

Pengaruh Penambahan Gliserol dan Kaolin serta Variabel Suhu pada Pembuatan Bioplastik dari Kulit Pisang Raja

Siti Diyar Kholisoh¹, Faizah Hadi², Endang Sulistyawati³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, UPN "Veteran" Yogyakarta

E-mail: diyar.kholisoh@upnyk.ac.id

ABSTRACT

*Bioplastic is a kind of plastic made from natural polymers such as starch with a mixture of plasticizers and fillers. Banana peel (*Musa paradisiaca L*) can be used as a source of starch because it contains high starch, which is approximately 80%. This study was aimed to determine the effect of variations in glycerol concentration, kaolin concentration, and stirring temperature on the characteristics of the bioplastic, where glycerol and kaolin act as plasticizers and fillers. The experiment was conducted by mixing raw materials in the form of banana peel powder, glycerol, and kaolin. The concentrations of glycerol and kaolin were varied at 5%; 10%; 15%; 20%; 25% v/w starch, and 5%; 10%; 15%; 20%; 25% w/w starch, respectively, until bioplastic with optimum mechanical properties was obtained. Furthermore, the experiment was continued with temperature variations of 65°C; 70°C; 75°C; 80°C; and 85°C. The quality of bioplastics was examined through the thickness, tensile strength, elongation percentage, water absorption, biodegradation, and FTIR tests. Optimum results were obtained in bioplastics with a glycerol concentration, kaolin concentration, and stirring temperature of 20%, 15%, and 75°C, respectively. The relatively best bioplastics yielded had characteristics of a thickness of 0.084 mm, tensile strength of 13.047 MPa, elongation of 13.13%, and water absorption of 3.56%. These results have met Indonesia's national standards for bioplastics.*

Keywords: banana peel, bioplastic, elongation, tensile strength, water absorption capacity

INTISARI

Bioplastik merupakan plastik yang terbuat dari polimer alam seperti pati dengan campuran *plasticizer* dan *filler*. Kulit pisang raja (*Musa paradisiaca L*) dapat digunakan sebagai sumber pati karena mengandung pati tinggi yaitu kira-kira 80%. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi gliserol, konsentrasi kaolin, dan suhu terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan, di mana gliserol dan kaolin berperan sebagai *plasticizer* dan *filler*. Eksperimen dilakukan dengan mencampurkan bahan baku berupa bubuk kulit pisang raja, gliserol, dan kaolin. Konsentrasi gliserol dan kaolin divariasikan masing-masing pada angka 5%; 10%; 15%; 20%; 25% v/b pati, serta 5%; 10%; 15%; 20%; 25% b/b pati hingga diperoleh bioplastik dengan sifat mekanik yang optimum. Selanjutnya, eksperimen dilanjutkan dengan variasi suhu 65°C; 70°C; 75°C; 80°C; dan 85°C. Kualitas bioplastik dilakukan melalui uji ketebalan, kuat tarik, persen elongasi, daya serap air, biodegradasi, dan uji FTIR. Hasil optimum penelitian ini diperoleh pada bioplastik dengan perbandingan konsentrasi gliserol, kaolin, dan suhu masing-masing sebesar 20%, 15%, dan 75°C. Bioplastik tersebut mempunyai karakteristik berupa ketebalan sebesar 0,084 mm, kuat tarik sebesar 13,047 MPa, persen elongasi sebesar 13,13%, dan daya serap air sebesar 3,56%. Hasil ini sudah memenuhi standar nasional Indonesia (SNI) untuk bioplastik.

Kata kunci: bioplastik, daya serap air, elongasi, kuat tarik, kulit pisang raja.

PENDAHULUAN

Bioplastik atau sering disebut sebagai plastik *biodegradable* merupakan salah satu jenis plastik yang hampir keseluruhannya terbuat dari bahan yang dapat diperbarui, seperti pati, minyak nabati, selulosa, dan mikrobiota. Bioplastik dapat diuraikan secara kimia oleh mikroorganisme. Polimer merupakan makromolekul besar yang terbentuk dari unit-unit atau monomer berulang sederhana. Salah satu kelompok polimer ini adalah plastik. Bahan utama yang sering digunakan dalam pembuatan plastik *biodegradable* adalah pati dan *poly-lactic acid* (PLA). Salah satu sumber pati yang terdapat di alam adalah kulit pisang, yang bisa menjadi alternatif bahan baku dalam pembuatan bioplastik. Kulit pisang mengandung sumber pati yang sangat tinggi. Ketika kulit pisang matang, maka kadar glukosanya meningkat. Jenis kulit pisang yang terbaik yakni kulit pisang raja

(*Musa paradisiaca L*), karena memiliki struktur serat yang lebih tebal dan memiliki kandungan pati dan kalsium yang tinggi. Sifat mekanis bioplastik pada dasarnya sama dengan plastik konvensional yaitu fleksibel, dapat dicetak (*moldable*), tidak berbau, memiliki daya tarik yang tinggi, mampu menghambat keluar masuknya gas dan uap air, serta transparan. Sifat mekanik yang menjadi standar kekuatan dari bioplastik pada umumnya terdiri dari kuat tarik, elongasi, dan modulus Young. Kekuatan tarik suatu bahan merupakan gambaran mutu bahan secara mekanik. Uji tarik merupakan uji mekanik dasar yang digunakan untuk menentukan modulus elastisitas, elongasi, kekuatan tarik, titik luluh, dan sifat lainnya (Gill, 2014; Larson, 2015; Su dkk., 2007; Sultan dan Johari, 2017). Sifat-sifat bioplastik berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Sifat-sifat bioplastik sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI:7188.7, 2016)

