

Pengaruh Penambahan *Filler* dari Selulosa Tongkol Jagung dan Zink Oksida Pada Plastik *Biodegradable*

Endah Rahma Danni,¹ Abu Hasan,² & Robert Junaidi³

^{1,2,3} Program Studi Teknologi Kimia Industri, Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia

Corresponding author: endahrahmadani0@gmail.com

Abstract (English)

The main objective of this research is to obtain the optimum composition of bioplastics from the main ingredients of starch, cassava husks and corncobs. In this research, cassava peel starch will be used as the basic ingredient, glycerol as a plasticizer, as well as the addition of PVA, cellulose and ZnO with different concentration variations, namely 0.4; 0.8; 1.2; 1.6 g. The manufacture of biodegradable plastic will be carried out using the melt intercalation method or phase inversion technique, namely the evaporation of the solution after the printing process on the glass plate. Then biodegradation and mechanical properties of bioplastics were tested. The results of this study obtained the optimum composition in sample D3 with the most variations in the addition of cellulose with the highest tensile strength test value of 6.008 MPa, 12% Elongation Test, 48.07% Young's Modulus, 91.6% water resistance and Estimated degradation time of 27- 34 days.

Article History

Submitted: 5 December 2023
Accepted: 14 December 2023
Published: 15 December 2023

Key Words

biodegradable plastic,
corncob
mechanical properties

Abstrak (Indonesia)

Tujuan utama dari penelitian ini untuk memperoleh komposisi bioplastik yang optimum dari bahan utama Pati kulit Singkong dan tongkol jagung. Dalam penelitian ini akan digunakan pati kulit singkong sebagai bahan dasarnya, gliserol sebagai plastizer, serta penambahan PVA, Selulosa dan ZnO dengan variasi konsentrasi yang berbeda beda yaitu 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 g. Pembuatan plastik biodegradable akan dilakukan dengan metode melt intercalation atau teknik inversi fasa yaitu penguapan larutan setelah proses pencetakan pada plat kaca. Lalu dilakukan pengujian biodegradasi dan sifat mekanik bioplastik. Hasil dari penelitian ini didapatkan komposisi optimum yaitu pada sampel D3 dengan variasi penambahan Selulosa terbanyak dengan nilai uji kuat tarik tertinggi yaitu 6,008 MPa, Uji Elongasi 12%, Modulus Young 48,07%, ketahanan air 91,6% serta Perkiraan waktu degradasi 27-34 hari.

Sejarah Artikel

Submitted: 5 December 2023
Accepted: 14 December 2023
Published: 15 December 2023

Kata Kunci

Plastik biodegradable,
tongkol jagung
sifat mekanik

PENDAHULUAN

Peredaran sampah plastik di dunia masih menjadi masalah pencemaran lingkungan yang sangat serius dan sulit diatasi. Berbagai kota-kota besar di dunia dapat menghasilkan sampah plastik hingga 1,3 miliar ton dan diperkirakan akan terus meningkat hingga 2,2 miliar ton pada tahun 2025 mendatang. Indonesia sendiri merupakan negara penyumbang sampah plastik terbesar kedua di dunia setelah Tiongkok. Seiring dengan persoalan ini, maka penelitian bahan kemasan diarahkan pada bahan - bahan organik, yang dapat dihancurkan secara alami dan mudah diperoleh berupa plastik *biodegradable* [1].

Bioplastik atau plastik *biodegradable* merupakan jenis plastik yang ramah lingkungan karena sangat mudah terurai secara alami oleh aktivitas mikroorganisme [2]. Plastik *biodegradable* terbuat dari material yang dapat diperbaharui, yaitu senyawa-senyawa yang terdapat dalam tanaman seperti pati, selulosa, kolagen, kasein protein atau senyawa lipid yang terdapat pada hewan [3].

Pati adalah karbohidrat yang merupakan polimer glukosa yang terdiri dari amilosa dan amilopektin dengan perbandingan 1:3, besarnya perbandingan amilosa dan amilopektin ini

berbeda-beda tergantung jenis patinya. Beberapa jenis campuran pati (campuran tapioka, pati beras, serat pulp kayu, pati kentang, pati ubi dan biji alpukat) digunakan untuk meningkatkan sifat kemasan bioplastik [4-5].

