

Sintesis Plastik *Biodegradable* dari Pati Kulit Singkong dan Kitosan Kulit Larva *Black Soldier Fly* dengan Penambahan *Polyethylene glycol* sebagai *Plasticizer*

Chellina Ajeng Prameswari¹, Ajeng Rifita Prembayun², Annisa Puspitaningrum³, Mega Isti Naaifah⁴, Fauziyah Azhari⁵, Muhammad Iqbal Nur Hasan⁶, Afifah Khoirunnisa⁷

^{1,2,3,4} Program Studi Ilmu Tanah, Universitas Sebelas Maret Surakarta

^{5,6} Program Studi Kimia, Universitas Sebelas Maret Surakarta

⁷ Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Sebelas Maret Surakarta

e-mail: chellinaajeng24@student.uns.ac.id

Abstrak

Plastik *biodegradable* telah menjadi sangat menarik bagi banyak peneliti bahan sebagai pengganti plastik berbasis minyak bumi konvensional karena plastik *biodegradable* merupakan plastik biopolimer yang dapat terdegradasi oleh mikroorganisme. Pada proses pembuatan plastik *biodegradable* diperlukan adanya bahan tambahan yaitu *plasticizer* dan kitosan sehingga diperoleh plastik *biodegradable* berbasis pati kulit singkong yang fleksibel dan elastis. Penelitian ini mengkaji tentang pemanfaatan pati kulit singkong dan kitosan kulit larva *Black Soldier Fly* (BSF) dengan penambahan *Polyethylene glycol* (PEG) sebagai *plasticizer* dalam pembuatan plastik *biodegradable*. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh penambahan kitosan BSF dengan PEG pada proses pembuatan plastik *biodegradable* berbasis pati kulit singkong. Plastik *biodegradable* dibuat dengan metode *melt intercalation*. Pati dan kitosan hasil ekstraksi dianalisis menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*). Berdasarkan penelitian diperoleh hasil terbaik pada konsentrasi kitosan 1,75% dengan hasil plastik paling fleksibel.

Kata Kunci: *Pati, Kitosan, Plastik Biodegradable, Melt Intercalation.*

Abstract

Biodegradable plastic has been an interest for researchers as an alternative for petroleum-based conventional plastic with main advantage of easy degradable by microorganism. Biodegradable plastic requires plasticizer and chitosan for flexibility and elasticity. This study aimed to synthesize biodegradable plastic using cassava's peel starch, Black Soldier Fly larvae's skin chitosan with addition of polyethylene glycol (PEG) as plasticizer. This study emphasized on addition of BSF chitosan with PEG in the synthesis of cassava's peel starch-based biodegradable plastic with melt intercalation method. Starch isolated from cassava peel and chitosan from BSF larvae were analyzed with FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*). The study shows that 1,75% chitosan concentration results in best flexibility plastic.

Keywords : *Starch, Chitosan, Biodegradable Plastic, Melt Intercalation.*

PENDAHULUAN

Plastik adalah material yang mudah ditemukan dan digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti pada bidang pertanian, bidang industri, dan lain-lain. Dalam satu tahun, 100 juta ton plastik kemasan sintesis yang digunakan dalam sektor industri diproduksi dunia dan kira-kira sebesar itulah sampah plastik yang dihasilkan setiap tahun. Sementara kebutuhan plastik dalam negeri mencapai 2,3 juta ton. Data Asosiasi Industri Plastik Indonesia (INAPLAS) dan BPS (2019) menunjukkan sampah plastik di Indonesia mencapai

64 juta ton per tahun dan sebanyak 3,2 juta ton diantaranya merupakan sampah plastik yang dibuang ke laut.

Plastik termasuk material yang sulit terurai di alam sehingga mengakibatkan pencemaran lingkungan dan menyebabkan menurunnya kualitas air dan tanah. Polusi plastik berdampak pada banyak aspek kesejahteraan manusia seperti estetika pantai, drainase, sistem infrastruktur air limbah, dan tempat berkembang biak penyakit (Nasir *et al.*, 2022). Sebagian besar plastik yang digunakan saat ini merupakan polimer sintesis dari bahan baku minyak bumi yang tidak dapat diperbarui dan terbatas jumlahnya (Aripin, Saing and Kustiyah, 2017). Plastik berbasis minyak terbuat dari resin polimer inert sehingga mereka membutuhkan waktu ratusan tahun untuk terurai yang akhirnya menghasilkan penumpukan yang tak ada habisnya (Moshood *et al.*, 2022). Ada kemungkinan bahan kimia beracun dilepaskan dari limbah plastik yang menumpuk dan menyebabkan kondisi lingkungan jadi memburuk sehingga dibutuhkan adanya alternatif sediaan plastik ramah lingkungan yang bahannya tersedia di alam dalam jumlah besar, mudah didapat dan murah serta mampu menghasilkan produk dengan kekuatan yang sama yaitu plastik *biodegradable*.

