mempercepat reaksi. Setelah itu, larutan direaksikan dengan asam sulfat 25% untuk mengikat ion tembaga dari reduksi monosakarida. Selanjutnya, larutan asam sulfat dicampur dengan larutan KI 20% untuk melepaskan iodin, ditandai dengan perubahan warna menjadi kuning dan terbentuknya busa coklat kehitaman. Reaksi ini menghasilkan Cu_2I_2 dan larutan iodin (I_2). Larutan iodin kemudian dititrasi dengan natrium tiosulfat ($Na_2S_2O_3$) hingga warna berubah menjadi kuning jerami, dengan indikator amilum yang membantu mengamati perubahan warna dari biru menjadi putih keruh. Kadar amilum yang diperoleh menggunakan metode Luff Schoorl adalah 44,185%.

Kadar amilosa dalam pati singkong diukur menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 575 nm, sementara kadar amilopektin dihitung sebagai selisih antara total pati dan amilosa. Pemisahan amilosa dan amilopektin dilakukan melalui pemanasan, di mana amilosa larut dalam air panas sedangkan amilopektin tidak. Nilai absorbansi dari amilosa disubstitusikan ke dalam persamaan linear dari kurva kalibrasi standar yang menunjukkan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9924. Ini menunjukkan bahwa 99,24% variasi dalam absorbansi dapat dijelaskan oleh konsentrasi, menandakan korelasi positif yang kuat antara konsentrasi dan absorbansi.



Gambar 21. Kurva Kalibrasi Standar Amilosa

Nilai absorbansi sampel pada panjang gelombang 575 nm adalah 0,093. Berdasarkan perhitungan, konsentrasi sampel pati singkong diperoleh sebesar 1100 ppm atau 1,1 mg/mL. Dengan demikian, kadar amilosa pada pati singkong adalah 11%, sedangkan kadar amilopektin dihitung sebagai selisih antara kadar amilum dengan kadar amilosa, dan hasilnya adalah 33,1855%.

Pembuatan Bioplastik

Dalam penelitian ini, sampel bioplastik dibuat dengan variasi bahan penguat yaitu TiO_2. Pembuatan bioplastik melibatkan pencampuran semua bahan penyusun seperti pati, gliserol, aquades, dan TiO_2. Campuran tersebut kemudian dipanaskan pada suhu 70-80°C sambil diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 25-30 menit dengan kecepatan 400 rpm hingga larutan tergelatinisasi.

Bioplastik yang dibuat tanpa TiO_2 memiliki karakteristik elastis, transparan, dan sedikit berwarna kecokelatan akibat penambahan gliserol dari minyak jelantah. Sebaliknya, bioplastik dengan penambahan TiO_2 juga elastis, tetapi berwarna putih dan tidak transparan. Warna putih ini disebabkan oleh partikel TiO_2 yang berfungsi sebagai pigmen warna putih. Semakin banyak TiO_2 yang ditambahkan, semakin intens warna putih yang dihasilkan pada bioplastik.

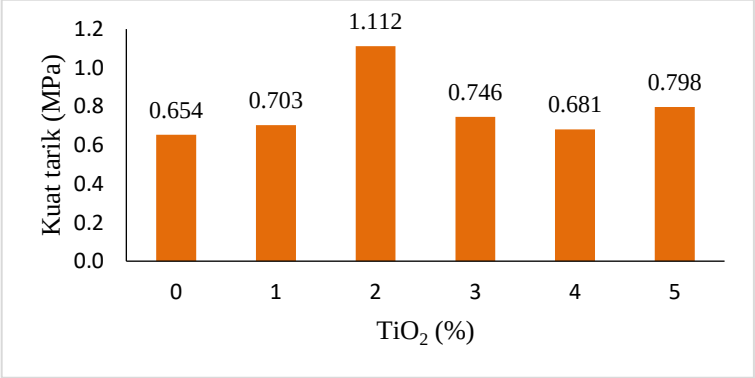
Sifat Mekanik Bioplastik

Pengujian sifat mekanik bioplastik dilakukan di Laboratorium Teknologi Pangan Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang. Pengujian ini mencakup uji kuat tarik, elongasi, dan modulus Young, dan bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik dari bioplastik yang dihasilkan. Hasil pengukuran sifat mekanik bioplastik dengan penambahan gliserol dan variasi konsentrasi TiO_2 dapat dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Sifat Mekanik Bioplastik