Pati juga terdapat pada kulit singkong, kandungan pati yang berasal dari kulit singkong yang cukup tinggi memungkinkan digunakan sebagai film plastic *biodegradable*. Potensi tersebut dapat digunakan sebagai peluang untuk memberikan nilai tambah pada kulit singkong sebagai bahan dasar dalam pembuatan kemasan plastik yang ramah lingkungan. Kulit singkong atau kulit ubi kayu yang diperoleh dari produk tanaman ubi kayu (*Manihot esculenta Cranz. atau Manihot utilissima Pohl*), Setiap kilogram singkong biasanya dapat menghasilkan 15 – 20 % kulit umbi [1]. Meskipun pati dari kulit singkong ini dapat digunakan sebagai bahan bioplastik, namun dalam pengaplikasiannya bioplastik dari pati memiliki kekurangan yaitu, kinerja mekanik yang buruk dan penyerapan air yang tinggi.

Salah satu cara untuk meningkatkan sifat mekanik film pati adalah mencampur pati dengan biopolimer lain. Umumnya, bioplastik yang terdiri dari pati sebagai bahan dasarnya membutuhkan campuran bahan aditif untuk menghasilkan sifat mekanis yang lunak, ulet, dan kuat. Umumnya, bioplastik yang terdiri dari pati sebagai bahan dasarnya membutuhkan campuran bahan aditif untuk menghasilkan sifat mekanis yang lunak, ulet, dan kuat [6]. Salah satu yang bisa digunakan untuk menjadi solusi dari sifat mekanis yang rendah pada plastik biodegradable adalah pencampuran pati dengan selulosa.

Pemilihan selulosa tongkol jagung sebagai penguat ini selain karena kandungan selulosanya yang tinggi juga karena produksi jagung di Indonesia yang melimpah. SYL mengungkapkan berdasarkan data prognosa Kementan dan BPS, luas panen jagung nasional Januari-Desember 2021 seluas 4,15 juta hektar, produksi bersihnya sebesar 15,79 juta ton dengan kadar air 14%.. Bagian tanaman jagung kira-kira 50% merupakan limbah yang ditinggalkan setelah panen.

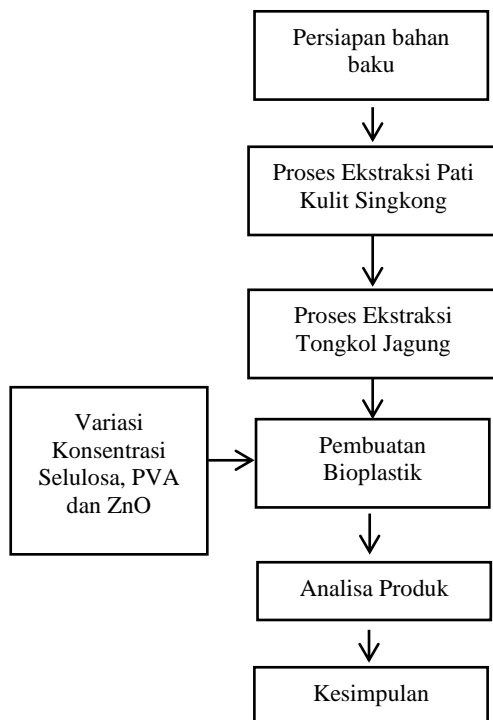
Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Arifa, dkk (2020) mengenai produksi dan karakterisasi bioplastik berbasis pati beras dan pati jagung menggunakan berbagai plastizer dan filler penguat alami. Studi ini menunjukkan bahwa pemanfaatan pati dari sumber yang berbeda, berbagai jenis plasticizer, serta jenis dan jumlah pengisi, dapat berdampak signifikan pada sifat fisika-kimia bioplastik. Menurut Albin dkk (2021) penambahan *filler* mempengaruhi laju biodegradasi pada bioplastik pati singkong. Peningkatan komposisi *filler* akan menurunkan kemampuan biodegradasi bioplastik. Menurut Chong dkk (2021) bioplastik yang diperkuat selulosa nanofibril dari tongkol jagung 12% berat telah meningkatkan kekuatan tarik sebesar 108% dan mengurangi perpanjangan sebesar 10% dibandingkan dengan bioplastik biasa berbahan dasar pati jagung.

Berdasarkan latar belakang dan penelitian terdahulu dapat dilihat bahwa plastik yang berbahan dasar pati masih memiliki kekurangan dari sifat mekanisnya sehingga diperlukan solusi lain untuk mengatasinya yaitu dengan penambahan *filler* berupa selulosa tongkol jagung. Selain itu akan ditambahkan juga penguat tambahan berupa Polivinil Alkohol (PVA) dan ZnO serta gliserol sebagai *plasticizer* untuk meningkatkan elastisitas, kuat tarik dan ketahanan air. Penelitian ini ingin mengetahui berapa konsentrasi tiap bahan yang paling mempunyai dampak terbaik terhadap bioplastik serta sejauh mana tongkol jagung yang memiliki kandungan selulosa tinggi dapat menghasilkan bioplastik yang memiliki sifat mekanik tidak jauh berbeda bahkan sama dengan sifat mekanik yang dimiliki plastik sintesis.