Plastik *biodegradable* telah menjadi sangat menarik bagi banyak peneliti bahan sebagai pengganti plastik berbasis minyak bumi konvensional, karena masyarakat perlu bergantung pada bahan baku terbarukan, berhenti bergantung pada sumber daya fosil dan mengurangi emisi karbon (Alonso-González *et al.*, 2022). Plastik *biodegradable* adalah plastik yang dapat terdegradasi oleh mikroorganisme alami menjadi air, karbon dioksida (CO₂) dan / atau metana (CH₄) dan bahan anorganik dalam kondisi tertentu (Filiciotto dan Rothenberg, 2021). Plastik *biodegradable* merupakan plastik biopolimer yang dapat menjadi alternatif pengganti plastik komersial yang dapat dibuat menggunakan pati, selulosa, gelatin, kitosan dan jenis biopolimer lainnya melalui metode yang sesuai (Agustin and Padmawijaya, 2016).

Pati adalah polisakarida yang dapat diubah menjadi biokomposit polimer. Pati memiliki nilai yang signifikan bagi manusia yaitu berfungsi sebagai sumber karbohidrat utama dalam diet yang disejajarkan dan sebagai bahan baku terbarukan untuk industri (Pfister dan Zeeman, 2016). Penggunaan pati sebagai bahan baku telah sangat menarik dalam studi bahan *biodegradable* yang diperoleh dari sumber terbarukan (Reinaldo *et al.*, 2021). Pati sering digunakan dalam pengembangan bahan *biodegradable* karena merupakan sumber daya yang relatif mudah diperoleh dari lingkungan, yang membuatnya menjadi bahan baku yang hemat biaya (Machado *et al.*, 2020).

Pada proses pembuatan plastik *biodegradable* diperlukan adanya bahan tambahan yaitu *plasticizer* dan kitosan (Putra *et al.*, 2017). *Plasticizer* adalah zat berat molekul rendah yang ditambahkan ke larutan polimer untuk meningkatkan plastisitas dan fleksibilitas plastik *biodegradable* (Foroughi-Dahr *et al.*, 2017). Penambahan *plasticizer* akan membuat plastik lebih mudah dibentuk atau dimanipulasi menjadi berbagai bentuk. Salah satu jenis *plasticizer* yang dapat digunakan yaitu *polyethylene glycol* (PEG). Sifatnya yang mudah larut dalam air dan kesamaan secara struktur kimia karena adanya gugus hidroksil primer pada ujung rantai polieter yang mengandung oksietilen (-CH₂-CH₂-O-) serta kestabilannya membuat PEG tepat dijadikan *plasticizer* untuk pembuatan plastik *biodegradable*.

Plastik berbahan pati kulit singkong memiliki kelemahan, yaitu resistensinya terhadap air rendah karena sifat pati yang hidrofilik mempengaruhi stabilitasnya dan sifat mekaniknya yang rendah (Winarti, 2012). Sehingga diperlukan solusi untuk mengatasi kelemahan plastik *biodegradable*. Salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk mengatasi kelemahan ini adalah dengan mencampurkan pati dengan kitin atau kitosan dikarenakan semakin banyak kitosan yang ditambahkan maka nilai kuat tarik plastik *biodegradable* cenderung semakin meningkat (Santoso *et al.* 2019). Kitosan adalah biopolimer dengan biokompatibilitas tinggi dengan sifat biodegradasi, bioadhesi, dan bioaktivitas sehingga dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi (Jiménez-Gómez dan Cecilia, 2020). Kitosan memiliki sifat hidrofob sehingga dapat mengurangi sifat hidrofilik plastik *biodegradable*. Pemilihan kitosan sebagai alternatif untuk memodifikasi plastik menjadi plastik ramah lingkungan disebabkan oleh sifat biodegradasi yang sangat baik yang dimiliki oleh kitosan (Maulida Harahap *et al.*,

2018). Kitosan dapat diperoleh dari bahan alam, salah satunya dari kulit larva *Black Soldier Fly* (*Hermentia illucens*). Kitosan didapatkan dengan cara ekstraksi kitin kulit larva BSF. Penambahan kitosan diharapkan mampu memperbaiki kualitas plastik *biodegradable*.

