

Pembuatan Bioplastik dari Pati Umbi Ganyong Menggunakan Penguat Seng Oksida dan Plastilizer Gliserol dengan Metode *Melt Intercalation*

Synthesis of Ganyong Starch-Based Bioplastic with Zinc Oxide Filler and Glycerol Plasticizer via Melt Intercalation Method

Annisa Choiril Latifa, Dewi P.P.A., Indriana Lestari*, and Fauzan Irfandy

Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condong Catur, Yogyakarta 55283, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 15 Maret 2024
Diterima dalam revisi 2 Juli 2024
Diterima 5 Juli 2024
Online 11 Juli 2024

ABSTRAK: Plastik memiliki banyak kelebihan sebagai bahan material suatu produk. Namun, plastik dapat memberikan dampak buruk bagi lingkungan karena sifatnya yang susah terdegradasi. Sifat ini membuat penumpukan sampah plastik semakin tinggi. Oleh karena itu perlu adanya alternatif untuk menangani permasalahan tersebut diantaranya dengan memproduksi bioplastik. Pada penelitian ini, bioplastik diproduksi dari pati ganyong dan gliserol dengan penambahan ZnO melalui proses pencampuran pada kecepatan pengadukan 700 rpm dan pemanasan pada temperatur 80 °C selama 60 menit. Tujuan dari penelitian ini, yaitu untuk mempelajari pembuatan bioplastik menggunakan metode *melt intercalation* serta mengetahui bagaimana pengaruh penambahan ZnO dan gliserol terhadap kualitas bioplastik. Variabel bebas penelitian ini berupa komposisi gliserol dan ZnO dimana variasi komposisi yang digunakan meliputi 2g ZnO:20%, 30%, 40% gliserol, 3g ZnO:20%, 30%, 40% gliserol, dan 4g ZnO:20%, 30%, 40% gliserol sedangkan massa pati yang digunakan tetap sebanyak 5 gr. Hasil analisa uji kualitas bioplastik menunjukkan perolehan komposisi bahan yang optimal pada sampel penambahan 3g ZnO dan 20% gliserol dimana nilai kuat tarik yang diperoleh sebesar 7,848 MPa, nilai elongasi sebesar 13,285%, nilai swelling sebesar 31,8182%, dan kemampuan degradasi selama 20 hari.

Kata Kunci: bioplastik; pati ganyong; seng oksida; gliserol; *biodegradable*

ABSTRACT: Plastic has many advantages as a material for products. However, it can have negative impacts on the environment due to its non-degradable nature. Therefore, there is a need for alternatives to address this issue, such as the production of bioplastics. In this study, bioplastics were produced from arrowroot starch and glycerol with the addition of ZnO through a mixing process at 700 rpm and heating at a temperature of 80°C for 60 minutes. The aim of this research was to investigate the production of bioplastics using the melt intercalation method and to determine the effect of adding ZnO and glycerol on the quality of the bioplastics. The independent variables in this research were the composition of glycerol and ZnO, with combination of variation including 0g ZnO:20%, 30%, 40% glycerol, 2g ZnO:20%, 30%, 40% glycerol, 3g ZnO:20%, 30%, 40% glycerol, and 4g ZnO:20%, 30%, 40% glycerol, while the mass of arrowroot starch used remained constant at 5 grams. The results of the bioplastic quality test analysis showed the optimal composition of materials in the sample with the addition of 3g of ZnO and 20% glycerol, where the obtained tensile strength was 7.848 MPa, elongation value was 13.285%, swelling value was 31.8182%, and degradation ability was observed for 20 days.

Keywords: bioplastic; ganyong starch; zinc oxide; glycerol; *biodegradable*

1. Pendahuluan

Saat ini, plastik telah mendominasi pasar sebagai bahan utama untuk sebagian besar produk termasuk produk sekali pakai. Fenomena ini tidak terjadi begitu saja tapi dikarenakan plastik konvensional murah dan kuat dengan

mempertahankan beratnya yang ringan serta tahan terhadap degradasi oleh air, sinar matahari, dan bakteri (Sharma *et al.*, 2013). Namun, limbah plastik yang berasal dari industri dapat memberikan dampak buruk bagi lingkungan dan kesehatan. Selain mengurangi estetika lingkungan, limbah warna ini menyebabkan naiknya COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan menghambat fotosintesis organisme dalam air (Irfandy dkk, 2021). Berdasarkan data BPS Indonesia

* Corresponding author:

Email address: indriana.lestari@upnyk.ac.id

(2021), sampah plastik dihasilkan sekitar 64 juta ton tiap tahunnya dimana salah satunya termasuk produk plastik sekali pakai. Salah satu alternatif untuk mengatasinya, yaitu dengan memproduksi plastik berbahan dasar alami (*renewable*) yang murah dan mudah terdegradasi serta ramah lingkungan yang dikenal dengan bioplastik (Shamsuddin *et al.*, 2017; Abe *et al.*, 2021). Bahan pembuat bioplastik dapat tersusun dari pati, senyawa protein, pektin, gum, pati, dan lemak. (Yusuf dkk, 2022).

Dirhanoe dan Heriawati (2016) meneliti kombinasi antara pati ganyong dan kitosan dengan penambahan gliserol menggunakan metode *solution intercalation*. Kemudian pada tahun yang sama, Saputro dan Ovita meneliti kombinasi antara pati ganyong dengan kitosan saja tanpa adanya penambahan plastilizer dengan metode *solution intercalation*. Selanjutnya, Lailyningtyas (2020) meneliti kombinasi pati ganyong dengan sorbitol dan selulosa asetat dengan metode *solution casting*. Pada tahun yang sama, Sedyadi dan Yuliati juga mengkombinasikan pati ganyong dengan gliserol dan daun sirih menggunakan metode melt intercalation. Lalu penelitian selanjutnya dilakukan oleh Ma'ruf dkk (2020) dengan kombinasi pati ganyong dan sorbitol serta CMC menggunakan metode *melt intercalation*. Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, peneliti tertarik untuk melanjutkan penelitian dengan mengkombinasikan pati ganyong dan seng oksida serta gliserol menggunakan metode *melt intercalation* yang diharapkan dapat diperoleh komposisi optimal dan pengaruh penambahan seng oksida serta pengaruh komposisi bahan terhadap kualitas bioplastik sehingga mampu mengurangi permasalahan lingkungan tersebut.

Komposisi bioplastik setidaknya terdiri dari polimer alami dan *plasticizer*. Polimer alami yang bisa digunakan, yaitu pati, selulosa, dan PLA (Ismail *et al.*, 2017). Selulosa merupakan polisakarida yang terdiri lebih dari ribuan unit monomer D-glukosa yang saling berikatan membentuk ikatan β -D-glikosidik. Salah satu sumber utamanya berasal dari dinding sel-sel tumbuhan (Chang *et al.*, 2021). Sedangkan *polylactic acid* (PLA) merupakan polimer yang disintesis melalui kondensasi langsung asam laktat atau bisa juga dengan polimerisasi pembukaan cincin (Viamonte-Aristizábal *et al.*, 2021; Xiao *et al.*, 2020). PLA dapat digunakan sebagai polimer dalam pembuatan bioplastik karena kemampuan biodegradabilitas dan biokompatibilitasnya (Jelonek *et al.*, 2021). Selain selulosa dan PLA, terdapat polimer alami lainnya yang paling banyak digunakan dalam pembuatan bioplastik, yaitu pati (Ankur and Vivek, 2016). Pati sering dijadikan sebagai polimer alami dalam pembuatan bioplastik karena murah, terbarukan, melimpah, cepat terdegradasi, dan mudah dalam proses pembuatannya serta mudah dalam membentuk lapisan film (Lörcks, 1998; Ankur and Vivek, 2016; Sharma *et al.*, 2024). Pati merupakan polisakarida yang umumnya tersimpan sebagai butiran bulat atau lonjong yang sering disebut granula (Solomonides, 2016). Pati tersusun dari amilopektin dan amilosa dimana komponen ini saling bergabung membentuk ikatan hidrogen (Abe *et al.*, 2021). Kadar amilosa dapat meningkatkan kekuatan bioplastik karena amilosa sendiri