Sampel Bioplastik Konsentrasi TiO2 (%)	Sifat Mekanik		
	Kuat Tarik (MPa)	Modulus Young (MPa)	Persen Pemanjangan (%)
0	0,654	5,023	34,284
1	0,703	6,249	21,023
2	1,112	13,896	29,186
3	0,746	6,333	25,976
4	0,681	6,907	23,783
5	0,798	7,580	22,318

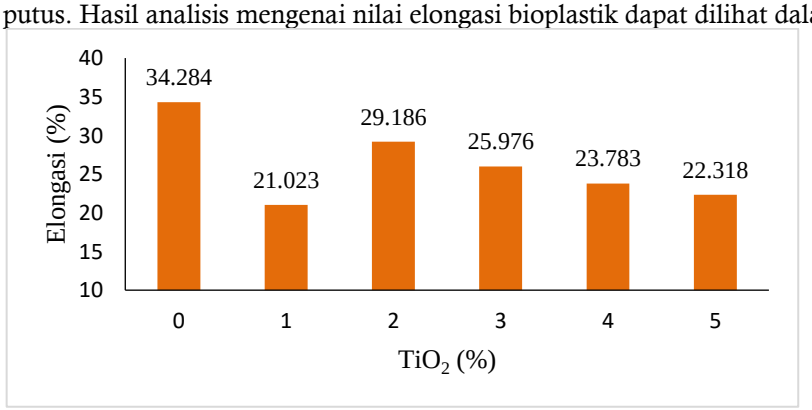
Kekuatan tarik adalah ukuran seberapa besar beban atau gaya yang dapat ditahan sebelum suatu sampel rusak atau patah. Pada bioplastik, kekuatan tarik dipengaruhi oleh penambahan plasticizer (gliserol) dan bahan penguat (TiO_2) selama proses pembuatannya. Gambar 3 menunjukkan pengaruh variasi konsentrasi TiO_2 terhadap kekuatan tarik bioplastik, memberikan informasi tentang sejauh mana penambahan TiO_2 memengaruhi sifat mekanik kuat tarik dari bioplastik tersebut.



Gambar 2. Grafik Hubungan antara Kuat Tarik Bioplastik dan Konsentrasi TiO_2

Berdasarkan Gambar 3, penambahan TiO_2 terbukti meningkatkan kuat tarik pada bioplastik, dengan hasil terbaik dicapai saat TiO_2 ditambahkan sebanyak 2%. Penurunan kuat tarik pada konsentrasi TiO_2 yang lebih tinggi disebabkan oleh ketidakmerataan permukaan bioplastik dan agregasi TiO_2, yang menciptakan titik-titik fokus stres dan mengurangi kekuatan tarik bioplastik secara keseluruhan. Penambahan nanopartikel TiO_2 juga mengubah sifat matriks bioplastik dari homogen menjadi heterogen (Kustiningsih dkk., 2021). Meskipun penambahan TiO_2 umumnya meningkatkan kuat tarik, nilai yang dihasilkan dalam penelitian ini masih jauh di bawah standar yang ditetapkan oleh Japanese Industrial Standard (JIS) sebesar 3,92266 MPa dan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berkisar antara 24,7 hingga 302 MPa.

Persen pemanjangan (elongasi) adalah ukuran yang menggambarkan perubahan panjang bioplastik setelah mengalami peregangan hingga mencapai titik putus. Ini adalah salah satu parameter penting dalam sifat mekanik bioplastik karena dapat memberikan informasi tentang sejauh mana bioplastik dapat meregang sebelum akhirnya putus. Hasil analisis mengenai nilai elongasi bioplastik dapat dilihat dalam Gambar 4.