Pada penelitian ini akan dipreparasi plastik *biodegradable* berbahan pati kulit singkong (*Manihot esculenta*) dengan penambahan kitosan dari kulit larva *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) dan *polyethylene glycol* (PEG). Singkong dipilih karena berasal dari alam, mudah diperoleh, ketersediaannya melimpah, dan memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi bahan plastik *biodegradable*.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Pada penelitian ini digunakan seperangkat alat-alat gelas, timbangan, *hot plate*, *magnetic stirrer*, cetakan kaca 20 x 20 cm, dan alat uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi dari senyawa pati dan kitosan hasil isolasi. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu kulit singkong, kulit larva *Black Soldier Fly*, *polyethylene glycol*, asam oksalat, NaOH, HCl, KMnO₄, asam asetat, akuades, kertas saring, dan aluminium foil.

Isolasi Pati Kulit Singkong

Isolasi pati kulit singkong dilakukan dengan memisahkan kulit singkong bagian dalam dengan bagian luarnya. Kemudian kulit singkong bagian dalam dicuci, dipotong-potong, dihaluskan dengan *chopper* dan diekstraksi. Ekstraksi dilakukan dengan menambahkan air (1 kg bahan:2 liter air). Campuran bahan dan air diperas menggunakan kain saring. Air perasan tersebut diendapkan selama 24 jam hingga terbentuk suspensi. Suspensi yang diperoleh kemudian dikeringkan hingga menjadi bubuk dan ditimbang (Aripin et al., 2017). Sampel yang didapat kemudian dikarakterisasi menggunakan seperangkat alat uji FTIR.

Isolasi Kitosan Kulit Larva BSF

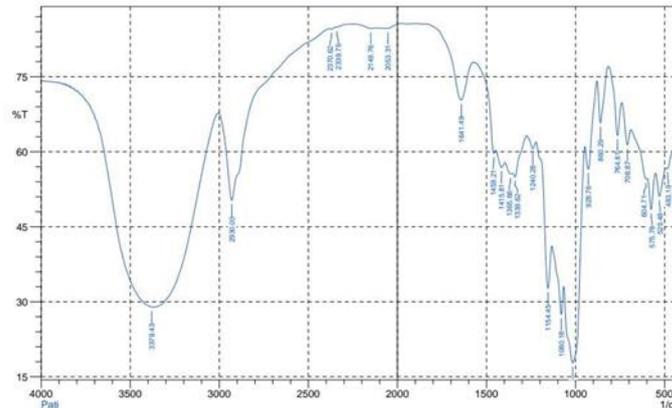
Isolasi kitosan dari kulit larva *Black Soldier Fly* (BSF) dilakukan melalui 4 tahapan yaitu demineralisasi, deproteinasi, depigmentasi, dan deasetilasi. Kulit larva BSF dicuci, dikeringkan hingga beratnya konstan, kemudian dihaluskan menggunakan *chopper*. Proses demineralisasi dilakukan dengan menambahkan larutan HCl 3 M ke dalam serbuk kulit larva BSF dengan perbandingan 10:1. HCl ditambahkan sedikit demi sedikit sambil diaduk. Demineralisasi dilakukan selama 36 jam pada suhu ruang. Proses deproteinasi dilakukan dengan menambahkan NaOH 2 M ke dalam kulit larva BSF dengan perbandingan 10:1. Deproteinasi dilakukan selama 36 jam pada suhu ruang. Proses depigmentasi dilakukan dengan cara merendam serbuk kulit larva BSF dengan KMnO₄ 2% selama 2 jam. Kemudian disaring dan dibilas dengan aquades. Setelah itu direndam dengan asam oksalat 2% selama 2 jam. Proses depigmentasi akan menghasilkan kitin yang kemudian dicuci sampai netral dan dikeringkan. Kitin kemudian di deasetilasi menjadi kitosan dengan menggunakan NaOH 50%. Optimasi proses deasetilasi kitin menjadi kitosan dilakukan dengan menimbang sebanyak 5 g kitin kemudian dimasukkan ke dalam gelas beaker berisi 150 mL NaOH 50% (w/v) pada suhu 80°C selama 12 jam (Wahyuni et al., 2020). Kitosan yang didapat kemudian dikarakterisasi menggunakan seperangkat alat uji FTIR.