memiliki struktur linear sehingga lebih mudah untuk berikatan hidrogen (Gabriel dkk, 2021). Ikatan tersebut dapat terputus jika mencapai suhu gelatinasinya. Gelatinasi merupakan suatu kondisi dimana terjadi pembengkakan *irreversible* dari granula pati karena adanya gangguan pada ikatan hidrogen antar komponen. Kondisi ini dimulai dari daerah amorf polimer dengan menurunnya kekuatan ikatan hidrogen antar komponen. Penurunan ini mengakibatkan matriks polimer dapat berikatan dengan air sehingga terjadi pembengkakan granula dan ketika sudah mencapai suhu gelatinasinya maka granula akan pecah yang menyebabkan polimer mengalami perubahan struktur *double helix* serta *birefringence*-nya (Abe *et al.*, 2021; Yamamoto and Buckow, 2016). Suhu gelatinasi masing-masing pati berbeda, bergantung pada jenis sumber tanamannya. Pati yang dapat digunakan, yaitu pati ganyong, garut, atau singkong.

Ganyong merupakan salah satu jenis umbi-umbian dengan kandungan karbohidrat yang tinggi yang berasal dari Amerika Serikat dan tersebar di Afrika, Asia, dan Australia. Ganyong tersebar di berbagai daerah di Indonesia seperti Bali, Jawa, Lampung, dan Jambi. Tanaman ini termasuk dalam famili *Cannaceae* yang dapat tumbuh di dataran tinggi dan dataran rendah (Sitepu, *et al.*, 2023). Umbi ganyong termasuk ke dalam golongan umbi yang dapat dimakan dimana mengandung pati sebanyak 88,11% dan suhu gelatinasinya terletak pada rentang 69,8 - 77°C. Kadar amilopektin pada pati ganyong sebesar 53,11% sedangkan kadar amilosa sebesar 35%. Kadar amilosa ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kadar amilosa pada umbi lainnya yang membuatnya lebih berpotensi pada peningkatan kekuatan tarik bioplastik (Gabriel *et al.*, 2021). Selain itu, pasta pati ganyong yang diperoleh jernih serta memiliki viskositas tinggi sehingga kemampuan retrogradasinya tinggi yang menyebabkan proses perambatan berlangsung cepat (Watcharatewinkul *et al.*, 2009). Disamping itu, tingginya retrogradasi membuat pengolahan pati ganyong dibidang pangan masih terbatas karena gel yang terbentuk dapat mengeras pada suhu ruang (Neighbors, 2019).

Bioplastik yang terbuat dari pati memiliki karakter yang kaku, untuk meningkatkan elastisitas dari film pati tersebut maka perlu penambahan *plasticizer* (Istiani *et al.*, 2022). *Plasticizer* merupakan suatu zat volatil rendah yang mampu meningkatkan fleksibilitas untuk menghindari keretakan pada matriks polimer dengan mengurangi tegangan deformasi, kekerasan, densitas, viskositas, dan muatan elektrostatisnya. Plastilizer tidak berinteraksi dengan rantai polimer melalui ikatan kimia namun *plasticizer* melekat pada rantai polimer dan menjadi bagian dari produk akhir. *Plasticizer* yang umum digunakan dalam polimer pati, yaitu gliserol dan sorbitol. Pemilihan gliserol sebagai plastilizer dipengaruhi oleh kelarutan bioplastik dari pati. Dibandingkan dengan sorbitol, gliserol akan menghasilkan kelarutan bioplastik yang lebih tinggi (Syamsyiah *et al.*, 2023). Gliserol dihasilkan dari hasil transesterifikasi minyak nabati dalam biodiesel (Putri *et al.*, 2023). Untuk mencegah kerapuhan biasanya digunakan pemlastis gliserol karena molekul ini sangat higroskopis. Di

samping itu, dengan menggunakan gliserol laju perambatannya lebih cepat serta fleksibilitas polimernya lebih tinggi (Vieira *et al.*, 2011). Komponen lain yang berperan dalam sintesis bioplastik, yaitu *filler*. *Filler* seperti TiO₂, ZnO, dan CaCO₃ berperan dalam meningkatkan kualitas bahan seperti kekakuan, ketangguhan, serta stabilitas dimensi (Awang and Mohd, 2018). Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pemberian ZnO berpengaruh terhadap sifat mekanik berupa peningkatan kuat tarik dan perpanjangan putus (Fatimah *et al.*, 2023). *Zinc Oxide* (ZnO) banyak digunakan sebagai *filler* polimer karena toksisitasnya rendah dan dapat menyesuaikan dengan lingkungan saat terdegradasi serta juga relatif hemat biaya, tidak mengandung air permukaan, dan mudah untuk diproduksi (Rahman, 2020). Di samping itu, *filler* ini bersifat antibakteri dan mampu menyerap sinar radiasi UV sehingga ZnO memiliki potensi sebagai agen semikonduktor dalam *photobioplastic* dan dapat melindungi dari kepadaran warna (Widiyandari *et al.*, 2018; Reningtyas *et al.*, 2023).

Metode untuk pembuatan bioplastik dapat dilakukan secara *in-situ polymerization*, *solution intercalation techniques*, maupun *melt intercalation*. *In-situ polymerization* merupakan prosedur fabrikasi nanokomposit yang dihasilkan secara *in-situ* yang berlangsung dalam matriks polimer dengan bantuan inisiator polimerisasi dan pelarut. Sifat akhir bahan dari proses ini sangat bergantung pada kualitas reaksi polimerisasi (Bustamante *et al.*, 2014; Guo *et al.*, 2014). Selain metode *in-situ*, terdapat metode *solution intercalation techniques* yang didasarkan pada sistem pelarut dimana polimer dapat larut dan lapisan silikat dapat mengembang dengan bantuan inisiator. Pelarut yang digunakan seperti kloroform dan toluena. Prosedur ini menghasilkan produk akhir yang relatif tidak konsisten dan kemampuan reproducibility-nya buruk (Poth, 2019; Zhiqi *et al.*, 2002).

Dibandingkan dengan dua metode sebelumnya, *melt intercalation* yang paling umum digunakan dalam pembuatan bioplastik karena prosesnya lebih fleksibel dan spesifik serta kompatibel dengan proses plastik konvensional sehingga lebih ekonomis. Metode ini juga ramah lingkungan karena pelarut tidak digunakan dalam proses ini (DineshKumar and Purushothaman, 2016; Guizhen *et al.*, 2017; Theng, 2012). *Melt intercalation* merupakan metode dengan pendekatan standar untuk mensintesis polimer. Pada dasarnya, metode ini menggunakan prinsip *twin screw extruder* yang melibatkan pemanasan (Jafrey and Panneerselvam, 2017; Puffr *et al.*, 2013). Prinsip ini mencakup proses penguatan dari matrik polimer oleh *filler* menggunakan kekuatan geser dan pengadukan sehingga dicapai distribusi yang seragam (Theng, 2012; DineshKumar & Purushothaman, 2016).

Selama proses berlangsung, terdapat beberapa parameter yang perlu di optimasi diantaranya temperatur, tekanan, kecepatan pengadukan, dan waktu pengadukan. Optimalisasi kondisi ini merupakan faktor penting yang memainkan peran besar dalam mencapai distribusi yang baik.