METODE

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu gelas kimia, pelat panas, pengaduk magnetik, oven, neraca analitik, desikator, cetakan kaca/*acrylic*, kertas saring, pipet ukur, pipet tetes, spatula/pengaduk, thermometer. Bahan yang digunakan yaitu Tongkol Jagung (Selulosa), Gliserol, Polivinil Alkohol (PVA), Pati, Aquadest, Zink Oksida (ZnO), Natrium Hidroksida (NaOH 10%), Hidrogen Peroksida (H₂O₂ 10%), Asam Asetat (CH₃COOH 1%).

Penelitian sintesis dan karakterisasi bioplastik berbahan baku selulosa tongkol jagung akan dilakukan pada skala eksperimen dengan menggunakan metode *melt intercalation* atau teknik inversi fasa yaitu dengan penguapan larutan setelah proses pencetakan pada plat kaca. Menurut Aripin dkk., 2017, metode ini didasarkan pada prinsip termodinamika larutan dimana keadaan awal larutan stabil kemudian mengalami ketidakstabilan pada proses perubahan fase (*demixing*) dari cairan menjadi padatan. Proses pematatannya (*solidifikasi*) diawali transisi fase cair satu ke fase dua cairan (*liquid-liquid demixing*) sehingga pada tahap tertentu fase (polimer konsentrasi tinggi) akan membentuk padatan. Adapun prosedur penelitian ini akan dilakukan melalui beberapa tahapan yang ditunjukkan pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram alir Tahapan Penelitian

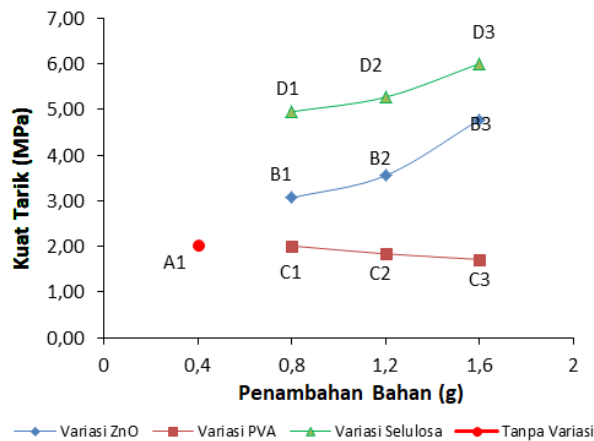
Gambar 1 merupakan diagram alir tahapan percobaan yang diawali tahap preparasi bahan baku. Bahan baku yang digunakan disini adalah tongkol jagung dan kulit singkong. Bahan baku tersebut lalu akan melalui tahap ekstraksi untuk mengambil pati dari kulit singkong dan selulosa dari tongkol jagung. Proses ekstraksi selulosa dari tongkol jagung sendiri akan melalui dua tahap yaitu proses delignifikasi dan bleaching. Pada tahap delignifikasi akan digunakan larutan NaOH% untuk menghilangkan kandungan lignin pada tongkol jagung, Jika selulosa yang didapat masih berwarna coklat gelap, maka akan dimurnikan kembali melalui proses bleaching menggunakan H₂O 10%, karena pada umumnya masih ada pigmen dan sisa lignin yang masih terikat dalam selulosa. Setelah tahap ekstraksi akan dilanjutkan dengan tahap pembuatan bioplastik, pada pembuatan bioplastik akan dilakukan formulasi campuran dengan variasi berbeda tiap sampelnya yaitu pada penambahan Selulosa, Polivinil Alkohol dan Zink Oksida. Ketiga bahan tersebut akan divariasikan konsentrasinya dari 0,4; 0,8; 1,2 dan 1,6 gr. Untuk penambahan pati 5 gr, aquadest 120 ml dan gliserol 2,5 ml pada setiap sampel dilakukan sama tanpa adanya variasi. Setelah didapatkan hasil produk dari setiap sampel, sampel tersebut akan dilakukan tahap karakterisasi/pengujian produk bioplastik. Pada pengujian sampel bioplastik ini akan ada lima analisa yaitu nilai kuat tarik (*tensile strength*), perpanjangan putus, modulus young, ketahanan air dan biodegradasi di dalam tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Pengujian Kuat tarik bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik bioplastik dalam menahan gaya tarik dari beban maksimum yang di berikan. Bioplastik dengan kekuatan tarik yang tinggi akan mampu melindungi produk yang dikemasnya dari gangguan mekanis dengan baik [2].