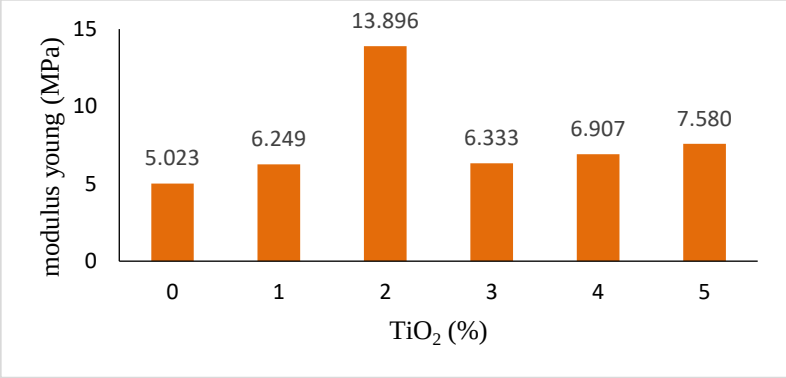


Gambar 3. Grafik Hubungan antara Elongasi Bioplastik dan Konsentrasi TiO_2

Berdasarkan Gambar 4, nilai persen pemanjangan menunjukkan grafik yang tidak berpola, namun ada kecenderungan penurunan persentase pemanjangan akibat penambahan TiO_2 ke dalam matriks tiga dimensi bioplastik. TiO_2 mengganggu interaksi antara pati dan plasticizer gliserol, melemahkan ikatan antar polimer. Penambahan TiO_2 yang berlebihan juga dapat sedikit mengurangi nilai elongasi karena agregasi TiO_2 dapat melemahkan sifat mekanik dan keteraturan struktur jaringan bioplastik. Namun, penambahan TiO_2 dalam proporsi yang sesuai akan meningkatkan kekuatan tarik dan mengurangi nilai elongasi melalui interaksi molekul yang lebih baik.

Data elongasi dalam Gambar 16 mendukung konsep bahwa peningkatan jumlah TiO_2 akan mengurangi nilai elongasi bioplastik. Menurut Japanese Industrial Standard (JIS), nilai elongasi kurang dari 10% dikategorikan sebagai buruk, dan lebih dari 50% sebagai sangat baik. Standar Nasional Indonesia (SNI) menetapkan nilai elongasi antara 21% hingga 220%. Bioplastik yang dihasilkan dalam penelitian ini sesuai dengan ketentuan SNI dan JIS.

Modulus Young adalah parameter yang bergantung pada nilai kuat tarik dan elongasi bioplastik. Modulus Young mengukur tingkat kekakuan atau kekakuan elastis bioplastik terhadap perubahan panjangnya saat diberikan tekanan atau peregangan. Semakin besar nilai Modulus Young, semakin kaku atau kurang elastis suatu bahan. Hasil analisis mengenai nilai Modulus Young pada bioplastik dapat dilihat dalam Gambar 5



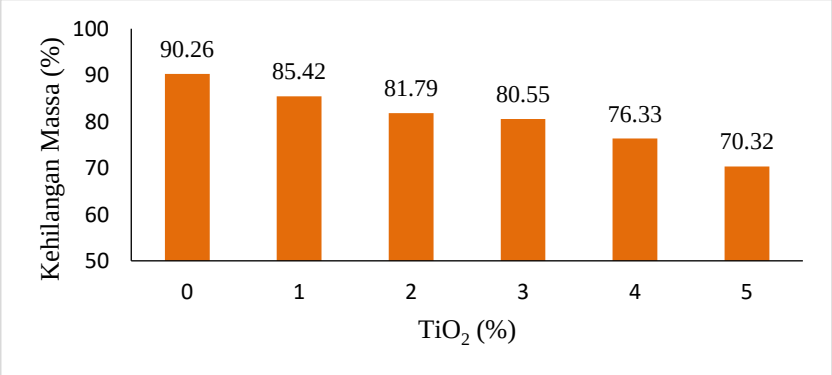
Gambar 4. Grafik Hubungan antara Modulus Young Bioplastik dan Konsentrasi TiO_2

Berdasarkan Gambar 5, penambahan TiO_2 berpengaruh positif terhadap peningkatan nilai modulus Young bioplastik. Modulus Young, yang menunjukkan tingkat kekakuan bioplastik, dipengaruhi oleh kuat tarik dan elongasi. Karena penambahan TiO_2 memengaruhi kedua sifat ini, maka berdampak pula pada modulus Young. Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan TiO_2 meningkatkan kuat tarik dan mengurangi elongasi bioplastik, sehingga semakin tinggi konsentrasi TiO_2 yang ditambahkan, semakin tinggi nilai modulus Young yang dihasilkan.