Kualitas suatu bioplastik diukur dari beberapa parameter seperti yang tercantum pada dokumen SNI 7818:2014 mengenai kantong plastik mudah terurai (Tabel 1).

Tabel 1. SNI Bioplastik (BSN, 2014)

Parameter	Nilai
Kuat Tarik (<i>at break</i>)	≥139,74kgf/cm ²
Kuat Sobek	≥2N
Elongasi	≥21%
Kemudahan terurai (penyiraman selama 250 jam)	5% <i>weight</i>
Soil Degradable (≤24bulan)	90% (ISO 17556)

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Bahan baku pembuatan bioplastik pada penelitian ini adalah pati ganyong yang didapat dari daerah Yogyakarta. Bahan kimia yang digunakan pada penelitian ini adalah gliserol (teknis), ZnO, aquades. Penelitian ini dilakukan pada rangkaian alat pencampuran yang terdiri dari statif, termometer, *magnetic stirrer*, *hot plate magnetic stirrer*, serta gelas beker.

2.2 Prosedur Percobaan

Gliserol sesuai variable dimasukkan ke dalam gelas beaker berisi *aquadest* kemudia ditambahkan ZnO sesuai variable. Kemudian pati umbi ganyong dimasukkan ke dalam gelas *beaker* tersebut dengan variable massa yang tetap yaitu sebanyak 5 gram. Variabel yang dipelajari pada proses ini berupa komposisi gliserol dan ZnO dimana variasi komposisi yang digunakan seperti yang tertera pada Tabel 2, meliputi penambahan 0 gram, 2 gram, 3 gram, dan 4 gram ZnO, dikombinasikan dengan penambahan 20%, 30%, dan 40% massa gliserol.

Tabel 2. Kodifikasi Sampel Berdasarkan Komposisi Bahan

ZnO (F1)	Gliserol (G1)		
	G1 (20%)	G2 (30%)	G3 (40%)
F1 (0gr)	F1G1	F1G2	F1G3
F2 (2gr)	F2G1	F2G2	F2G3
F3 (3gr)	F3G1	F3G2	F3G3
F4 (4gr)	F4G1	F4G2	F4G3

Keterangan:

- F1 : Penambahan 0 gram ZnO
- F2 : Penambahan 2 gram ZnO
- F3 : Penambahan 3 gram ZnO
- F4 : Penambahan 4 gram ZnO
- G1 : Penambahan 20% Gliserol
- G2 : Penambahan 30% Gliserol
- G3 : Penambahan 40% Gliserol

Bahan-bahan yang telah dicampur lalu dimasukkan ke *hot plate* sembari diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan 700 rpm selama 60 menit pada temperatur

80°C secara kontinyu. Setelah selesai, campuran didiamkan selama 5 menit dengan tujuan untuk menghindari terbentuknya gelembung pada bioplastik. Campuran yang telah didiamkan lalu dituangkan ke cetakan akrilik berukuran 10 cm × 10 cm. Kandungan air pada campuran ini dikurangi menggunakan oven pada suhu 50°C selama 5 jam. Setelah didinginkan pada suhu kamar selama 24 jam, bioplastik dilepaskan dari cetakan. Langkah pengujian tersebut dapat diulangi untuk semua variasi sampel sesuai Tabel 2.

2.3. Analisis karakteristik bioplastik

2.3.1. Analisis Uji Kuat Tarik

Kuat tarik (*tensile strength at break*) merupakan beban tarik maksimum saat putus yang menjadi parameter dalam penentuan kualitas bioplastik (Seyeon, 2015). Pada penelitian ini, uji kuat tarik dilakukan dengan alat Tenso Lab./Mesdan Lab. Perolehan nilai kemudian dihitung dengan formula berikut.

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (1)$$

Keterangan:

σ : kuat tarik (MPa)
 F_{max} : gaya maksimum (N)
 A_0 : luas penampang minimum (mm²)

2.3.2. Analisis Uji Elongasi

Elongasi merupakan ukuran presentase penambahan panjang saat peregangan suatu bahan sebelum putus. Pada penelitian ini, uji elongasi dilakukan dengan alat Tenso Lab./Mesdan Lab. Perolehan nilai ini sudah terakumulasi sebagai persen elongasi.

2.3.3. Analisis Uji Swelling

Swelling merupakan kemampuan suatu bahan untuk mempertahankan sifat aslinya ketika berada dalam suatu pelarut seperti air, kloroform, maupun metanol. Pada penelitian ini, uji *swelling* dilakukan dengan merendam sampel dalam *aquadest* pada rentang waktu 3 menit. Kemudian, ketahanan yang diperoleh dihitung dengan persamaan berikut (Yaradoddi *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2010).

$$\%w = \frac{w-w_0}{w_0} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

$\%w$: persen *swelling* (%)
 w : berat sampel setelah direndam (gr)
 w_0 : berat sampel awal (gr)

2.3.4. Analisis Uji Ketebalan

Ketebalan menjadi parameter dalam ukuran kemampuan suatu film untuk menahan adanya difusi gas dari lingkungan sekitarnya (Yuniarti *et al.*, 2014). Pada penelitian ini, uji ketebalan dilakukan dengan alat Thickness Gauge Tester. Perolehan nilai ini sudah terakumulasi sebagai tebal sampel.

2.3.5. Analisis Uji Biodegradabilitas

Biodegradasi menjadi parameter penting karena menunjukkan kemampuan suatu bioplastik untuk terpecah menjadi fragmen yang lebih kecil akibat aktivitas mikroorganisme (Emadian *et al.*, 2017; Isroi *et al.*, 2018). Pada penelitian ini, uji biodegradasi dilakukan dengan mengubur sampel dalam tanah humus serta pengamatan vial dalam rentang 5 hari hingga sampel terurai sempurna. Kemudian analisa dilakukan secara deskriptif atau cerita dengan memperhatikan perubahan fisik sampel berupa perubahan warna dan pertumbuhan jamur dari hari pertama hingga hari ke-30.

2.3.6. Analisis Uji Fotodegradabilitas

Fotodegradasi mengukur kemampuan bioplastik untuk terdegradasi akibat paparan dari sinar radiasi UV (Svedin, 2020). Pada penelitian ini, uji fotodegradasi dilakukan dengan memaparkan sampel di bawah sinar matahari langsung yang kemudian dilakukan pengamatan dalam rentang 10 hari hingga sampel mengalami pembengkokan. Analisa dilakukan secara deskriptif atau cerita dengan memperhatikan perubahan fisik sampel berupa perubahan struktur dari hari pertama hingga hari ke-90.