Pengaruh penambahan ZnO, PVA dan Selulosa terhadap nilai kuat tarik pada produk bioplastik dapat dilihat pada gambar 2



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi ZnO, PVA dan Selulosa

Gambar 2 menunjukkan pengaruh penambahan ZnO, PVA dan Selulosa terhadap nilai kuat tarik pada produk bioplastik. Kisaran nilai kuat tarik dari semua sampel sebesar 1,72 hingga 6,01 MPa. Nilai kuat tarik tertinggi yaitu sampel bioplastik D3 sebesar 6,01 MPa. Nilai kuat tarik terendah yaitu sampel bioplastik C3 sebesar 1,72 MPa.

Kenaikan nilai kuat tarik meningkat dengan bertambahnya jumlah selulosa dan ZnO yang digunakan, Hal ini disebabkan ion Zn^{2+} akan menjadi jembatan dan pengganti antarmolekul ikatan hidrogen yang hilang saat ditambahkan pati dan gliserol hingga membentuk ikatan kompleks yang membuat kuat tarik bioplastik menjadi lebih kuat [8]. Hal ini juga selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Amni dkk (2016) dan Saputra dkk (2019).

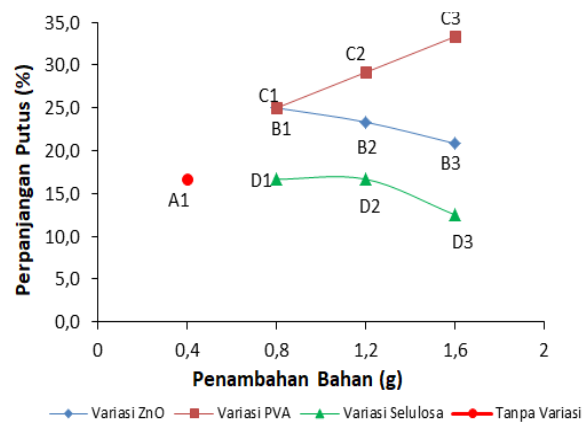
Meningkatnya kuat tarik pada produk bioplastik dengan penambahan selulosa dikarenakan selulosa memiliki rantai polimer yang lurus dan panjang sehingga dapat membuat bioplastik menjadi kuat. Tingginya kuat tarik pada variasi selulosa dipengaruhi adanya ikatan hidrogen intermolekuler yang terjadi antara gugus hidroksil (O-H) dari pati dengan gugus hidroksil (O-H) dan karboksil (COOH) selulosa sehingga ikatan tersebut mengakibatkan kekuatan mekanik bioplastik menjadi semakin meningkat [10]. Hal ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Sulistyono dan Ismiyati (2012) dan Intandiana dkk (2019)

Dengan penambahan PVA menyebabkan nilai kuat tarik dari produk bioplastik tersebut menurun. Hal ini dikarenakan rantai ikatan polimer pati di dalam larutan PVA terletak di antara rantai ikatan polimer selulosa sehingga ikatan polimer selulosa pati berkurang yang menyebabkan berkurangnya kuat tarik.

Perpanjangan Putus

Persen perpanjangan putus (% Elongasi) didefinisikan sebagai presentase perubahan panjang film pada saat film ditarik sampai putus [13].

Pengaruh penambahan ZnO, PVA dan Selulosa terhadap nilai perpanjangan putus pada produk bioplastik dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 3 Pengaruh konsentrasi ZnO, PVA dan Selulosa terhadap perpanjangan putus

Gambar 3 menunjukkan nilai kisaran perpanjangan putus dari semua sampel antara 12,5 hingga 33,33 %. Nilai perpanjangan putus tertinggi yaitu bioplastik sampel C3 sebesar 33,33 %. Nilai kuat tarik terendah yaitu bioplastik D3 sebesar 12,5 %. Sifat perpanjangan putus bioplastik menunjukkan hal yang berlawanan dengan kuat tarik.