Menurut standar industri Jepang (JIS), modulus Young minimum yang diharapkan untuk bioplastik adalah sebesar 0,35 MPa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai modulus Young bioplastik memenuhi standar JIS, dengan kisaran antara 6,25 hingga 13,90 MPa. Nilai modulus Young yang tinggi ini dipengaruhi oleh pembentukan ikatan hidrogen dalam struktur bioplastik, yang menyebabkan perpanjangan rantai bioplastik dan membuatnya lebih elastis.

Biodegradasi Bioplastik

Bioplastik yang terbuat dari pati singkong dilakukan pengujian biodegradabilitasnya dengan menggunakan mikroorganisme efektif (Effective Microorganism atau EM4). Uji biodegradabilitas ini bertujuan untuk menentukan periode waktu yang dibutuhkan agar bioplastik mengalami degradasi. Proses uji dimulai dengan memotong bioplastik menjadi potongan-potongan berukuran 2 cm x 2 cm, lalu diukur massa awalnya sebelum dimasukkan ke dalam larutan yang mengandung EM4. Pengamatan hasil uji biodegradasi bioplastik dilakukan secara visual, yang mencakup pemantauan melalui fotografi bioplastik yang berada dalam larutan EM4. bioplastik yang diuji biodegradabilitasnya pada hari ke 10 telah mengalami pengurangan massanya.

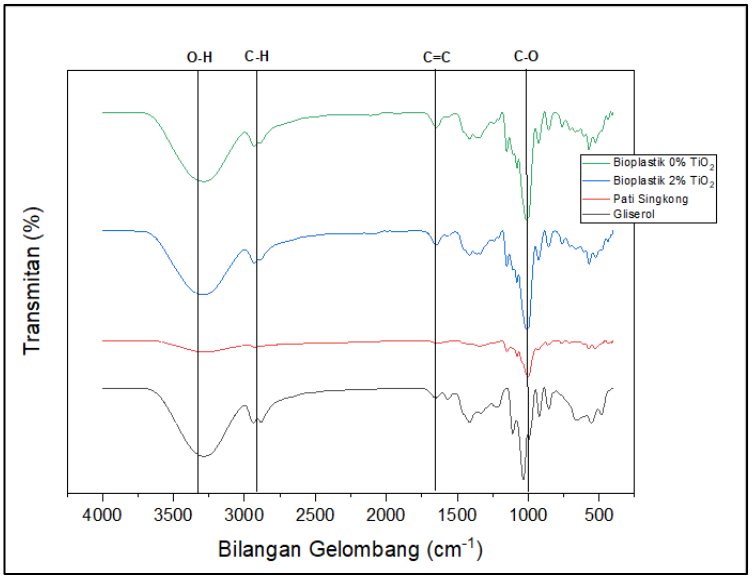


Gambar 5. Grafik persen Pengurangan Massa pada Uji Biodegradasi Bioplastik

Hasil uji biodegradabilitas menggambarkan bahwa semakin banyak TiO_2 yang dimasukkan ke dalam bioplastik, semakin sulit proses degradasi terjadi karena sifat anti mikroba dari TiO_2. Bioplastik yang tidak mengandung TiO_2 mengalami penurunan massa yang lebih cepat dibandingkan dengan bioplastik yang mengandung TiO_2. Rata-rata persentase penurunan berat pada bioplastik pati tanpa partikel TiO_2 adalah sekitar 90%, sementara pada bioplastik dengan TiO_2, persentasenya adalah sekitar 78%. Dari uji ini juga terbukti bahwa penambahan TiO_2 menambah kekuatan bioplastik.

Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FT-IR

FTIR merupakan metode karakterisasi yang berdasarkan pada respons getaran atom atau molekul terhadap radiasi inframerah yang melewati suatu bahan atau sampel, serta mengukur energi yang diserap. Energi ini berkaitan dengan frekuensi getaran atom dalam bahan tersebut. Perbedaan tingkat penyerapan energi inilah yang dimanfaatkan untuk identifikasi gugus fungsi (Maneking dkk., 2020). Oleh karena itu, analisis FTIR dilaksanakan untuk mengeksplorasi interaksi antara atom-atom yang membentuk bioplastik. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menentukan apakah penambahan TiO_2 ke dalam bioplastik mampu mengubah struktur atau memunculkan gugus baru dalam komposisi bioplastik. Karakteristik FTIR dari bahan penyusun bioplastik dan sampel bioplastik terdapat pada Gambar 7.