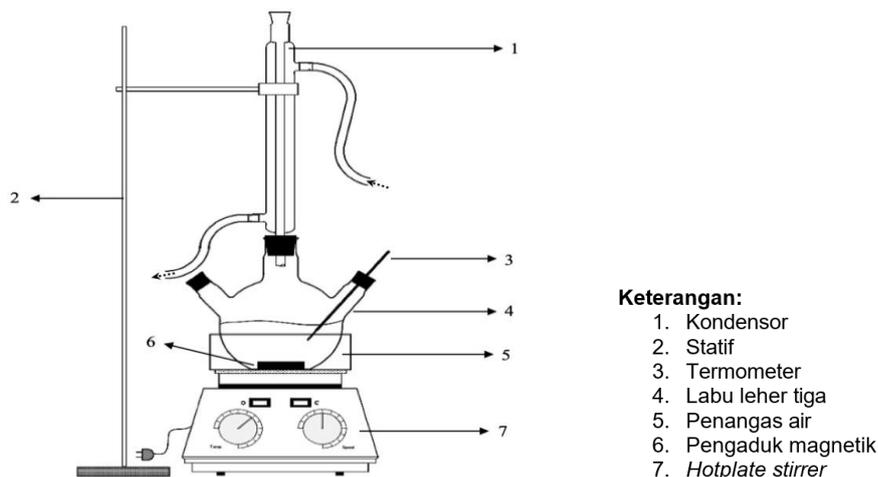
No.	Karakteristik	Nilai
1.	Kuat tarik (MPa)	> 1
2.	Persen elongasi (%)	10–20
3.	Daya serap air (%)	≤ 5
4.	Biodegradasi (%)	60 (<i>dalam satu minggu</i>)

Plastik *biodegradable* dari pati pada umumnya masih memiliki kekurangan sehingga dibutuhkan zat aditif untuk memperbaiki sifatnya, seperti *plasticizer*, karena dapat meningkatkan elastisitas pada suatu material, di mana salah satunya adalah gliserol. *Plasticizer* adalah senyawa yang memungkinkan plastik yang dihasilkan tidak mudah rapuh dan kaku. Pemanfaatan bioplastik yang disintesis dari pati memiliki keterbatasan karena sifat mekanik yang lemah dan sensitif terhadap kelembaban. Agar dihasilkan kekuatan plastik yang cukup tinggi, maka proses pembuatannya juga memerlukan penambahan zat pengisi (*filler*) sebagai penguat. Pengisi untuk plastik yang umum digunakan adalah alumina trihidrat, monmorilonit, *clay*, silika, mica, abu layang, wollastonit, kaolin, dan lain-lain. Kaolin merupakan salah satu jenis lempung yang banyak digunakan sebagai bahan pengisi pada berbagai komposit untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya (Darni dkk, 2010; Suryanto dkk., 2019). Berdasarkan uraian singkat tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi gliserol, konsentrasi kaolin, dan suhu terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan dari pati kulit pisang raja.

METODE

Bahan dan alat

Bahan utama dalam penelitian ini berupa kulit pisang raja (mentah) yang diperoleh dari daerah Bantul, DIY, larutan gliserol 98%, dan kaolin. Pada proses awalnya, kulit pisang dianalisis kandungan pati, air, amilosa, dan amilopektinnya lebih dahulu. Bahan pendukung yang digunakan berupa larutan asam asetat 5% dan *aquadest*. Beberapa peralatan yang digunakan meliputi: labu leher tiga 250 ml, labu ukur 50 ml, labu Erlenmeyer 250 ml, ayakan 60 *mesh*, *oven*, *blender*, termometer, pengaduk magnetik, dan timbangan analitik. Adapun rangkaian alat pembuatan bioplastik dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat laboratorium untuk pembuatan bioplastik

Cara kerja

Langkah penelitian ini dilakukan melalui 2 (dua) tahap proses utama, yaitu persiapan bahan baku dan pembuatan bioplastik. Bahan baku kulit pisang raja disortir lebih dahulu untuk memisahkan kotoran-kotoran kasar yang ada. Pengambilan pati dilakukan dengan menimbang kulit pisang sebanyak 500 g dan selanjutnya dipotong-potong dengan ukuran kira-kira 2 cm x 2 cm. Larutan asam asetat dan kulit pisang dihaluskan di dalam *blender*. *Slurry* yang dihasilkan selanjutnya disaring menggunakan kain untuk diambil filtratnya. Filtrat tersebut didiamkan selama 24 jam dengan tujuan supaya patinya mengendap. Larutan kemudian disaring menggunakan kertas saring. Bubuk kulit pisang yang diperoleh kemudian dikeringkan menggunakan *oven* pada suhu 50°C selama 4 jam. Bubuk kulit pisang yang telah dikeringkan kemudian diayak dengan ayakan 60 *mesh*. Bubuk pati kulit pisang ini selanjutnya disimpan di dalam wadah tertutup pada suhu ruangan.

Bubuk pati seberat 10 g dicampurkan dengan 10 ml larutan asam asetat dan 60 ml *aquadest* serta ditambahkan dengan larutan gliserol (dengan variasi sebanyak: 5%; 10%, 15%, 20%; 25% v/b pati; dengan kode sampel: G1, G2, G3, G4, dan G5) dan kaolin (dengan variasi sebanyak: 5%; 10%; 15%; 20%; 25% b/b pati; dengan kode sampel: K1, K2, K3, K4, dan K5) ke dalam labu leher tiga. Larutan ini diaduk dengan putaran 600 rpm dan dipanaskan pada suhu yang divariasikan (yaitu: 65°C; 70°C; 75°C; 80°C; 85°C; dengan kode sampel: T1, T2, T3, T4, dan T5) selama 10 menit hingga homogen. Jika sudah homogen, larutan dituangkan ke dalam gelas piala kemudian didiamkan selama 10 menit dan dituangkan ke dalam cetakan berukuran 20 x 20 cm. Cetakan dimasukkan ke dalam *oven* untuk dikeringkan pada suhu 60°C selama 5 jam. Selanjutnya, cetakan didiamkan pada suhu ruangan selama 15 menit dan produk bioplastik siap dianalisis.