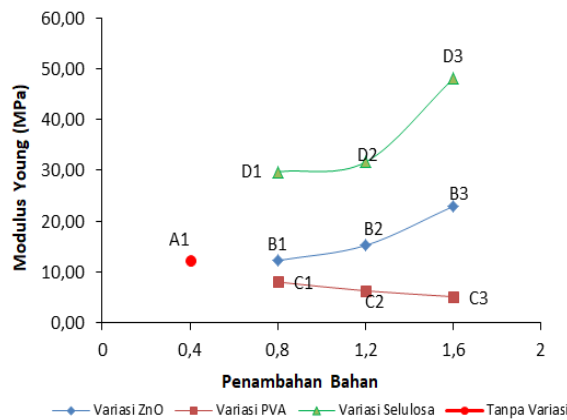
Hasil perpanjangan putus sampel A1 tanpa variasi yaitu 17 %, mengalami kenaikan dengan penambahan ZnO 0,8 g yaitu sebesar 25 % pada sampel B1. Dibandingkan sampel B1 perpanjangan putus konsentrasi ZnO 1,2 g; dan 1,6 g; pada sampel B2 dan B3 lebih kecil yaitu 23,33 % dan 20,83 %. Hal ini terjadi karena adanya kecenderungan sifat ZnO yang saling berikatan yang dapat membuat bioplastik menjadi kaku [9]. Menurut Eldo (2012) terjadinya penurunan perpanjangan putus disebabkan proses masuk dan berikatannya ZnO mempengaruhi matriks polimer pati sehingga menyebabkan bioplastik menjadi kaku. Semakin tinggi konsentrasi ZnO dapat mempengaruhi turunnya ikatan pada proses plastisasi dari matriks polimer pati dengan gliserol sehingga perpanjangan putus bioplastik semakin rendah.

Nilai perpanjangan putus mengalami penurunan seiring dengan penambahan konsentrasi selulosa. Hal ini dikarenakan penurunan kandungan selulosa dapat membuat adanya gugus hidroksil (OH) dari pati dan gugus karboksil (COOH) dari selulosa, ikatan ini menghasilkan kekuatan yang tinggi dan menurunkan sifat elastis [15]. Hal ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Intandiana dkk (2019) pada bioplastik dengan kandungan selulosa 0% (tanpa penambahan selulosa) memiliki nilai elongasi 21,7%. Sedangkan pada bioplastik dengan kandungan selulosa 10% memiliki nilai elongasi 1,45% yang berarti nilai elongasi tersebut menurun. Hal ini juga didukung oleh Panjaitan dkk (2017) yang menyatakan semakin banyak komposisi selulosa yang terkandung di dalamnya maka persen elongasi semakin berkurang. Hal ini dikarenakan fleksibilitas yang tinggi pada selulosa sehingga dapat memberikan pengaruh terhadap perpanjangan elongasi pada sampel bioplastik. Menurut Darni dkk (2006) penurunan sifat mekanik perpanjangan putus dipengaruhi banyaknya penguat yang digunakan, semakin tinggi konsentrasi penguat yang digunakan mengakibatkan elongasi semakin menurun.

Berbeda dengan penambahan variasi bahan selulosa dan ZnO yang elongasi semakin rendah jika konsentrasinya ditingkatkan, pada sampel C1, C2 dan C3 dengan variasi PVA, nilai perpanjangan putus justru meningkat seiring bertambahnya konsentrasi PVA yaitu sebesar 25 %, 29,17 % dan 33,33 %. Hal Ini dikarenakan PVA memiliki sifat lentur dan fleksibilitas yang tinggi. Sifat ini dapat melemahkan gaya intermolekul antara rantai polimer selulosa dan pati yang berdekatan dan menghasilkan nilai perpanjang putus yang tinggi sebelum putus [18].

Modulus Young

Pengaruh konsentrasi penambahan bahan terhadap Modulus Young dapat diamati pada gambar 4

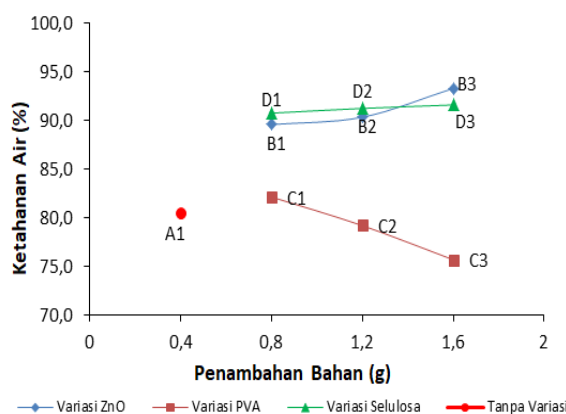


Gambar 4. Pengaruh konsentrasi penambahan bahan terhadap Modulus Young

Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai modulus young semakin tinggi seiring bertambahnya konsentrasi ZnO dan Selulosa. Hal ini dikarenakan semakin banyak pengisi maka interaksi antara matrik bioplastik dan pengisi akan semakin kuat sehingga nilai modulus young semakin tinggi dan membuat bioplastik kaku. Hal ini juga selaras dengan penelitian Marbun dkk (2012) yang menjelaskan bahwa semakin tinggi konsentrasi Zink oksida (ZnO) yang ditambahkan akan berbanding lurus dengan peningkatan nilai elastisitasnya. Akan tetapi pada variasi konsentrasi PVA nilai modulus young semakin rendah seiring bertambahnya konsentrasi PVA, yang berarti sampel tersebut semakin elastis. Hal Ini dikarenakan PVA memiliki sifat lentur dan fleksibilitas yang tinggi [18].