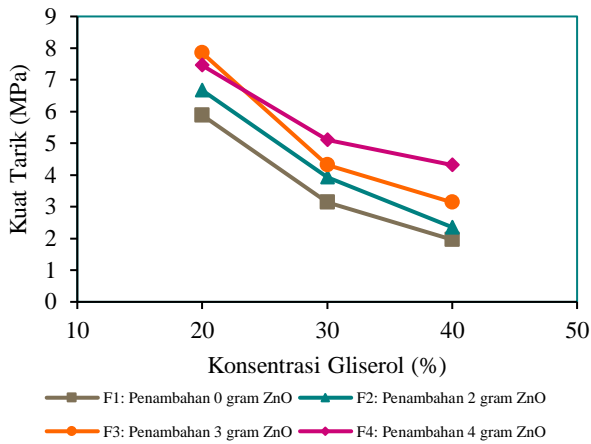
2.3.7. Analisis Karakteristik FTIR

Analisa karakteristik FTIR bertujuan untuk mengetahui keberadaan suatu gugus fungsi pada sampel bioplastik (Mohamed *et al.*, 2017). Pada penelitian ini, uji FTIR dilakukan dengan alat FTIR untuk mengetahui keberadaan gugus fungsi ZnO dan gugus fungsi lainnya. Perolehan analisis ini berupa grafik dengan format *transmittance* pada rentang panjang gelombang 400 cm⁻¹ - 4000 cm⁻¹.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kuat Tarik

Nilai kuat tarik merupakan suatu ukuran terhadap kemampuan plastik untuk menahan beban maksimum sebelum putus. Komposisi *plasticizer* dan *filler* dalam matriks polimer dapat mempengaruhi nilai kuat tarik dari bioplastik. Pada penelitian ini, diperoleh nilai kuat tarik tertinggi dari sampel dengan penambahan 3 gr ZnO dan 20% gliserol seperti yang tertera dalam Gambar 4. Hal ini disebabkan karena peran seng oksida sebagai *filler* dalam matriks polimer mampu berinteraksi dengan pati melalui ikatan hidrogen dimana keberadaan ikatan ini dapat meningkatkan kekuatannya. Penambahan seng oksida memungkinkan terbentuknya ikatan hidrogen dalam matriks polimer semakin tinggi. Dengan meningkatnya jumlah ikatan hidrogen dalam suatu matriks polimer membuat bioplastik menjadi kurang elastis (Ginting *et al.*, 2016). Dengan demikian, semakin besar penambahan rasio seng oksida menyebabkan peningkatan nilai kuat tariknya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 yang menunjukkan grafik hubungan antara pengaruh variasi konsentrasi ZnO dan Gliserol terhadap nilai kuat tarik bioplastik.



Gambar 1. Grafik Hubungan Konsentrasi Gliserol dan Penambahan ZnO terhadap Nilai Kuat Tarik

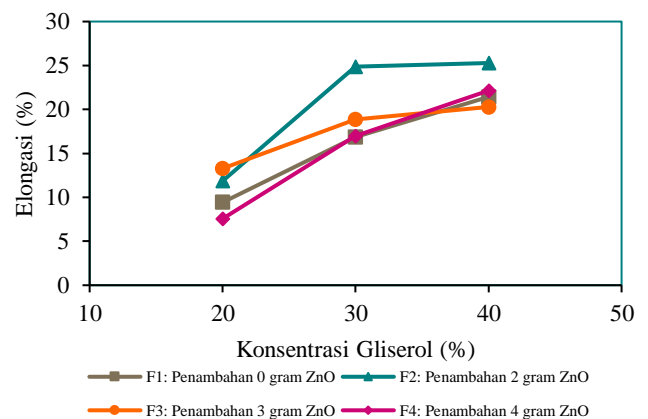
Berdasarkan Gambar 4 diperoleh hasil bahwa semakin banyak jumlah gliserol yang ditambahkan maka semakin turun kuat tarik yang dihasilkan. Semakin besar konsentrasi gliserol maka nilai elongasi bioplastik akan meningkat sedangkan nilai kuat tarik bioplastik akan menurun (Kurniawati *et al.*, 2022; Nulfia, dan Etika, 2022). Hal ini dikarenakan penambahan gliserol menyebabkan pembentukan ruang bebas dalam polimer lebih besar sehingga membuat jarak antar ikatan hidrogen semakin jauh yang menyebabkan turunnya kekuatan tarik dan akan membuat lapisan bioplastik yang dihasilkan lebih rata serta lebih lentur. Kemudian pada penambahan gliserol 20% dan 4 gr seng oksida terjadi penurunan nilai kuat tarik. Penurunan nilai ini disebabkan karena penambahan seng oksida sudah mencapai titik jenuhnya sehingga penambahan ini justru akan memperlemah ikatan hidrogen pada polimer. Hal ini dikarenakan seng oksida akan berada pada ikatan tersendiri diluar ikatan pati yang justru memperbesar ruang bebas pada polimer sehingga menyebabkan jarak antar ikatan tersebut berjauhan. Perolehan kuat tarik tertinggi hasil pembacaan pada Gambar 1 sebesar 7,848 MPa. Perolehan nilai kuat tarik secara keseluruhan telah memenuhi standar SNI 7818:2014 untuk kantong plastik mudah terurai.

3.2. Elongasi

Kualitas bioplastik yang bagus diidentifikasi sebagai biopolimer yang mampu kembali ke bentuk semula saat dikenai gaya. Kemampuan ini sering diukur dalam persen elongasi. Bioplastik yang berkualitas tinggi memiliki nilai elongasi yang tinggi. Pada penelitian ini, nilai elongasi dipengaruhi oleh rasio penambahan *filler* dan *plasticizer*. Hasil uji elongasi ditunjukkan oleh Gambar 2 yang menunjukkan grafik hubungan antara pengaruh variasi konsentrasi ZnO dan gliserol terhadap nilai elongasi bioplastik.

Berdasarkan pada Gambar 2, penambahan ZnO di bawah 2 g mampu meningkatkan nilai elongasinya sedangkan pada penambahan ZnO diatas 2 g justru akan menurunkan nilai elongasinya. Hal ini dikarenakan pada saat penambahan ZnO di bawah 2 g, belum banyak ikatan hidrogen yang terbentuk sedangkan saat penambahan ZnO

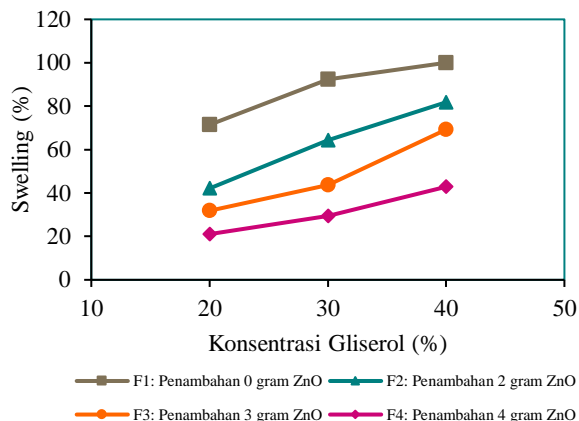
di atas 2 g, ikatan hidrogen yang terbentuk lebih banyak sehingga membuat jarak antar ikatan lebih dekat atau lebih rapat yang menyebabkan mobilitas dari polimer menjadi terbatas. Penurunan persen elongasi tersebut menunjukkan kesesuaian antara hasil dan teori yang menyatakan bahwa semakin besar konsentrasi ZnO mengakibatkan persen elongasi menurun. Kemudian peningkatan jumlah *plasticizer* akan meningkatkan persen pemanjangan. Hal ini dikarenakan komponen penyusun matriks bioplastik termasuk komponen hidrofilik yang menyebabkan terbentuknya ruang bebas dan meningkatkan mobilitas molekul dalam polimer bioplastik sehingga membuat bioplastik semakin elastis. Budiman *et al.* (2018) menyatakan bahwa penambahan gliserol sebagai pemlastis bertujuan untuk menurunkan sifat kaku dari pati. Penambahan pemlastis pada material berbasis pati dapat menurunkan kekuatan intramolekuler yang tinggi.