Gambar 6. Hasil Uji FTIR Bioplastik dan Bahan Penyusunnya

Hasil uji FTIR menghasilkan daerah absorbansi dengan bilangan gelombang yang berbeda. Daerah absorbansi gugus fungsi sampel bioplastik dan bahan penyusunnya terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5. Daerah Absorbansi Gugus Fungsi Sampel Bioplastik dan Bahan Penyusunnya

Jenis Ikatan	Bilangan Gelombang (cm^{-1})			
	Gliserol	Pati Singkong	Bioplastik tanpa TiO_2	Bioplastik TiO_2
Gugus Fenol (O-H)	3290	3294	3295	3294
Gugus C-H *stretching*	2935	2925	2936	2930
Gugus C=O	1652	1639	1655	1653
Gugus CH_2 *bending*	1412	1415	1408	1408
Gugus ester/eter (C-O)	1032	1008	1008	1020

Berdasarkan tabel 5 menunjukkan adanya puncak serapan pada bilangan gelombang 3290, 3294, 3295 dan 3294 cm-1 terlihat adanya vibrasi ulur dari gugus -OH. Puncak bilangan gelombang 2935, 2925, 2936 dan 2930 cm-1 menunjukkan vibrasi ulur gugus C-H. Pita serapan 1412, 1415, 1408 dan 1408 cm-1 merupakan adanya ikatan -CH. Vibrasi ulur pada puncak bilangan gelombang 1032, 1008, 1008 dan 1020 cm-1 menunjukkan adanya renggangan gugus C-O.

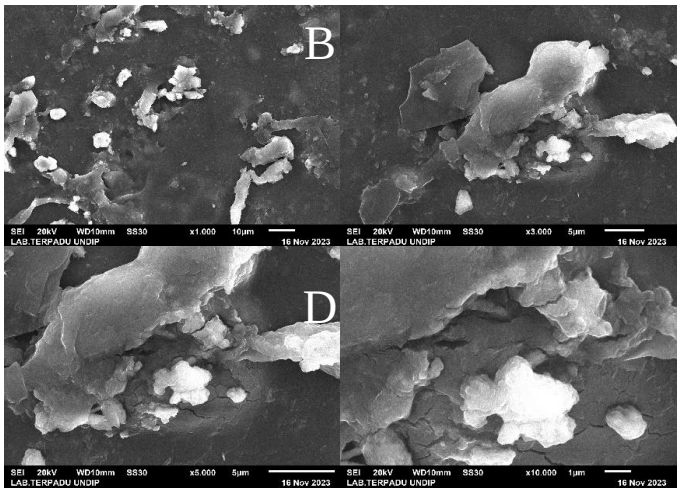
Hasil analisis FTIR menunjukkan kesamaan nilai panjang gelombang pada bioplastik yang terbentuk dengan bahan baku yang digunakan. Penambahan komponen seperti pati, gliserol, dan TiO_2 tidak mengindikasikan pembentukan gugus fungsi baru pada panjang gelombang yang tercatat. Ini disebabkan oleh metode pembuatan bioplastik yang dilakukan melalui pencampuran fisik, interaksi hidrogen antara rantai penyusun terjadi tanpa perubahan gugus kimia yang signifikan.

Spektrum FTIR bioplastik yang ditambahkan TiO_2 tidak menunjukkan adanya perbedaan dengan spektrum bioplastik tanpa TiO_2. Penambahan TiO_2 dalam proses pembuatan bioplastik tidak menghasilkan gugus fungsi baru. Ini menandakan bahwa interaksi antara TiO_2 dan matriks pati selama proses pembuatan

bioplastik adalah interaksi fisik, bukan interaksi kimia. Dengan demikian, tidak ada reaksi kimia yang terjadi antara TiO_2 dengan matriks, sehingga tidak terbentuk zat baru yang berbeda dari bahan asalnya. Perbedaan antara spektrum FTIR bioplastik tanpa TiO_2 dan yang memiliki TiO_2 terlihat pada intensitas dan lebar puncaknya. Perubahan dan pergeseran puncak menunjukkan adanya perubahan dalam vibrasi gugus fungsinya.