Ketahanan Air

Proses pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa kadar air yang dapat diserap dan berapa besar ketahanan air oleh sampel film bioplastik. Berikut merupakan gambar grafik dari nilai uji ketahanan air film bioplastik yang dihasilkan dapat diamati pada gambar 5.



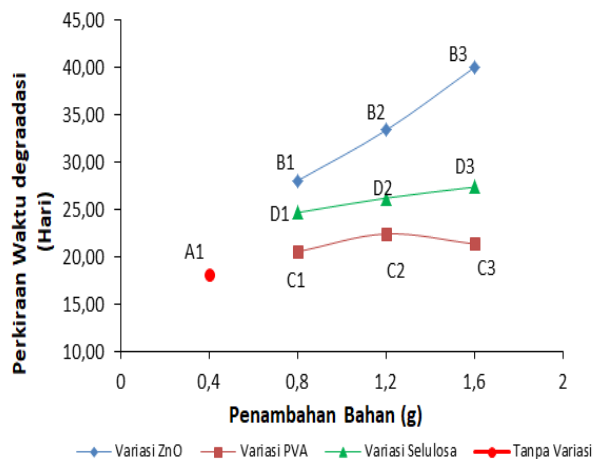
Gambar 5. Pengaruh konsentrasi penambahan bahan terhadap ketahanan air

Gambar 5 menunjukkan hasil pengukuran uji ketahanan air pada film bioplastik. Pada Gambar diperlihatkan bahwa pada sampel Variasi ZnO dan Selulosa mengalami kenaikan nilai uji ketahanan air. Nilai uji ketahanan air tertinggi didapatkan sebesar 93,2% dengan daya serap air 6,8 % yaitu pada

sampel dengan penambahan ZnO terbanyak. Sedangkan nilai uji ketahanan air terendah yang diperoleh sebesar 75,6% yaitu pada sampel dengan variasi PVA tertinggi. Semakin banyak penambahan selulosa dan ZnO semakin meningkatkan kapasitas penyerapan air oleh film, hal ini dikarenakan pembentukan struktur jaringan antara partikel selulosa, ZnO dan komponen pati yang mencegah molekul air larut. Sedangkan seiring dengan banyaknya penambahan PVA maka ketahanan air nya akan menurun, hal ini dikarenakan sifat PVA yang dapat menyerap air sehingga menurunkan ketahanan air dari film bioplastik [20]. Menurut Fathanah dkk (2017) semakin besar daya serap airnya maka plastik kurang mampu melindungi produk dari air yang dapat menyebabkan produk cepat rusak atau berkurang kualitasnya.

Biodegradasi

Pengujian biodegradasi bertujuan untuk mengetahui laju degradasi bioplastik sehingga dapat diperkirakan berapa lama waktu yang di butuhkan bioplastik hingga terurai baik di lingkungan [22]. Uji degradasi yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan menggunakan tanah. Tanah yang digunakan pada masing-masing sampel memiliki parameter kondisi yang sama yaitu berat tanah 300 gram, pH tanah 6,2 dan suhu tanah 24 °C. Perkiraan waktu degradasi yang telah diuji di tanah dan air sungai dapat diamati pada gambar 6.



Gambar 6 Pengaruh konsentrasi penambahan bahan waktu degradasi

Gambar 6 menunjukkan bahwa waktu hancur bioplastik paling cepat pada sampel A1 dengan konsentrasi selulosa, PVA dan ZnO masing-masing 0,4 gram dengan waktu hancur kurang lebih 18 hari di dalam tanah dan 26 hari di dalam air sungai. Pada sampel dengan variasi PVA juga membutuhkan waktu degradasi paling sebentar dibandingkan sampel dengan variasi selulosa dan ZnO. Hal ini dikarenakan PVA termasuk polimer sintetik yang mudah terdegradasi. PVA dan pati bersifat hidrofilik sehingga mudah terdegradasi oleh mikroorganisme. Pada proses degradasi dalam tanah mikroorganisme memutuskan rantai ikatan polimer PVA menjadi asam asetat dan ikatan polimer pati menjadi glukosa [23].