Sampel G1–G5 diperoleh pada percobaan dengan variabel tetap: 0,5 g kaolin (5%-b/b) dan suhu 70°C. Hasil terbaik pada percobaan G1–G5 selanjutnya diproses pada variasi K1–K5, dengan variabel tetap berupa suhu pada 70°C. Selanjutnya, hasil terbaik pada percobaan K1–K5 ini diproses pada variasi T1–T5 (untuk memperoleh suhu optimum proses). Karakteristik produk bioplastik (pada masing-masing *run* percobaan) diukur melalui ketebalannya, uji kuat tarik, uji elongasi, dan uji daya serap air. Uji kuat tarik dan elongasi dilakukan dengan metode ASTM D638-02a-2002. Selanjutnya, sampel produk yang terbaik dikenai uji biodegradasi (dengan metode *soil burial test*, Tokiwa dkk (1994) dalam Rusdianto dkk (2021)) dan analisis gugus fungsi senyawa (dengan metode spektroskopi FTIR, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*). Hasil bioplastik yang terbaik atau optimum pada penelitian ini ditentukan dengan membandingkan rasio setiap hasil uji menggunakan metode Taguchi. Metode ini cocok diterapkan pada penelitian yang berfokus pada penentuan pengaturan parameter (faktor) dan menghasilkan kondisi optimum dari karakteristik kualitas yang diharapkan dengan banyak variasi (Sunardi, 2020).

HASIL DAN PEMBAHASAN

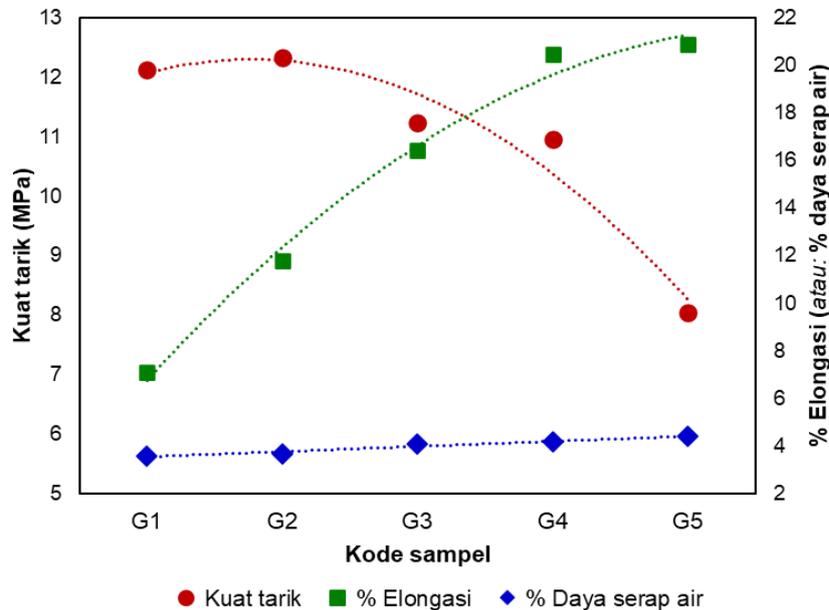
Kadar pati, air, amilosa, dan amilopektin dalam kulit pisang raja

Pati kulit pisang raja (*Musa paradisiaca* L) yang digunakan pada penelitian ini memiliki kadar pati, kadar air, kadar amilosa, dan kadar amilopektin masing-masing sebesar 80,13%; 10,20%; 41,30%; dan 38,71%. Berdasarkan standar mutu pati menurut standar industri Indonesia, kadar pati yang diizinkan adalah sekurang-kurangnya 75 % (Syura, 2020). Kadar pati yang terkandung dalam kulit pisang dipengaruhi oleh umur panen optimumnya, di mana semakin cepat tanaman dipanen dari umur panen optimumnya maka semakin rendah kadar patinya. Secara umum, kadar pati juga dipengaruhi oleh tingkat kemurnian pati saat proses ekstraksi dari sumbernya, karena semakin banyak campuran seperti serat, pasir, atau kotoran lain yang terikut, maka semakin rendah kadar patinya per satuan berat bahan (Syura, 2020).

Penurunan kadar air dapat mengurangi laju kerusakan bahan pangan akibat proses mikrobiologis, kimiawi, dan enzimatik. Rendahnya kadar air suatu bahan pangan mengakibatkan umur simpan yang lebih lama. Kadar air perlu ditetapkan karena sangat berpengaruh terhadap daya simpan bahan. Makin tinggi kadar air suatu bahan maka makin besar pula kemungkinan bahan tersebut rusak atau tidak tahan lama (Syura, 2020). Perbedaan kadar amilosa dan amilopektin pada pati kulit pisang raja disebabkan oleh adanya perbedaan perlakuan saat penanaman pisang dan waktu panennya. Namun, kadar amilosa dan amilopektinnya bersesuaian dengan kadar pati. Kestabilan plastik *biodegradable* dipengaruhi oleh amilopektin, sedangkan amilosa berpengaruh terhadap kekompakannya (yaitu sifat kekuatan dan kelenturan) (Nisrah, 2018).