Pembuatan Plastik *Biodegradable*

Pembuatan plastik *biodegradable* dilakukan menggunakan metode *melt intercalation*. Proses pembuatan plastik *biodegradable* dilakukan dengan menggunakan variasi konsentrasi kitosan. Proses pembuatan plastik *biodegradable* dilakukan dengan menambahkan larutan kitosan 0,75%, 1,25%, dan 1,75 % dengan 1 ml *polyethylene glycol*. Kemudian, larutan kitosan ditambahkan 100 ml akuades dan 1 ml asam asetat. Setelah itu menambahkan 5 gram pati. Campuran dipanaskan dengan *magnetic stirrer* pada suhu 80-90°C selama 40 menit. Setelah itu campuran didiamkan selama 5 menit untuk menghindari terbentuknya gelembung pada plastik. Kemudian, didiamkan campuran dituang dalam cetakan berukuran 20 x 20 cm dan dikeringkan. Setelah kering, cetakan dibiarkan pada suhu kamar sampai plastik dapat dilepas dari cetakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN
Isolasi Pati Kulit Singkong

Tahap isolasi pati meliputi pemisahan kulit singkong, penghalusan kulit singkong, perendaman kulit singkong dalam akuades, pemerasan sari pati, pendiaman sari pati agar terbentuk produk pati yang mengendap, serta pengeringan pati. Pemerasan sari pati dilakukan dengan saringan kain yang memiliki pori kecil, sehingga padatan kulit singkong akan terpisah dengan sari patinya. Proses pendiaman akan menghasilkan endapan pati yang dipisahkan dengan membuang air yang terkandung dalam wadah. Pati dikeringkan untuk menghilangkan kandungan air. Pati yang dihasilkan berwarna putih. Pati dikarakterisasi gugus fungsinya dengan FTIR (*Fourier Transform Infrared*). Berikut hasil karakterisasi pati kulit singkong dengan FTIR yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Hasil Spektrum FTIR Pati Kulit Singkong

Berdasarkan hasil FTIR didapat pati memiliki gugus O-H pada bilangan gelombang 3379.43 cm^{-1} , gugus C-H bilangan gelombang 2930 cm^{-1} , gugus -OH dalam bidang sekitar bilangan gelombang 1240.28 cm^{-1} , serta gugus C-O-C luar bidang 1080.18 cm^{-1} . Selain itu, terdapat ikatan glikosidik polisakarida pada bilangan gelombang $928,76\text{ cm}^{-1}$, serta ikatan tanpa C-O-C karbohidrat pada bilangan gelombang 860.29 cm^{-1} . Hasil FTIR pati kulit singkong telah memenuhi standar dari pati yang ditunjukkan oleh tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1. Tabel hasil bilangan gelombang dan gugus fungsi pati kulit singkong

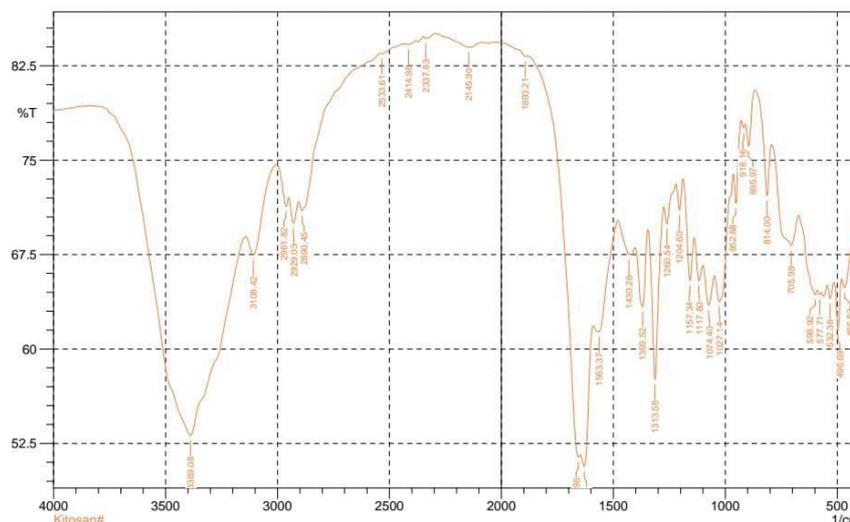
Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	
	Standard Pati (Castillo dkk., 2019)	Pati Kulit Singkong Hasil Isolasi
O-H stretching	3800-3020	3379.43
C-H stretching	3020-2830	2930.00
-OH bending	1240	1240.28
C-O-C	1080-1010	1080.18
Ikatan glikosidik	930	928.76