Sampel bioplastik B3 dengan Variasi ZnO tertinggi membutuhkan waktu yang paling lama untuk terdegradasi yaitu 40 hari di dalam tanah dan 49 hari di dalam air sungai. Hal ini dikarenakan konsentrasi ZnO yang tinggi. ZnO bersifat antimikroba yang membuatnya sulit untuk terdegradasi. Wang (2007) menjelaskan partikel ZnO bertindak sebagai agen penyerang mikroorganisme sehingga dengan kadar ZnO yang cukup besar, frekuensi penyerangan terhadap mikroorganisme pengurai menjadi tinggi. Menurut Syaputra dkk (2017) meningkatnya penambahan seng oksida (ZnO) yang digunakan semakin meningkat juga ikatan hidrogen yang terjadi pada bioplastik sehingga molekul air sukar/sulit untuk berikatan. Berdasarkan standar ASTM D638 lama degradasi plastik maksimal 60 hari untuk dapat terurai didalam tanah dan seluruh sampel yang dibuat diperkirakan dapat terurai dibawah 60 hari sehingga sampel tersebut sudah memnuhi standar ASTM D638.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa dari masing-masing variasi penambahan bahan pada sampel film bioplastik dilakukan uji karakteristik dan didapatkan komposisi optimum yaitu pada sampel D3 dengan variasi penambahan Selulosa terbanyak dengan nilai uji kuat tarik tertinggi yaitu 6,008 MPa, Uji Elongasi 12%, Modulus Young 48,07%, ketahanan air 91,6% serta Perkiraan waktu degradasi 27-34 hari. Akan tetapi komposisi sampel ini memiliki sifat kekakuan yg lebih tinggi dibandingkan sampel lainnya.

Bioplastik ramah lingkungan yang memiliki nilai degradasi optimal yaitu pada bioplastik A1 dengan % *weight loss* sebesar 55% dalam 10 hari dengan perkiraan waktu hancur 100% dalam 18 hari, Berdasarkan standar ASTM D638 lama degradasi plastik maksimal 60 hari untuk dapat terurai secara sempurna didalam tanah dan seluruh sampel yang dibuat diperkirakan dapat terurai dibawah 60 hari sehingga sampel tersebut sudah memenuhi standar ASTM D638.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akbar, F., Anita, Z., dan Harahap, H. 2013. Pengaruh waktu simpan film plastik biodegradasi dari pati kulit singkong terhadap sifat mekanikalnya. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(2).
- [2] Fauzi., Yusuf, A., 2015. Pengaruh Penambahan *Plasticizer Sorbitol* dan Gliserol Terhadap Sifat Mekanik Bioplastik Berbahan Dasar Serat Selulosa Enceng Gondok (*Eichornia Crassipes*). Skripsi: Universitas Brawijaya
- [3] Najih, Ismat. 2018. Sintesis Plastic *Biodegradable* Berbahan Kotosan, Arang Manggis dan Minyak Sereh. Skripsi: Universitas Islam Negeri Walisongo
- [4] Yin, P., Zhou, W., Dong, X., Guo, B., dan Huang, Y. 2020. Effect of oxidized wood pulp fibers on the performance of the thermoplastic corn starch composites. *Advances in Polymer Technology*, 2020, 1-7.
- [5] Ismail, N. A., Tahir, S., Yahya, N., Abdul, M. F., Khairuddin, N. E., Hashim, I., ... dan Abdullah, M. A. 2016. Synthesis and characterization of biodegradable starch-based bioplastics. In *Materials science forum* (Vol. 846, pp. 673-678). Trans Tech Publications Ltd.
- [6] Maryam, M., Rahmad, D., dan Yunizurwan, Y. 2019. Sintesis Mikro Selulosa Bakteri Sebagai Penguat (*Reinforcement*) Pada Komposit Bioplastik Dengan Matriks PVA (*PolyVinyl Alcohol*). *Indonesian Journal of Industrial Research*, 41(2), 110-118.
- [7] Chong, T. Y., San Chan, Y., Law, M. C., dan Ling, J. K. U. 2021. The Thermo-Mechanical Properties of Corn Cob Lignin-Containing Cellulose Nanofibril Reinforced Bioplastics.
- [8] Amni, C., Marwan dan Mariana. 2015. Pembuatan bioplastik dari pati ubi kayu berpenguat nano serat jerami dan ZnO. *Jurnal Litbang Industri*.5(2): 91-99.
- [9] Saputra, W., Hartiati, A., dan Harsojuwono, B. A. (2019). Pengaruh konsentrasi seng oksida (ZnO) dan penambahan gliserol terhadap karakteristik bioplastik dari pati umbi gadung (*Dioscorea hispida* Deenst). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri ISSN*, 2503, 488X.
- [10] Septiosari A. 2014. Pembuatan Dan Karakteristik Bioplastik Limbah Biji Mangga Dengan Penambahan Selulosa Dan Gliserol. *Indonesian Journal of Chemical Science*. Vol. 3, No. 2.
- [11] Sulisty, H.W, dan Ismiyati. 2012. Pengaruh Formulasi Pati Singkong Selulosa Terhadap Sifat Mekanik dan Hidrofobisitas pada Pembuatan Bioplastik. *Konversi*. Vol.1
- [12] Intandiana, S., Dawam, A. H., Denny, Y. R., Septiyanto, R. F., dan Affifah, I. 2019. Pengaruh Karakteristik Bioplastik Pati Singkong dan Selulosa Mikrokristalin Terhadap Sifat Mekanik dan Hidrofobisitas. *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*, 4(2), 185-194.