Pengaruh penambahan gliserol terhadap karakteristik bioplastik

Hasil percobaan untuk mengamati pengaruh penambahan gliserol terhadap karakteristik bioplastik disajikan pada **Gambar 2** dan **Tabel 2**. Berdasarkan **Gambar 2** dapat diketahui bahwa semakin banyak *plasticizer* gliserol yang ditambahkan maka kemampuan kuat tariknya menjadi semakin kecil. Hal ini dikarenakan penambahan gliserol pada bioplastik dapat mengakibatkan penurunan gaya antarmolekul yang akan berdampak pada berkurangnya kekuatan tarik. Gliserol larut dalam masing-masing rantai polimer sehingga mempermudah gerakan molekul polimer dan polimer yang terbentuk semakin lunak. Hal ini mengakibatkan kuat tarik menjadi semakin kecil. Menurut Sinaga (2014), *plasticizer* dapat menurunkan ikatan hidrogen dalam bioplastik sehingga meningkatkan fleksibilitasnya. Dengan demikian, kekuatan tariknya menjadi semakin kecil.



Gambar 2. Pengaruh penambahan gliserol (sebagai *plasticizer*) terhadap hasil uji kuat tarik, elongasi, dan daya serap air bioplastik

Tabel 2. Rasio hasil uji kuat tarik, elongasi, dan daya serap air bioplastik pada variasi gliserol

Kode sampel	Rasio uji kuat tarik (A)	Rasio uji elongasi (B)	Rasio uji daya serap air (C)	Rasio akhir (A+B-C)
G1 (5% - 0,5 ml)	0,2217	0,0925	0,1805	0,1337
G2 (10% - 1 ml)	0,2253	0,1536	0,1835	0,1954
G3 (15% - 1,5 ml)	0,2056	0,2143	0,2048	0,2150
G4 (20% - 2 ml)	0,2004	0,2671	0,2101	0,2574
G5 (25% - 2,5 ml)	0,1471	0,2725	0,2211	0,1985

Gambar 2 juga memperlihatkan bahwa nilai elongasi semakin besar seiring dengan bertambahnya gliserol. Semakin meningkatnya konsentrasi gliserol mengakibatkan peregangan ruang intermolekul struktur matriks pada bioplastik meningkat sehingga bioplastik yang dihasilkan semakin fleksibel (Hartmann dkk., 1990). Meningkatnya konsentrasi *plasticizer* dapat menyebabkan berkurangnya ikatan hidrogen internal. Sebagai akibatnya, interaksi ikatan hidrogen intermolekul dan intramolekul rantai polimer yang berdekatan menjadi semakin lemah, sehingga nilai elongasinya pun meningkat.

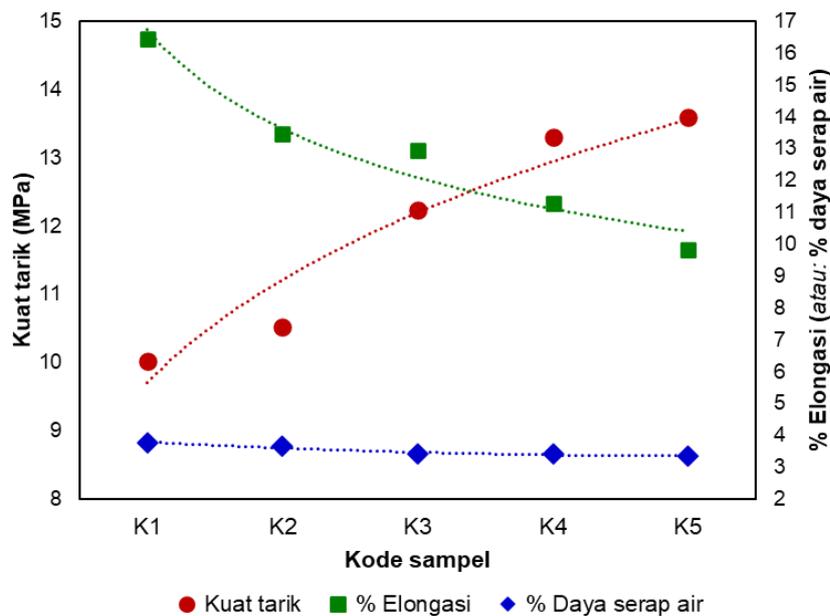
Daya serap air diuji dengan mengukur banyaknya air yang diserap oleh bioplastik. Semakin sedikit air yang diserap menunjukkan ketahanan air bioplastik tersebut semakin tinggi. Pada **Gambar 2** dapat diamati bahwa penambahan gliserol dapat mempengaruhi daya serap air pada bioplastik, di mana semakin banyak gliserol yang ditambahkan maka daya serap air menjadi semakin besar. Hal ini terjadi karena, setelah mencapai tahap kesetimbangan, air yang terserap akan terikat dengan gugus karboksilat membentuk ikatan hidrogen. Dengan ditambahkan gliserol maka ikatan antar molekul amilosa merenggang sehingga ada kemungkinan terdapatnya celah dan air dapat masuk. Pada akhirnya, air yang terserap akan tetap tertahan sehingga plastik

akan mengembang. Hal ini disebabkan karena gliserol tergolong zat yang mampu menyerap air dengan baik (atau higroskopis). Selain itu, gliserol mempunyai sifat hidrofilik (Prumono dkk., 2012) di mana jika suatu bahan mempunyai gugus hidrofil maka bahan tersebut akan mudah berinteraksi dengan air.