Isolasi Kitosan Larva BSF

Kitosan Larva BSF dibuat dengan tahapan demineralisasi, deproteinasi, depigmentasi, dan deasetilasi. Demineralisasi merupakan proses yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan mineral pada larva BSF. Mineral yang hilang meliputi fosfor, magnesium dan besi. Larutan yang digunakan pada demineralisasi yaitu asam klorida (HCl). Proses demineralisasi terjadi selama 36 jam yang ditandai adanya gelembung udara, dimana gelembung tersebut merupakan gas CO₂. Hasil proses demineralisasi dilakukan pembilasan dengan air untuk menghilangkan sisa-sisa HCl yang terdapat pada kitin, sehingga kitin tidak rusak apabila direaksikan dengan NaOH pada tahap deproteinasi.

Proses berikutnya yaitu deproteinasi untuk menghilangkan kandungan protein dan lemak yang terkandung dalam larva BSF. Deproteinasi dilakukan dengan basa kuat yaitu NaOH. Penggunaan larutan NaOH dikarenakan NaOH memiliki suhu tinggi yang selektif dalam penghilangan kandungan protein dan lemak. Proses ini terjadi ditandai dengan terbentuknya gelembung pada permukaan larutan. Proses deproteinasi berlangsung selama 36 jam pada suhu ruang. Hasil dari proses deproteinasi yaitu kitin.

Depigmentasi bertujuan untuk penghilangan pigmen coklat pada kitin sehingga diperoleh kitin dengan warna yang lebih terang. Depigmentasi dilakukan dengan larutan KMNO₄ 2%, serta asam oksalat (C₂H₂O₄) 2%. Hasil dari depigmentasi yaitu kitin berwarna coklat muda. Proses berikutnya yaitu deasetilasi. Deasetilasi bertujuan untuk penghilangan gugus asetil, dimana terjadi pemutusan ikatan kovalen pada gugus asetil dengan nitrogen pada gugus asetamida (-NHCOCH₃) pada kitin sehingga terbentuk gugus amina yang terdeasetilasi. Proses deasetilasi digunakan NaOH 50%. Hal ini disebabkan semakin kuat basa maka semakin besar konsentrasi OH⁻ sehingga dapat menambah kekuatan basa untuk pemutusan ikatan gugus asetil. Konsentrasi NaOH 50% tergolong ramah lingkungan daripada NaOH 80%. Hasil dari proses ini yaitu kitosan yang berwarna abu-abu. Kitosan tersebut kemudian, dilakukan karakterisasi dengan FTIR. FTIR dilakukan dengan panjang gelombang 400 cm⁻¹ hingga 4000 cm⁻¹. Berikut hasil FTIR dari kitosan larva BSF dapat dilihat pada gambar 2:



Gambar 2. Hasil Spektrum FTIR Kitosan Larva BSF

Hasil spektrum pada bilangan gelombang 3389,08 cm⁻¹ menunjukkan adanya tumpang tindih antara gugus O-H dan N-H, ikatan C-H alifatik pada bilangan gelombang 2929,03. Bilangan gelombang 1629,92 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus amida sekunder, dimana

terdapat ikatan C=O. pada bilangan gelombang $1563,37\text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan N-H yang menunjukkan adanya amida sekunder yang terprotonasi, dimana gugus tersebut merupakan karakteristik dari senyawa kitosan. Berdasarkan hasil uji FTIR, kitosan hasil isolasi larva BSF memiliki kemiripan gugus fungsi dengan standar kitosan Kitosan larva BSF sudah memenuhi standar bilangan gelombang dari kitosan standar yang dapat ditunjukkan pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Tabel bilangan gelombang dan gugus fungsi kitosan larva BSF