Gambar 2. Grafik Hubungan Konsentrasi Gliserol dan Penambahan ZnO terhadap Nilai Elongasi

3.3. Swelling

Kemasan bioplastik yang baik seharusnya memiliki ketahanan yang tinggi terhadap transfer air antara produk dengan lingkungan sekitarnya. Ketahanan yang tinggi ditunjukkan oleh nilai *swelling* yang kecil. Adapun parameter yang berpengaruh terhadap nilai *swelling* diantaranya rasio jumlah *plasticizer* dan *filler*. Pada penelitian ini, diperoleh nilai *swelling* tertinggi pada sampel dengan jumlah gliserol terbanyak dan jumlah ZnO paling sedikit seperti yang tertera pada Gambar 3. Hal ini disebabkan oleh sifat gliserol yang hidrofilik atau suka terhadap air serta kemampuan ZnO untuk berikatan secara kimia dengan matriks polimer selama pengadukan dimana densitasnya akan meningkat sehingga bioplastik yang diperoleh lebih tangguh. Sifat hidrofilik gliserol membuat bioplastik cenderung mengalami reorganisasi struktur jaringan polisakarida dimana jaringan tersebut menjadi kurang padat akibat keberadaan gliserol yang menyebabkan jarak ikatan antar molekul semakin lebar. Jarak ikatan antar molekul yang besar membuat bioplastik semakin elastis (Ginting *et al.*, 2016) sehingga timbul volume bebas yang memungkinkan terjadinya difusi molekul air dari lingkungan ke matriks bioplastik.

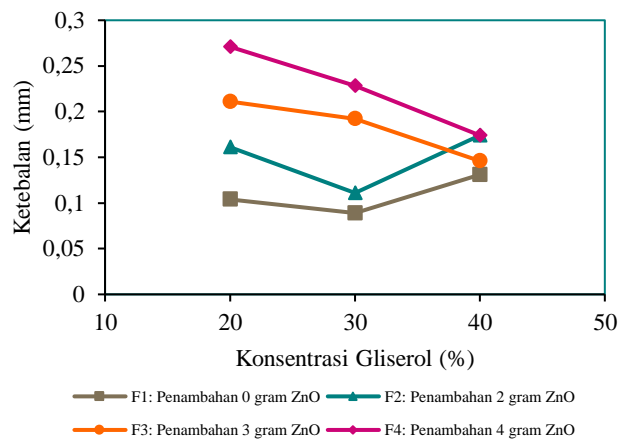


Gambar 3. Grafik Hubungan Konsentrasi Gliserol dan Penambahan ZnO terhadap Nilai *Swelling*

Di samping peran gliserol sebagai penguat nilai *swelling*, keberadaan ZnO justru menurunkan nilai tersebut karena keberadaan ZnO di dalam matrik bioplastik dapat meningkatkan densitas (Ginting *et al.*, 2016) sehingga akan meningkatkan ketangguhan bioplastik. Ketangguhan tersebut terbentuk akibat adanya interaksi ikatan kimia dengan pati selama proses pengadukan. Tingkat ketangguhan bioplastik sebanding dengan jumlah ikatan kimia yang ada dalam struktur matriknya. Peningkatan jumlah ikatan kimia antara senyawa ZnO dengan amilosa dan amilopektin membuat bioplastik menjadi semakin rapuh dan kurang elastis (Ginting *et al.*, 2016) dimana ruang bebas yang terbentuk kecil sehingga kemungkinan terjadi difusi molekul air dari lingkungan ke matriks bioplastik kecil. Oleh karena itu, peningkatan jumlah ZnO dapat menurunkan nilai *swelling*-nya. Pada uji ini, menunjukkan kemampuan dari sampel bioplastik dalam mempertahankan strukturnya ketika berada di dalam air sehingga berat dari tiap sampel tidak berpengaruh terhadap nilai dari *swelling*-nya. Berat dari tiap sampel hanya memperlihatkan kemampuan menyerap airnya. Perolehan terbaik pada uji ini pada penambahan 4 g ZnO dan 20% gliserol sebesar 21,05% seperti yang terlihat pada Gambar 3.

3.4. Ketebalan

Pengaplikasian bioplastik sebagai kemasan memiliki potensi yang tinggi terutama pada industri kemasan sekali pakai. Pengemasan dilakukan untuk melindungi produk dari kontaminasi lingkungan seperti gas dan uap air. Kemasan yang baik mampu melindungi produk dengan menahan terjadinya difusi gas dan uap air dari lingkungan. Kemampuan ini dapat dilihat dari sifat permeabilitas matriks polimer dimana penurunan sifat ini akan meningkatkan kualitas bioplastik sebagai kemasan. Adapun faktor yang berpengaruh terhadap sifat permeabilitas suatu matriks polimer, yaitu ketebalan film (Estiningtyas, 2010). Pada penelitian ini, diperoleh ketebalan terbesar pada sampel penambahan 4 g ZnO dan 20% gliserol seperti yang tertera dalam Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hubungan Konsentrasi Gliserol dan Penambahan ZnO terhadap Nilai Ketebalan

Berdasarkan Gambar 4 dapat terlihat bahwa penambahan filler seng oksida berpengaruh langsung terhadap ketebalan bioplastik yang diperoleh. Hal ini disebabkan karena keberadaan *filler* ZnO mampu berinteraksi dengan matriks melalui ikatan hidrogen sehingga peningkatan jumlah ikatan tersebut menyebabkan penebalan suatu matriks polimer. Dengan demikian, semakin besar penambahan *filler* ZnO maka akan diperoleh ketebalan film yang semakin tinggi dimana ketebalan yang semakin tinggi mampu menurunkan sifat permeabilitas polimer sehingga memperkecil kemungkinan adanya difusi gas dari lingkungan.

3.5. Biodegradasi

Kemampuan suatu bahan untuk terdegradasi dengan cepat ke lingkungan setelah digunakan merupakan komponen kunci dalam produksi bioplastik. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kemampuan degradasi bioplastik diantaranya rasio jumlah *filler* dan gliserol. Berdasarkan hasil pengamatan visual uji biodegradasi, rasio jumlah *filler* dan gliserol berpengaruh terhadap kemampuan degradasi bioplastik seperti yang tertera dalam Tabel 3 dan Tabel 4. Pada penelitian ini, kemampuan biodegradasi tertinggi diperoleh pada sampel dengan jumlah ZnO paling sedikit dan gliserol paling banyak, yaitu sampel F1G3. Hal ini dikarenakan ZnO memiliki sifat antibakteri sehingga senyawa ini dapat menghambat aktivitas mikroorganisme selama proses berlangsung yang menyebabkan penurunan kemampuan degradasi seiring dengan penambahan jumlahnya. Di lain sisi, keberadaan gliserol pada bioplastik mampu mengurangi daya tarik antar molekul dan memiliki permeabilitas uap air yang tinggi sehingga mampu menahan penguapan air. Oleh karena itu, penambahan jumlah gliserol justru meningkatkan kemampuan degradasi dari bioplastik karena mikroorganisme dapat lebih mudah menyerang polimer dengan mengganggu ikatan antar molekul yang lemah tersebut.

Perolehan hasil uji pengamatan visual ini secara keseluruhan telah memenuhi standar SNI 7818:2014 untuk kantong plastik mudah terurai dimana seluruh sampel

bioplastik yang diperoleh sudah mengalami kerusakan setelah 250 jam seperti yang ditampilkan pada Tabel 3 dan Tabel 4 dengan perolehan terbaik pada penambahan 30% dan 40% gliserol saja dimana sampel terurai sempurna selama 5 hari. Pada uji ini tidak dilakukan analisis kuantitatif karena kondisi sampel yang tidak memungkinkan untuk pengukuran residu.

Tabel 3. Hasil Pengamatan Visual Percobaan Uji Biodegradabilitas.