Karakterisasi Morfologi dengan SEM

Analisis SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi dari permukaan sampel bioplastik yang dihasilkan. sampel yang diuji adalah sampel yang memiliki hasil kuat Tarik yang paling tinggi yang diujikan untuk uji SEM. Hasil uji bioplastik disajikan pada Gambar 8.



Gambar 7. Morfologi Bioplastik dengan penambahan TiO_2 2%, menggunakan perbesaran (A) 1.000x, (B) 3.000x, (C) 5.000x dan (D) 10.000x

Berdasarkan hasil SEM pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa, larutan tidak bercampur secara homogen. Hasil pengujian SEM mengindikasikan masih adanya partikel TiO_2 dan pati yang masih belum merata. Distribusi partikel TiO_2 yang tidak merata dan keberadaan gumpalan-gumpalan menyebabkan peningkatan kekasaran permukaan bioplastik. Konsentrasi TiO_2 yang lebih tinggi mengakibatkan penurunan kelenturan dan mengubah morfologi permukaan menjadi lebih rapat yang mempengaruhi kekuatan tarik bioplastik. Pengamatan SEM pada bioplastik dengan TiO_2 menunjukkan permukaan yang tidak rata dan kasar. Partikel TiO_2 belum mengalami proses gelatinisasi selama pencampuran, yang menghasilkan morfologi khas dengan campuran yang tidak kompatibel. Keberadaan permukaan yang tidak rata dan tidak teratur mempengaruhi nilai kekuatan tarik (Amin dkk., 2019)

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan TiO_2 memiliki pengaruh terhadap nilai kuat tarik, modulus young dan elongasi dalam bioplastik. Namun, penambahan TiO_2 yang berlebihan dapat menghasilkan agregasi, yang dapat menurunkan nilai kuat tarik bioplastik. Komposisi terbaik pada pembuatan bioplastik dengan penambahan TiO_2 diperoleh pada penambahan 2% TiO_2 dan 1,5 mL gliserol dengan nilai kuat tarik 1,112 MPa, nilai persen pemanjangan (elongasi) 29,186% dan nilai modulus young 13,896%. Selain itu, penambahan TiO_2 dalam pembuatan bioplastik mempengaruhi pada laju biodegradasi bioplastik. Semakin tinggi konsentrasi TiO_2 yang ditambahkan semakin lama laju degradasi bioplastik terjadi.

Daftar Referensi

Agusti, T. R., & Nurlatifah, I. (2020). Esterifikasi Gliserol Produk Samping Biodiesel Menjadi Triasetin Menggunakan Katalis SO_4^{2-}/TiO_2. *JIMTEK : Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik*, *1*(November), 290.

Amin, M. R., Chowdhury, M. A., & Kowser, M. A. (2019). Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch. *Heliyon*, *5*(8).

Anggreani, N., & Anisah, S. (2021). Analisis Kadar Glukosa Jeruk Lokal Provinsi Bengkulu Menggunakan Metode Luff Schoorl. *Jurnal Kesehatan Tambusai*, *2*(4), 343–347.

Ardiansyah, A., Nurlansi, N., & Musta, R. (2018). Waktu Optimum Hidrolisis Pati Limbah Hasil Olahan Ubi Kayu (Manihot esculenta Crantz var. Lahumbu) Menjadi Gula Cair Menggunakan Enzim α-Amilase Dan Glukoamilase. *Indo. J. Chem. Res.*, *5*(2), 86–95.

Bungan, G. K., Aritonang, H. F., & Wuntu, A. D. (2021). Pembuatan Nanokomposit Kitosan/TiO_2/Ag Dan Analisis Aktivitasnya Sebagai Antibakteri. *Chemistry Progress*, *14*(1), 32–39.

Cahyaningtyas, A. A., Ermawati, R., Supeni, G., Syamani, F. A., Masruchin, N., Kusumaningrum, W. B., Pramasari, D. A., Darmawan, T., Ismadi, I., Wibowo, E. S., Triwibowo, D., & Kusumah, S. S. (2019). Modifikasi dan Karakterisasi Pati Batang Kelapa Sawit Secara Hidrolisis sebagai Bahan Baku Bioplastik. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, *41*(1), 37.

Cengristitama &, & Wulandari, G. A. (2021). Variasi penambahan kitosan dalam pembuatan bioplastik dari limbah sekam padi dan minyak jelantah. *Jurnal TEDC*, *15*(1), 8–14.