Berdasarkan **Tabel 2** dapat disimpulkan bahwa bioplastik dengan kode sampel G4 merupakan hasil optimum yang dicapai pada variasi percobaan ini (dengan menggunakan metode Taguchi) karena memiliki nilai rasio yang tertinggi, yaitu sebesar 0,2574. Sampel bioplastik G4 mempunyai karakteristik berupa kekuatan tarik sebesar 10,96 MPa, elongasi sebesar 20,46%, dan daya serap air sebesar 4,19%.

Pengaruh penambahan kaolin terhadap karakteristik bioplastik

Pengaruh penambahan kaolin terhadap karakteristik bioplastik disajikan pada **Gambar 3** dan **Tabel 3**. Hasil pada **Gambar 3** memperlihatkan bahwa semakin banyak kaolin yang ditambahkan maka kemampuan kuat tariknya menjadi semakin besar. Peningkatan kuat tarik ini dapat disebabkan karena ikatan hidrogen antara molekul kaolin dalam matriks bioplastik yang tinggi. Ikatan hidrogen ini terbentuk ketika sebuah molekul atom O yang terdapat dalam kaolin berinteraksi dengan atom H dari amilosa. Bioplastik yang memiliki ikatan hidrogen akan menyebabkan ikatan kimianya semakin kuat, sehingga diperlukan energi yang besar untuk memutuskan ikatan tersebut (Sunardi dkk, 2020; Safitri dkk, 2016).



Gambar 3. Pengaruh penambahan kaolin (sebagai *filler*) terhadap hasil uji kuat tarik, elongasi, dan daya serap air bioplastik

Tabel 3. Rasio hasil uji kuat tarik, elongasi, dan daya serap air bioplastik pada variasi kaolin

Kode sampel	Rasio uji kuat tarik (A)	Rasio uji elongasi (B)	Rasio uji daya serap air (C)	Rasio akhir (A+B-C)
K1 (5% - 0,5 g)	0,1545	0,2538	0,2135	0,1947
K2 (10% - 1 g)	0,1871	0,2074	0,2064	0,1881
K3 (15% - 1,5 g)	0,2059	0,1998	0,1939	0,2118
K4 (20% - 2 g)	0,2239	0,1742	0,1930	0,2050
K5 (25% - 2,5 g)	0,2287	0,1649	0,1932	0,2004

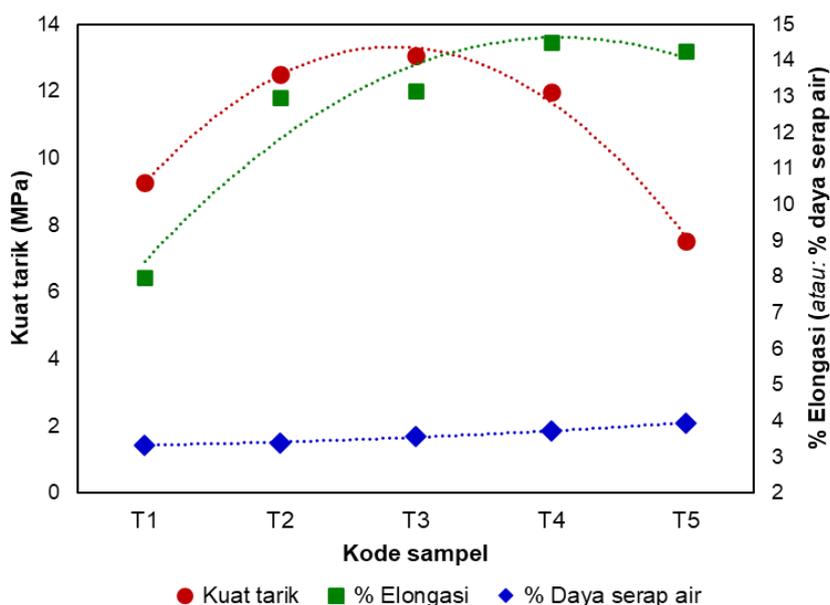
Berdasarkan **Gambar 3** dapat diamati bahwa semakin banyak kaolin yang ditambahkan maka semakin kecil nilai elongasinya. Hal ini disebabkan karena sifat kaolin yang getas atau mudah rapuh sehingga tidak elastis (Hamzah, 2005). Penurunan nilai elongasi ini disebabkan karena meningkatnya ikatan hidrogen dalam matriks bioplastik sehingga jarak ikatan intermolekul semakin berkurang. Sifat mekanik (yaitu kuat tarik dan elongasi) merupakan salah satu parameter penting dari bioplastik. Sifat mekanik yang baik dapat memaksimalkan pemanfaatan bioplastik

sebagai kemasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kaolin mampu memperbaiki sifat mekanik dari bioplastik yang dihasilkan.

Hasil pada **Gambar 3** juga memperlihatkan bahwa penambahan kaolin berpengaruh terhadap daya serap air pada bioplastik. Penambahan kaolin mempunyai pengaruh yang berbanding terbalik dengan daya serap airnya. Semakin banyak kaolin yang ditambahkan maka semakin rendah daya serap air dari bioplastik tersebut. Fenomena ini terjadi akibat adanya pengurangan volume bebas (atau pori-pori) yang terdapat di antara makromolekul pati karena terisi oleh kaolin, sehingga dapat menurunkan daya serap air dari bioplastik (Métité dkk., 2021). Selanjutnya, dari **Tabel 3** dapat disimpulkan bahwa bioplastik dengan kode sampel K3 merupakan hasil optimum yang dicapai pada variasi percobaan ini karena mempunyai rasio akhir yang tertinggi, yaitu sebesar 0,2118. Sampel bioplastik K3 mempunyai karakteristik berupa kekuatan tarik sebesar 12,23 MPa, elongasi sebesar 12,95%, dan daya serap air sebesar 3,43%.