No	Variasi Sampel	Kondisi Fisik Sampel	Hari Ke-					Ket.
			0	5	10	15	20	
1	F1G1	Tipis ^	**	***	***	***	***	Terurai
2	F1G2	Tipis ^	***	***	***	***	***	Terurai
3	F1G3	Tipis ^	***	***	***	***	***	Terurai
4	F2G1	Tipis ^^	**	**	***	***	***	Terurai
5	F2G2	Tipis ^^	**	**	***	***	***	Terurai
6	F2G3	Sedikit Tebal ^^	**	**	***	***	***	Terurai
7	F3G1	Tebal ^^	**	**	**	***	***	Terurai
8	F3G2	Sedikit Tebal ^^	**	**	**	***	***	Terurai
9	F3G3	Tipis ^^	**	**	***	***	***	Terurai
10	F4G1	Tebal ^^	*	**	**	**	***	Terurai
11	F4G2	Tebal ^^	**	**	**	***	***	Terurai
12	F4G3	Tebal ^^	**	**	***	***	***	Terurai

Keterangan:

- * : Sedikit Terurai
- ** : Cukup Terurai
- *** : Terurai Sempurna
- ^ : Berwarna Bening
- ^^ : Berwarna Buram
- ^^^ : Berwarna Putih Tulang
- ^^^^ : Berwarna Putih Susu

3.6. Fotobiodegradasi

Degradabilitas menjadi parameter penting dalam penentuan kualitas bioplastik baik degradasi secara biologis maupun radiasi UV. Bioplastik berkualitas tinggi lebih berpotensi mengalami kerapuhan apabila terpapar sinar radiasi UV dalam waktu yang lama (Svedin, 2020). Pada penelitian ini

diperoleh hasil pengamatan visual dari uji fotodegradasi seperti yang tertera pada Tabel 5. Berdasarkan tabel tersebut, diperoleh hasil fotodegradasi terbaik pada sampel dengan perlakuan rasio jumlah *filler* dan plastilizer terbanyak, yaitu F4G3 dimana sampel mengalami pembengkokan atau perubahan struktur setelah penyinaran 90 hari seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 4. Hasil Pengamatan Visual dari Uji Bidegradasi

Hari	F1G1	F1G2	F1G3	F2G1	F2G2	F2G3
0						
5						
10						
Hari	F3G1	F3G2	F3G3	F4G1	F4G2	F4G3
0						
5						
10						
15						
20						

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa keberadaan *filler* ZnO mampu menyerap energi radiasi UV dari sinar matahari yang menyebabkan sampel semakin rapuh selama terkena paparan sinar tersebut. Namun, perolehan ini masih belum memenuhi standar SNI 7818:2014 untuk kantong plastik mudah terurai dimana sampel bioplastik yang diperoleh belum mengalami kerusakan setelah penyinaran selama 250 jam. Hal ini dikarenakan seng oksida belum mampu menyerap energi dari paparan radiasi UV secara maksimal sehingga pemutusan ikatan C-C dan C-H memerlukan waktu yang lama. Pemutusan ikatan ini nantinya akan menghasilkan radikal bebas yang kemudian bereaksi dengan oksigen membentuk gugus hidroksil dan karbonil sehingga menyebabkan perubahan struktur pada permukaan. Perubahan struktur ini ditunjukkan dengan pengerasan dan munculnya kerusakan halus pada lapisan permukaan sehingga polimer menjadi rapuh (Svedin, 2020).

3.7. Karakteristik FTIR

Analisis Uji FTIR digunakan untuk menentukan keberadaan gugus fungsi dalam suatu polimer. Pada penelitian ini, keberadaan senyawa seng oksida merupakan variabel bebas yang diteliti terhadap kualitas bioplastik yang diperoleh. Oleh karena itu, perlu melakukan identifikasi gugus fungsi senyawa tersebut untuk memastikan keberadaannya. Gambar 6 menunjukkan spektrum FTIR dari sampel bioplastik tanpa penambahan ZnO sedangkan Gambar 5

menunjukkan spektrum FTIR dari sampel bioplastik dengan penambahan ZnO.

Tabel 5. Hasil Pengamatan Visual Percobaan Uji Fotodegradabilitas










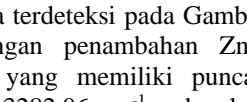
No	Variasi Sampel	Kondisi Fisik Sampel Hari Ke-										Ket.
		0	1	2	3	40	50	60	70	80	90	
1	F1G1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Tidak
		^	^	^	^	^	^	^	^	^	^	Terurai
2	F1G2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Tidak
		^	^	^	^	^	^	^	^	^	^	Terurai
3	F1G3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Tidak
		^	^	^	^	^	^	^	^	^	^	Terurai
4	F2G1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Tidak
		^	^	^	^	^	^	^	^	^	^	Terurai
5	F2G2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Tidak
		^	^	^	^	^	^	^	^	^	^	Terurai
6	F2G3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Tidak
		^	^	^	^	^	^	^	^	^	^	Terurai
7	F3G1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Tidak
		^	^	^	^	^	^	^	^	^	^	Terurai
8	F3G2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Tidak
		^	^	^	^	^	^	^	^	^	^	Terurai
9	F3G3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Tidak
		^	^	^	^	^	^	^	^	^	^	Terurai
10	F4G1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	**	Tidak
		^	^	^	^	^	^	^	^	^	^	Terurai
11	F4G2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	**	Tidak
		^	^	^	^	^	^	^	^	^	^	Terurai
12	F4G3	*	*	*	*	*	*	**	**	**	***	Tidak
		^	^	^	^^	^^	^^	^^^	^^^	^^^	^^^	Terurai

Keterangan:

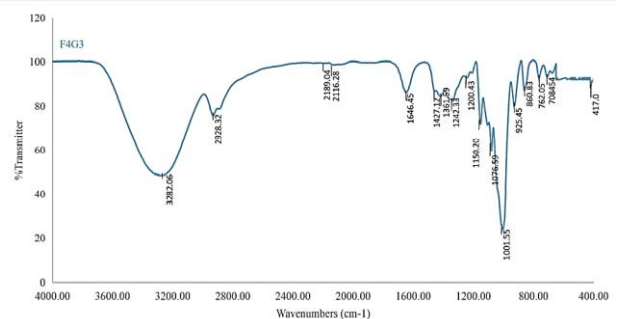
- * : elastis
- ** : sedikit rapuh
- *** : rapuh
- ^ : ujung sampel licin
- ^^ : ujung sampel sedikit bengkok
- ^^^ : ujung sampel cukup bengkok
- ^^^ : ujung sampel bengkok

Menurut Suryanegara *et al.* (2020), vibrasi gugus fungsi O-Zn-O sendiri terletak pada rentang serapan puncak antara 580-400 cm^{-1} sedangkan berdasarkan perolehan uji FTIR penelitian ini, untuk sampel bioplastik dengan penambahan senyawa seng oksida, gugus fungsi O-Zn-O terdeteksi pada serapan panjang gelombang 417,0 cm^{-1} seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dimana pada sampel bioplastik tanpa penambahan senyawa seng oksida seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 tidak terdapat pita absorpsi yang menunjukkan keberadaan gugus fungsi tersebut. Dengan demikian, hasil ini membuktikan bahwa senyawa seng oksida mampu berinteraksi secara kimia dengan komponen bioplastik lainnya.

Tabel 6. Hasil Pengamatan Visual Sampel F4G3

Hari	Kondisi Sampel	Pengamatan Visual
0	Elastis Ujung sampel licin	
10	Elaastis Ujung ampel licin	
20	Elastis Ujung sampel licin	
30	Elastis Ujung sampel sedikit bengkok	
40	Elastis Ujung sampel sedikit bengkok	
50	Elastis Ujung sampel sedikit bengkok	
60	Elastis Ujung sampel sedikit bengkok	
70	Sedikit rapuh Ujung sampel cukup bengkok	
80	Sedikit rapuh Ujung sampel cukup bengkok	
90	Rapuh Ujung sampel bengkok	

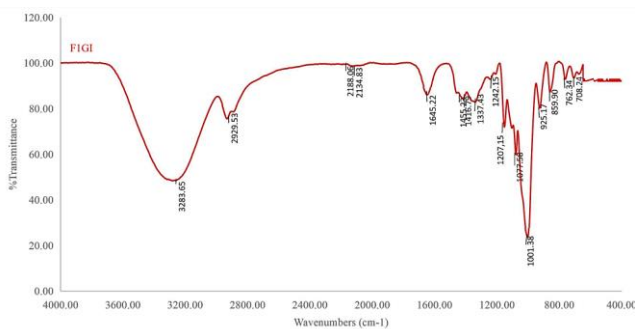
Adapun gugus lain yang juga terdeteksi pada Gambar 5 untuk sampel bioplastik dengan penambahan ZnO diantaranya gugus fungsi O-H yang memiliki puncak serapan pada panjang gelombang 3282,06 cm^{-1} sedangkan pada panjang gelombang 2928,32 cm^{-1} terdapat vibrasi regangan simetri dari gugus C-H.