Cengristitama, & Insan, V. D. N. (2020). Pemanfaatan Limbah Sekam Padi dan Minyak Jelantah Untuk Pembuatan Bioplastik. *Jurnal TEDC*, *14*(1), 15–23.

Hadrah, H., Kasman, M., & Sari, F. M. (2018). Analisis Minyak Jelantah Sebagai Bahan Bakar Biodiesel dengan Proses Transesterifikasi. *Jurnal Daur Lingkungan*, *1*(1), 16.

Kamsiati, E., Herawati, H., & Purwani, E. Y. (2017). Potensi Pengembangan Plastik Biodegradable Berbasis Pati Sagu dan Ubikayu di Indonesia / The Development Potential of Sago and Cassava Starch-Based Biodegradable Plastic in Indonesia. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, *36*(2), 67.

Kustiningsih, I., Barleany, D. R., Abriyani, D., Ridwan, A., Syairazy, M., & Firdaus, M. A. (2021). TiO2/Chitosan bioplastic as Antibacterial of Stephylococcus aureus for Food Preservation. *World Chemical Engineering Journal*, *5*(1), 18–24.

Maneking, E., Sangian, H. F., & Tongkukut, S. H. J. (2020). Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik Berbahan Dasar Biomassa dengan Plasticizer Gliserol. *Jurnal MIPA*, *9*(1), 23.

Merisiyanto, G., Hangga, A., Mawarani, J., Photobiodegradable, P., & Jalar, B. (n.d.). *Berbahan Umbi Ubi Jalar*. 79–82.

Natalia, E. V., & Muryeti. (2020). Pembuatan Plastik Biodegradable dari Pati dan Kitosan. *Journal Printing and Packaging Technology*, *1*, 57–68.

Pardi, P. (2016). Pemurnian Gliserol Kasar Dari Residu Gliserol Hasil Samping Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Sains Dan Teknologi Reaksi*, *4*(2), 13–17.

Pramesti, H. A., Siadi, K., & Cahyono, E. (2015). Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229 Sejarah Artikel: Diterima Pebruari. *J. Chem. Sci*, *4*(1), 26–30.

Prameswari, C. A., & Prembayun, A. R. (2022). Sintesis Plastik Biodegradable dari Pati Kulit Singkong dan Kitosan Kulit Larva Black Soldier Fly dengan Penambahan Polyethylene glycol sebagai Plasticize*r*. *6*(2019), 4454–4461.

Sari, D. M., Utami, S. P., & Bahruddin. (2019). Pembuatan Bioplastik Berbasis Pati Sagu dengan Modifikator Asam Sitrat dan Filler Carboxymethyl Cellulose (CMC). *Jom FTEKNIK*, *6*(1), 1–6.

Suhendra, A. D., Asworowati, R. D., & Ismawati, T. (2020). Sintesis Kulit Ubi Kayu (manihot esculenta) Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Kemasan Biodegradable. *Akrab Juara*, *5*(1), 43–54.

Ulfiasari, R., Umiyati, R., & Hasbullah, U. H. A. (2021). Pengembangan Edible Film Berbasis Pati Talas Termodifikasi Secara Cross - Linking Menggunakan Sodium Tripolyphosphate Dengan Plastisizer Gliserol. *Agrointek*, *15*(2), 583–591.

Wahyuni, S., Hambali, E., & Marbun, B. T. H. (2016). Esterifikasi Gliserol Dan Asam Lemak Jenuh Sawit Dengan Katalis Mesa. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, *26*(3), 333–342.

Widyaningrum, B. A., Kusumaningrum, W. B., Syamani, F. A., Pramasari, D. A., Kusuma, S. S., Akbar,

F., Ermawati, R., & Cahyaningtyas, A. A. (2020). Karakteristik Sifat Mekanik Bioplastik Pati Singkong/Pva Dengan Penambahan Pulp Tandan Kosong Kelapa Sawit Dan Asam Sitrat Teraktivasi. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, *42*(2), 46.

Yudistirani, Sri Anastasia Susanty Deddy, R. U., & Hamany, N. (2019). Pengaruh Variasi Konsentrasi Gliserol Dari Minyak Jelantah Terhadap Nilai Uji Tarik Bioplastik Dari Pemanfaatan Limbah Kulit Ari Kacang Kedelai. *Jurnal Konversi*, *8*(1), 55–60.