Pengaruh suhu terhadap karakteristik bioplastik

Gambar 4 dan **Tabel 4** memperlihatkan pengaruh suhu proses terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan. Berdasarkan hasil pada **Gambar 4**, kekuatan tarik bioplastik mengalami kenaikan dari sampel T2 (70°C) hingga sampel T3 (75°C) dan mengalami penurunan pada sampel T4 (80°C). Peningkatan kekuatan tarik dari T2 ke T3 disebabkan karena 75°C merupakan suhu terbaik untuk gelatinisasi pati. Menurut Sunardi dkk. (2020), peristiwa gelatinisasi mengakibatkan ikatan amilosa cenderung saling berdekatan karena adanya ikatan hidrogen. Di sisi lain, pada 80°C kuat tarik berkurang dikarenakan pati mengalami penggembungan butiran sehingga butiran pati mengalami kerusakan dan kekentalan larutan menjadi berkurang. Pada kondisi ini, pati mengalami proses retrogradasi. Fenomena ini dapat terjadi karena dengan adanya pemanasan maka granula pati akan menyerap air namun durasi pemanasan yang lebih lama mengakibatkan pati membengkak dan rusak. Menurut Sinaga dkk. (2014), nilai kuat tarik sangat dipengaruhi oleh suhu gelatinisasi di mana kerusakan butiran pati karena mengalami penggembungan yang berpengaruh terhadap kekentalan larutan dapat memberikan dampak terhadap nilai kuat tarik bioplastik yang dihasilkan.



Gambar 4. Pengaruh suhu terhadap hasil uji kuat tarik, elongasi, dan daya serap air bioplastik

Gambar 4 menunjukkan bahwa sifat elongasi bioplastik mengalami kenaikan dari sampel T1 (65°C) hingga sampel T4 (80°C) dan mengalami penurunan pada sampel T5 (85°C). Kenaikan elongasi berbanding lurus dengan penurunan kuat tarik yang terjadi pada bioplastik. Hal ini dikarenakan jika suhu pemanasan semakin tinggi, maka gliserol yang tercampur menjadi semakin cepat homogen, sehingga elongasi yang dihasilkan semakin meningkat. **Gambar 4** juga memperlihatkan bahwa peningkatan daya serap air mempunyai keterkaitan dengan peningkatan suhu gelatinisasi. Semakin tinggi suhu gelatinisasi maka semakin besar daya serap air bioplastik yang dihasilkan. Menurut Made Heni Epriyanti dkk. (2016), perlakuan pada suhu tinggi berpengaruh terhadap penguapan kaolin pada bioplastik yang mengakibatkan bioplastik lebih

bersifat hidrofilik (suka air) sehingga bioplastik menyerap lebih banyak air. Fenomena ini bersesuaian dengan hasil penelitian Haryati dkk. (2017) di mana bioplastik dengan perlakuan pada suhu gelatinisasi terendah menghasilkan daya serap air terendah yang menandakan bahwa sampel tersebut memiliki nilai ketahanan air tertinggi. Produk bioplastik yang diharapkan adalah bioplastik yang memiliki ketahanan air terendah karena rendahnya ketahanan air menandakan bahwa kemasan plastik yang dihasilkan bersifat lebih tahan air.

Tabel 4. Rasio hasil uji kuat tarik, elongasi, dan daya serap air bioplastik pada variasi suhu

Kode sampel	Rasio uji kuat tarik (A)	Rasio uji elongasi (B)	Rasio uji daya serap air (C)	Rasio akhir (A+B-C)
T1 (65°C)	0,1709	0,1470	0,1859	0,1321
T2 (70°C)	0,2302	0,2384	0,1888	0,2798
T3 (75°C)	0,2401	0,2417	0,1981	0,2837
T4 (80°C)	0,2203	0,2668	0,2075	0,2796
T5 (85°C)	0,1386	0,2621	0,2198	0,1809

Dengan menggunakan metode Taguchi, selanjutnya dari **Tabel 4** dapat disimpulkan bahwa bioplastik dengan kode sampel T3 merupakan hasil optimum yang dicapai pada variasi percobaan ini karena mempunyai rasio akhir yang tertinggi, yaitu sebesar 0,2837. Sampel bioplastik T3 mempunyai karakteristik berupa kekuatan tarik sebesar 13,047 MPa, elongasi sebesar 13,13%, dan daya serap air sebesar 3,56%.

Hasil uji biodegradasi bioplastik optimum yang dihasilkan

Setelah diperoleh hasil bioplastik optimum pada variasi akhir percobaan (dengan variabel suhu) yaitu sampel T3, selanjutnya dilakukan uji biodegradasi pada sampel tersebut dengan cara menguburkannya dalam tanah selama 15 hari. Visualisasi dan hasil uji biodegradasi bioplastik dengan kode sampel T3 tersebut ditunjukkan pada **Gambar 5** dan **Tabel 5**.