Gambar 5. Spektrum FTIR dari Sampel Bioplastik dengan ZnO

Gugus fungsi C=O golongan amida juga ditemukan pada serapan panjang gelombang 1646,45 cm^{-1} dan serapan ulur

gugus fungsi C-O ditemukan pada rentang panjang gelombang 1427,12 - 1001,55 cm⁻¹.



Gambar 6. Spektrum FTIR dari Sampel Bioplastik Tanpa ZnO

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa penggunaan metode *melt intercalation* dalam memproduksi bioplastik dapat meningkatkan sifat mekanik dari bioplastik. Penambahan senyawa seng oksida (ZnO) dalam pembuatan bioplastik dapat berpengaruh terhadap kualitas bioplastik dimana semakin besar penambahan ZnO maka akan diperoleh peningkatan nilai kuat tarik, ketahanan terhadap hidrolisis air, dan kemampuan fotodegradasi serta penurunan nilai elongasi dan kemampuan biodegradasi. Selain itu, perbandingan komposisi bahan juga berpengaruh terhadap kualitas bioplastik dimana semakin besar rasio komposisi gliserol maka akan diperoleh peningkatan nilai elongasi, kemampuan biodegradasi, namun disertai penurunan nilai kuat tarik, ketahanan terhadap hidrolisis air, dan kemampuan fotodegradasi. Perolehan komposisi optimal didapatkan pada variabel sampel F3G1 dengan penambahan 3 g ZnO dan 20% gliserol dimana nilai kuat tarik yang diperoleh sebesar 7,848 MPa, nilai elongasi sebesar 13,285%, nilai *swelling* sebesar 31,8182%, dan kemampuan degradasi selama 20 hari.

Daftar Pustaka

Abe, M. M., Martins, J. R., Sanvezzo, P. B., Macedo, J. V., Branciforti, M. C., Halley, P., ... & Brienza, M. (2021). Advantages and disadvantages of bioplastics production from starch and lignocellulosic components. *Polymers*, 13(15), 2484.

Ankur, A., Vivek, V., (2016). A Process for Preparation of Bioplastic. Patent No. WO2016156930A1

Awang, M. and Mohd., WRW., (2018). Comparative studies of Titanium Dioxide and Zinc Oxide as a potential filler in Polypropylene reinforced rice husk composite. *Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 342.

BSN, (2014). *Kantong Plastik Mudah Terurai*, Jakarta: Standar Nasional Indonesia, 7818:2014.

Budiman, J., Nopianti, R., & Lestari, S. D. (2018). Karakteristik bioplastik dari pati buah lindur (*Bruguiera gymnorizha*). *Jurnal Fishtech*, 7(1), 49-59.

Bustamante, E.A.S., et al., (2014). In Situ Polymerisation Process for Obtaining an Electro-Optical Apparatus, Said Polymer and Electro-Optical Apparatus and Uses

Thereof, United States: Patent Application Publication, US20140002783A1.

Chang, X. X., Mubarak, N. M., Mazari, S. A., Jatoi, A. S., Ahmad, A., Khalid, M., ... & Nizamuddin, S. (2021). A review on the properties and applications of chitosan, cellulose and deep eutectic solvent in green chemistry. *Journal of industrial and engineering chemistry*, 104, 362-380.

Daniel, D. J., & Panneerselvam, K. (2017). Manufacturing issues of polypropylene nanocomposite by melt intercalation process. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 4032-4041.

Dinesh K.S., Purushothaman, S., (2016). Synthesis and Characterization of Polymer Nanocomposites for Biomedical Applications - Current Perspectives and Challenges, *International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES)*, 4,10, 2320-9356.

Dirhanoe, R.F., Heriawati, T.A., (2016). Pembuatan Plastik Biodegradable dari Pati Umbi Ganyong (*Canna edulis*) dengan Penambahan Kitosan dan Gliserol, Laporan Penelitian, UPNV Yogyakarta.

Emadian, S. M., Onay, T. T., & Demirel, B. (2017). Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste management*, 59, 526-536.

Estiningtyas, H.R., (2010). Aplikasi edible film maizena dengan penambahan ekstrak jahe sebagai antioksidan alami pada coating sosis sapi, Skripsi S1 (dipublikasikan), Surakarta: Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret.

Fatimah, S., Kencana, S. P., & Eskani, I. N. (2023). Effect of ZnO Addition on The Characteristics of Cotton Fabric in The Batik Fabric Dyeing Process. *Eksergi*, 20(3), 210-213.

Gabriel, A. A., Solikhah, A. F., Rahmawati, A. Y., Taradipa, Y. S., & Maulida, E. T. (2021). Potentials of Edible *Canna (Canna edulis Kerr)* Starch for Bioplastic: A Review. *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 10(2), 182-191.

Ginting, M. H. S., Kristiani, M., Amelia, Y., & Hasibuan, R., (2016). The Effect of Chitosan, Sorbitol, and Heating Temperature Bioplastic Solution on Mechanical Properties of Bioplastic from Durian Seed Starch (*Durio zibehinus*), *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 6, 1, 33-38.

Guo, Q., Ghadiri, R., Weigel, T., Aumann, A., Gurevich, E. L., Esen, C., ... & Ostendorf, A. (2014). Comparison of in situ and ex situ methods for synthesis of two-photon polymerization polymer nanocomposites. *Polymers*, 6(7), 2037-2050.

Irfandy, F., Ristianingsih, Y., & Istiani, A. (2021). Study of the activity of activated carbon impregnated with Fe₂O₃ as a biosorbent for methylene blue from wastewater. *Eksergi*, 18(2), 89-92.

Ismail, S., Mansor, N., & Man, Z. (2017). A study on thermal behaviour of thermoplastic starch plasticized by [Emim] Ac and by [Emim] Cl. *Procedia engineering*, 184, 567-572.