- [13] Unsa, L. K., dan Paramastri, G. A. (2018). Kajian jenis plasticizer campuran gliserol dan sorbitol terhadap sintesis dan karakterisasi edible film pati bonggol pisang sebagai pengemas buah apel. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 10(1), 35-47.
- [14] Eldo. 2012. Sintesis Bioplastik dari Pati Ubi Jalar dengan penguat alami ZnO dan selulosa. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik : Universitas Indonesia.
- [15] Irham, Maladi,. 2019. Pembuatan Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Singkong dengan Penguat Selulosa Jerami Padi, Polivinil Alkohol dan Bio *Compatible* Zink Oksida. Skripsi: UIN Syarif Hidayatullah Jakarta
- [16] Panjaitan. R.M, Irdoni, dan Bahrudin. 2017. Pengaruh Kadar dan Ukuran Selulosa Berbasis Batang Pisang terhadap Sifat dan Morfologi Bioplastik Berbahan Pati Umbi Talas. *Jom FTEKNIK*. Vol.4 No.1
- [17] Darni Y, dan Herti U. 2006. Studi pembuatan dan karakteristik sifat mekanik dan hidrofobitas bioplastik dari pati sorgum. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* 7(4): 88-93.
- [18] Colla E. 2016. Effect of composite Edible Coating from *Amaranthus Cruentus* Flour and Stearic Acid on Refrigerated strawberry (*Fragaria Ananassa*) Quality. *Latin American Applied Reasearch*. 36, 249-254.
- [19] Marbun, E.S., H. Hermansyah dan T.S. Utami. 2012. Sistesis Bioplastik dari Pati Umbi jalar Menggunakan Penguat ZnO dan Penguat Alami Selulosa. Skripsi. Tidak dipublikasi. Fakultas Teknik. Jurusan Teknik Industri. Universitas Indonesia.
- [20] Purnavita, S. 2021. Kajian Ketahanan Bioplastik Pati Jagung Dengan Variasi Berat Dan Suhu Pelarutan Polivinil Alkohol. *Journal of Chemical Engineering*. Vol. 2:14-18
- [21] Fathanah, U., Lubis, M., dan Siddiqil, M. 2017. Pengaruh Penambahan Kitosan Dan Gliserol Terhadap Sifat Mekanik, Morfologi, Dan Waktu Degradasi Bioplastik Berbasis Pati Kulit Ubi Kayu (*Manihot Utilissima*), *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*
- [22] Widyaningsih, S., D. Kartika dan Y. T. Nurhati. 2012. Pengaruh penambahan sorbitol dan kalsium karbonat terhadap karakteristik dan sifat biodegradasi film dari pati kulit pisang. *Molekul*, 7(1): 69- 81.
- [23] Tudorachi N, Cascaval, Rusu & Pruteanu. 2000. Testing of Polyvinyl Alcohol and Starch Mixture as Biodegradable Polymeric Materials. *Elsevier Science*. 19: 785-799.
- [24] Wang Z. (2008). Toward self-powered nanosystems: From nanogenerators to nanopiezotronics. *Advanced Functional Materials*, 18 (DOI:10.1002/adfm.200800541), 3553-3567.
- [25] Syaputra, A. F., Bahrudin dan H. Irdoni. 2017. Pengaruh kadar filler zno, plasticizer gliserol dan nisbah air terhadap sifat dan morfologi bioplastik berbasis pati sagu. *Jurnal FTEKNIK*. 4(2): 1-9.
- [26] ASTM (American Society for Testing and Material) D638-89. 1989. Test Methode for Tensile Properties of Plastic. *Annual Books of ASTM Standard*. USA.