Gambar 5. Hasil uji biodegradasi terhadap sampel bioplastik optimum T3

Tabel 5. Hasil uji biodegradasi pada sampel T3

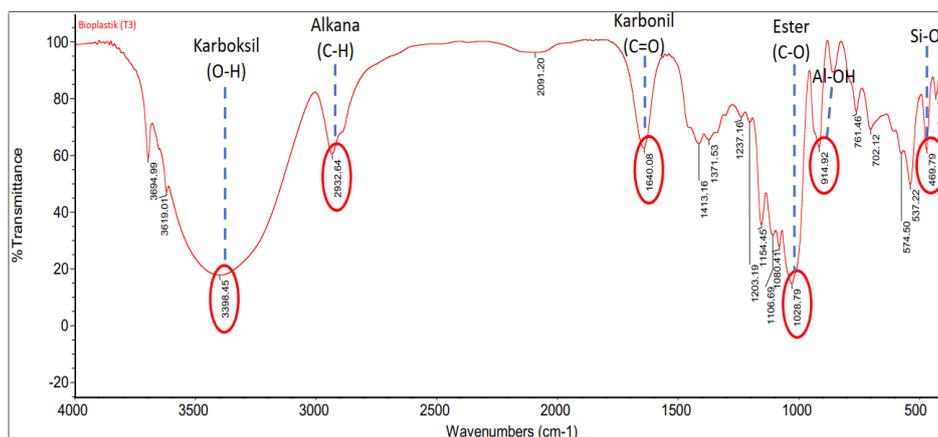
Sampel	Hari ke-	Berat (gram)	Kehilangan berat (%)
T3	0	0,0530	0
	5	0,0421	20,53
	10	0,0146	72,48
	15	0,0103	80,62

Dari hasil uji biodegradasi pada **Tabel 5** dapat disimpulkan bahwa sampel bioplastik T3 merupakan plastik yang dapat terurai secara alami (*biodegradable*). Hasil ini juga sudah memenuhi standar biodegradasi bioplastik berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI).

Hasil uji FTIR bioplastik optimum yang dihasilkan

Analisis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) digunakan untuk mengidentifikasi senyawa kimia yang terkandung dalam suatu bahan polimer. Sampel yang diuji pada studi ini adalah sampel T3 dan hasil spektrum FTIR-nya ditunjukkan pada **Gambar 6**, absis menyatakan angka gelombang (atau wavenumber) serapan (dalam cm^{-1}) dan ordinat menyatakan persen transmitansi. Pada spektrum tersebut teramati bahwa pita serapan regangan gugus O-H ditunjukkan pada angka gelombang $3398,45 \text{ cm}^{-1}$. Stuart (1986) dalam (Mardiah dkk., 2021) menyatakan serapan regangan gugus O-H untuk mineral lempung berada pada rentang angka gelombang $3800\text{-}3400 \text{ cm}^{-1}$. Gugus karboksil (O-H) yang teridentifikasi pada bioplastik ini memungkinkan bioplastik untuk berikatan dengan air. Adanya gugus C-H pada $2932,64 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya senyawa alkana. Gugus fungsi ester (C-O) muncul pada angka gelombang $1028,79 \text{ cm}^{-1}$. Gugus fungsi karbonil (C=O) muncul pada angka gelombang $1640,08 \text{ cm}^{-1}$.

Puncak serapan pada 914,92 cm⁻¹ memperlihatkan vibrasi ulur yang khas dari Al-OH. Angka gelombang serapan 469,79 cm⁻¹ merupakan vibrasi dari gugus Si-O (Nmiri dkk., 2016).



Gambar 6. Spektrum infra-merah sampel bioplastik T3 (sebagai sampel optimum)

Hasil FTIR pada **Gambar 6** menunjukkan bahwa angka gelombang yang terbaca pada campuran bahan bioplastik yang dihasilkan merupakan proses penggabungan secara fisika dari beberapa bahan, sehingga film yang dihasilkan memiliki sifat seperti komponen-komponen penyusunnya. Menurut Darni, dkk (2010) dalam Nurjannah dkk. (2022) bioplastik yang dapat terdegradasi ditandai dengan munculnya serapan puncak gugus fungsi karbonil (C=O), ester (C-O) dan karboksil (-OH) pada pengujian menggunakan alat instrumen FTIR.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi gliserol maka nilai kuat tarik bioplastik menurun, sedangkan elongasi dan daya serap air meningkat. Semakin tinggi konsentrasi kaolin maka nilai kuat tarik dan daya serap air meningkat sedangkan elongasi menurun. Selain itu, semakin tinggi suhu maka nilai kuat tarik menurun sedangkan elongasi dan daya serap air semakin meningkat. Hasil bioplastik terbaik memiliki karakteristik berupa nilai kuat tarik sebesar 13,047 MPa; elongasi sebesar 13,13%; daya serap air sebesar 3,56%; dan plastik terbiodegradasi pada hari ke-10 sebesar 72,48%. Produk bioplastik ini diperoleh dari sintesis pati dari kulit pisang raja melalui penggunaan konsentrasi gliserol dan kaolin serta suhu masing-masing sebesar 20%, 15%, dan 75°C. Hasil ini sudah memenuhi standar nasional Indonesia (SNI) untuk bioplastik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Krisna Prastya Hady Negara dan Sofyan Maskan yang telah berkontribusi dalam kegiatan pengambilan data melalui pekerjaan laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2016). Kriteria Ekolabel – Bagian 7: Kategori Produk Tas Belanja Plastik dan Bioplastik Mudah Terurai. *SNI 7188.7:2016*. Jakarta.
- Darni, S.Y., dan Utami, H.B. (2010). "Studi Pembuatan dan Karakteristik Sifat Mekanik dan Hidrofobisitas Bioplastik dari Pati Sorgum". *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 7(4), 88–93. <https://jurnal.usk.ac.id/RKL/article/view/79>
- Gill, M. (2014). *Impact Factor (JCC): 1.4507 - "Bioplastic: A Better Alternative to Plastics"*. 2, 113-118. www.impactjournals.us
- Hamzah, M. S. (2005). "Karakterisasi Kaolin Kab. Barru Sebagai Bahan Dasar Keramik". *Mektrik*, 7(2), 152649. <https://www.neliti.com/id/publications/152649/>
- Hartmann, H. T., Hudson T., Kester, D. E., and Davies, F. T. (1990). *"Plant Propagation: Principles and Practices"*, 5th ed. New York: Prentice Hall
- Haryati, S. D., Darmawati, S., dan Wilson, W. (2017). "Perbandingan Efek Ekstrak Buah Alpukat (*Persea Americana mill*) terhadap Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dengan Metode Disk dan Sumuran". *Prosiding Seminar Nasional dan Internasional*, 1(1). Fakultas Ilmu Keperawatan dan Kesehatan Universitas Muhammadiyah Semarang. <https://jurnal.unimus.ac.id/index.php/psn12012010/article/view/2886>