Isroi, G. S., Eris, D. D., & Cahyaningtyas, A. A. (2018). Biodegradability of cassava edible bioplastics in

- landfill and plantation soil. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 40(2), 129-140.
- Istiani, A., Yusuf, Y., Irfandy, F., & Puspitasari, M. (2022). Physical Property Analysis of Biodegradable Film Made from Garut Starch, Glycerol, and Citric Acid. *Eksergi*, 19(3), 148-152.
- Jelonek, K., Kaczmarczyk, B., Orchel, A., Chodurek, E., Jaworska-Kik, M., Padaszyński, P., ... & Kasperczyk, J. (2021). Correlation between the composition of PLA-based folate targeted micelles and release of phosphonate derivative of betulin. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 65, 102717.
- Kurniawati, C. T., Sutrisno, J., Walujo, D. A., & Sembodo, B. P. (2022). Pemanfaatan limbah tongkol jagung manis (*Zea Mays L Saccharata*) sebagai bahan bioplastik dengan penambahan ZnO dan gliserol. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 20(01), 54-64.
- Lailinyngtyas, D. I., & Ahmad, A. M. (2020). Uji mekanik bioplastik berbahan pati umbi ganyong (*Canna edulis*) dengan variasi selulosa asetat dan sorbitol. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 8(1), 91-100.
- Lörcks, J. (1998). Properties and applications of compostable starch-based plastic material. *Polymer degradation and stability*, 59(1-3), 245-249.
- Ma'arif, L., Fitrass, U., & Sedyadi, E. (2020, April). Bioplastic biodegradation based on ganyong umbi states with addition of sorbitol and CMC (Carboxy Methyl Cellulose) in soil media. *Proceeding International Conference on Science and Engineering*, 3, 429-435.
- Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., & Rahman, M. A. (2017). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Membrane characterization*, 3-29
- Neighbors, G., 2019, Which Type of Starch Makes a Stronger Bioplastic?, *California Science & Engineering Fair Project Summary*. (2 July 2024) <https://csef.usc.edu/History/2019/Projects/J1316.pdf>
- Nulfia, I., dan Etika, S.B., (2022). Plastik Biodegradable dari Pati Buah Sukun (*Artocarpus altilitis*) dengan Penambahan Plasticizer Gliserol, *Jurnal Periodic*, 11 (2), 45-49.
- Poth, U., (2019). Solution polymerization products. In Poth, U., & Baumstark, R., *Acrylic resins*. Vincentz Network, Germany.
- Puffr, R., Špátová, J. L., & Brožek, J. (2013). Clay mineral/polyamide nanocomposites obtained by in-situ polymerization or melt intercalation. *Applied clay science*, 83, 294-299.
- Putri, D. I. M., Sumari, S., Darmokoesomo, H., Supriyanto, G., & Nugroho, N. A. (2023). Conversion of Glycerol to Ethanol by Integrating Ultrasonic and Ni/ZSM-5 Catalyst. *Eksergi*, 20(1), 1-7.
- Rahman, M. M. (2020). Polyurethane/zinc oxide (PU/ZnO) composite—synthesis, protective property and application. *Polymers*, 12(7), 1535.
- Reiningtyas, R., Rahayuningsih, E., Kusumastuti, Y., & Kartini, I. (2023). Optimization of Zinc Oxide Nanoparticles Coating on Cotton-Indigo Fabrics using Response Surface Methodology. *Eksergi*, 20(2), 100-106.
- 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), 13-21.
- Sedyadi, E., & Yuliati, R. T. (2020, July). Preparation of Ganyong (*Canna discolor*) Starch Bioplastic with the Addition Of Sirih (Piper betle) Leaf Extract. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1594, No. 1, p. 012050). IOP Publishing.
- Seyeon, H., (2015). Study of Materials and Machines for 3D Printed Large-Scale Flexible Electronic Structures Using Fused Deposition Modeling, Doctoral Program in Materials Science and Engineering Thesis, Texas: THE UNIVERSITY OF TEXAS AT EL PASO.
- Shamsuddin, I. M., Jafar, J. A., Shawai, A. S. A., Yusuf, S., Lateefah, M., & Aminu, I. (2017). Bioplastics as better alternative to petroplastics and their role in national sustainability: a review. *Adv. Biosci. Bioeng*, 5(4), 63.
- Sharma, K., Kalra, P., & Kaur, B. (2024). Production of Bioplastics from Banana Peels. *From Waste to Wealth 1471-1491*. Singapore: Springer Nature Singapore.
- Sharma, Suraj., et al., (2013). *Macrophyte-Based Bioplastic*. Patent Application Publication, United States, US20130220173A1.
- Shen, Z., Simon, G. P., & Cheng, Y. B. (2002). Comparison of solution intercalation and melt intercalation of polymer-clay nanocomposites. *Polymer*, 43(15), 4251-4260.
- Sitepu, R. (2023). Pengelolaan dan Pemasaran Ganyong sebagai Salah Satu Potensi Pertanian Desa Terbah untuk Mengembangkan Kuliner Yogyakarta. *Jurnal Atma Inovasia*, 3(1), 064-069.
- Solomonides, E.G., (2016). Biodegradable Bioplastic Compositions and Methods of Making and Using The Same, WO2016134094A1.
- Suryanegara, L., Fatriasari, W., Zulfiana, D., Anita, S. H., Masruchin, N., Gutari, S., & Kemala, T. (2021). Novel antimicrobial bioplastic based on PLA-chitosan by addition of TiO₂ and ZnO. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 19, 415-425.
- Svedin, J., (2020). Photodegradation of Macroplastics to Microplastics: A laboratory study on common litter found in urban areas, *Natural Resource Engineering*, 30, Luleå University of Technology.
- Syamsyyah, M. A., Sari, M. W., Cengristitama, C., & Nurdini, L. (2023). The Effect of Temperature and Time of Drying from Corn Starch Bioplastic on Biodegradation Time. *Eksergi*, 20(2), 76-81.
- Theng, B.K.G., (2012). Polymer-Clay Nanocomposites. *Developments in Clay Science*, 4, 201-241.
- Viamonte-Aristizábal, S., García-Sancho, A., Campos, F. M. A., Martínez-Lao, J. A., & Fernández, I. (2021). Synthesis of high molecular weight L-Polylactic acid (PLA) by reactive extrusion at a pilot plant scale: Influence of 1, 12-dodecanediol and di (trimethylol

- propane) as initiators. *European Polymer Journal*, 161, 110818.
- Vieira, M.G.A., et al., (2011). Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *School of Chemical Engineering*, 500, 13083-852, Brazil: University of Campinas, UNICAMP.
- Watcharatewinkul, Y., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., & Uttapap, D. (2009). Pasting properties of a heat-moisture treated canna starch in relation to its structural characteristics. *Carbohydrate Polymers*, 75(3), 505-511.
- Widiyandari, H., Ketut Umiati, N. A., & Dwi Herdianti, R. (2018, May). Synthesis and photocatalytic property of Zinc Oxide (ZnO) fine particle using flame spray pyrolysis method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1025, 12004
- Xiao, H., Wang, S., Xu, W., Yin, Y., Xu, D., Zhang, L., ... & Xu, B. (2020). The study on starch granules by using darkfield and polarized light microscopy. *Journal of Food Composition and Analysis*, 92, 103576.
- Yamamoto, K., & Buckow, R. (2016). Pressure gelatinization of starch. *High Pressure Processing of Food: Principles, Technology and Applications*, 433-459.
- Yaradoddi, J., Patil, V., Ganachari, S., Banapurmath, N., Hunashyal, A., Shettar, A., & Yaradoddi, J. S. (2016). Biodegradable plastic production from fruit waste material and its sustainable use for green applications. *Int. J. Pharm. Res. Allied Sci*, 5(4), 72-81.
- Yuniarti, L. I., Hutomo, G. S., & Rahim, A. (2014). Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik Berbasis Pati Sagu (*Metroxylon* sp). *e-Journal Agrotekbis 2* (1), 38-46. ISSN: 2338, 3011.
- Yusuf, Y., Irfandy, F., & Istiani, A. (2022). Mathematical Model of Water Absorption in Arrowroot Starch-Chitosan Based Bioplastic. *Eksergi*, 19(1), 35-39.
- Zhang, G., Wu, T., Lin, W., Tan, Y., Chen, R., Huang, Z., ... & Qu, J. (2017). Preparation of polymer/clay nanocomposites via melt intercalation under continuous elongation flow. *Composites Science and Technology*, 145, 157-164.
- Zhang, J., Wang, Z. W., & Yang, J. A. (2010). Physicochemical properties of *Canna edulis* Ker starch on heat-moisture treatment. *International Journal of Food Properties*, 13(6), 1266-1279.