- Larson, E. R. (2015). "Thermoplastic Material Selection: A Practical Guide", 1–348. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-18851-4>
- Made Heni Epriyanti, N., Admadi Harsojuwono, B., Wayan Arnata, I. (2016). "Pengaruh Suhu dan Lama Pengeringan terhadap Karakteristik Komposit Plastik *Biodegradable* dari Pati Kulit Singkong dan Kitosan". Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Universitas Udayana, Vol. 4, Nomor 1.
- Mardiah, Ainul, M., Farma, R., Erman Taer, F. (2021). "Characterization of Physical Properties for Activated Carbon from Garlic Skin". *Journal of Aceh Physics Society*, 10(4), 102–106. <https://doi.org/10.24815/JACPS.V10I4.19571>
- Méité, N., Konan, L. K., Tognonvi, M. T., Doubi, B. I. H. G., Gomina, M., and Oyetola, S. (2021). "Properties of hydric and biodegradability of cassava starch-based bioplastics reinforced with thermally modified kaolin". *Carbohydrate Polymers*, 254, 117322. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2020.117322>
- Nisah, K. (2018). "Studi Pengaruh Kandungan Amilosa dan Amilopektin Umbi-umbian terhadap Karakteristik Fisik Plastik *Biodegradable* dengan Plastizicer Gliserol". *Biotik: Jurnal Ilmiah Biologi Teknologi dan Kependidikan*, 5(2), 106–113. <https://doi.org/10.22373/BIOTIK.V5I2.3018>
- Nmiri, A., Yazoghli-marzouk, O., Duc, M., Hamdi, N., and Srasra, E. (2016). "Temperature effect on mechanical and physical properties of Na or K alkaline silicate activated metakaolin-based geopolymers". *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 16(1), 5–15. <https://doi.org/10.4408/IJEGE.2016-01.O-01>
- Nurjannah, I., Ayu, B., Mustariani, A., dan Suryani, N. (2022). "Skринing Fitokimia dan Uji Antibakteri Ekstrak Kombinasi Daun Jeruk Purut (*Citrus hystrix*) dan Kelor (*Moringa oleifera* L.) sebagai Zat Aktif pada Sabun Antibakteri". *Spin Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, Spin, 4(1), 23–36. <https://doi.org/10.20414/spin.v4i1.4801>
- Pramono, E., Satrio, P., Prabowo, A., Purnawan, C., dan Wulansari (2012). "Pembuatan dan Karakterisasi Kitosan Vanilin Sebagai Membran Polimer Elektrolit". *ALCHEMY, Jurnal Penelitian Kimia*, 8(1), 70–78
- Rusdianto, A. S., Wiyono, A. E., dan Permatasari, D. E. D. (2021). "Karakterisasi Gelas Bioplastik Berbasis Pati Singkong (*Manihot esculenta crantz*) dengan Penambahan Serbuk Sabut Kelapa". *Gontor AGROTECH Science Journal*. 7(1). Juni 2021, 91–107. DOI: <http://dx.doi.org/10.21111/agrotech.v7i1.5755>
- Safitri, I., Riza, M., dan Syaubari, S. (2016). "Uji Mekanik Plastik *Biodegradable* dari Pati Sagu dan *Grafting Poly(Nipam)-Kitosan* dengan Penambahan Minyak Kayu Manis (*Cinnamomum burmannii*) sebagai Antioksidan". *Jurnal Riset Industri*, 6(2), 107–116. <https://doi.org/10.24960/JLI.V6I2.1914.107-116>
- Sinaga, Febrianto, R., Ginting, G. M., Hendra, M., Ginting, S., dan 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. <https://doi.org/10.32734/JTK.V3I2.1608>
- Su, J. F., Huang, Z., Liu, K., Fu, L. L., and Liu, H. R. (2007). "Mechanical properties, biodegradation, and water vapor permeability of blend films of soy protein isolate and poly-(vinyl alcohol) compatibilized by glycerol". *Polymer Bulletin*, 58(5–6), 913–921. <https://doi.org/10.1007/S00289-007-0731-7/METRICS>
- Sultan, N. F. K., and Johari, W. L. W. (2017). "The development of banana peel/ corn starch bioplastic film: a preliminary study". *Bioremediation Science and Technology Research*, 5(1), 12–17. <https://doi.org/10.54987/BSTR.V5I1.352>
- Sunardi, Ph.D., S., Susanti, Y., dan Mustikasari, K. (2020). "Sintesis dan karakterisasi bioplastik dari pati ubi nagara dengan kaolin sebagai penguat". *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 11(2), 65–76. <https://doi.org/10.24111/JRIHH.V11I2.5084>
- Suryanto, H., Rahmawan, A. W., Solichin, Sahana, R. T., Muhajir, M., and Yanuhar, U. (2019). "Influence of Carrageenan on the Mechanical Strength of Starch Bioplastic Formed by Extrusion Process". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 494(1), 012075. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/494/1/012075>
- Syura, I. (2020). "Pembuatan dan Karakterisasi Film Bioplastik Pati Porang (*Amorphophallus*, SP) dan Kitosan dengan Plasticizer Sorbitol". <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/29478>