Gugus Fungsi	Bilangan gelombang(cm^{-1})	
	Kitosan standar (Gachhi dan Hungund, 2018)	Kitosan larva BSF
O-H overlap vs N-H	3726-3430	3389,08
C-H alifatik	2880	2929,03
C=O amida sekunder	1634	1629,92
N-H	1553	1563,37
C-H	1373	1430,28
Ikatan polisakarida	1130-880	1117,7; 1027,14

Pembuatan Plastik *Biodegradable*

Metode pembuatan plastik *biodegradable* dilakukan dengan *melt intercalation*. *Melt intercalation* merupakan teknik inversi fasa yang dilakukan dengan penguapan pelarut pada cetakan kaca. Tujuan metode *melt intercalation* untuk menguatkan material dengan cara memanaskan dan mendinginkan material (Aripin et al., 2017). Prinsipnya didasarkan pada prinsip termodinamika larutan, dimana keadaan awal larutan yang stabil dapat mengalami ketidakstabilan ketika terjadi perubahan/inversi fasa (*demixing*) larutan menjadi padat. Keuntungan metode ini yaitu prosesnya lebih fleksibel, meningkatkan interaksi dengan matriks dan filler, serta tidak memerlukan reaksi kimia.

Pembuatan plastik *biodegradable* dilakukan dengan variasi konsentrasi kitosan, yaitu 0,75%, 1,25%, dan 1,75%, sedangkan bahan pati, *polyethylene glycol* (PEG), akuades, serta asam asetat sebagai variabel tetap. Penambahan PEG bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik pada plastik *biodegradable* meliputi kuat tarik dan elongasi. Selain itu, meningkatkan kompatibilitas, kestabilan termal, serta dapat cepat mendegradasi plastik *biodegradable* yang sifatnya hidrofobik. Penggunaan PEG dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan hidrofilitas membran karena peningkatan dan keterkaitan polimer (Lusiana et al., 2019). Proses ini dilakukan pemanasan selama 40 menit. Tujuan pemanasan adalah menghomogenkan larutan, sehingga campuran akan tercampur secara rata. Plastik yang telah tercampur kemudian diletakkan pada cetakan kaca ukuran 20x20cm, kemudian dikeringkan pada suhu kamar. Hasil plastik *biodegradable* berupa lembaran tipis, berwarna kecoklatan, transparan, dan elastis.

Tabel 3. Uji Organoleptik Plastik *Biodegradable* Kitosan Larva BSF - Pati Kulit Singkong

Organoleptik Sampel	V1	V2	V3	Pembanding (Pine dan Base, 2021)
Warna	Coklat tua dengan bintik hitam	Coklat tua dengan bintik hitam	Coklat tua dengan bintik hitam	Putih transparan
Tekstur	Kasar, tidak lentur	Kasar, sedikit lentur	Kasar, lentur	Halus, lentur
Bau	Tidak berbau	Tidak berbau	Tidak berbau	Tidak berbau

Keterangan: V1 = konsentrasi kitosan 0,75%
V2 = konsentrasi kitosan 1,25%
V3 = konsentrasi kitosan 1,75%

Pada pengujian organoleptik, sampel plastik yang dihasilkan berwarna coklat tua dengan bintik hitam, agak transparan, dan tidak berbau, serta bertekstur kasar namun memiliki kelenturan yang berbeda. V1 tidak lentur dibandingkan dengan tekstur V2 dan V3. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi kitosan yang digunakan akan menghasilkan plastik yang semakin lentur. Terbentuknya bintik hitam pada plastik terjadi karena: (1) kitosan yang dihasilkan berwarna hitam sehingga menyebabkan plastik berwarna gelap, atau (2) proses pengadukan tidak dilakukan dalam waktu yang sesuai karena kendala teknis. Jika dibandingkan dengan plastik *biodegradable* yang telah digunakan di pasaran, terlihat bahwa warna plastik komersial lebih putih dan bersih serta lebih lentur dibandingkan dengan formulasi plastik V1, V2, dan V3.

SIMPULAN

Hasil karakterisasi isolasi pati dan kitosan dengan uji FTIR telah memenuhi standar pati dan kitosan. Pembuatan plastik *biodegradable* menghasilkan plastik berupa lembaran tipis, berwarna kecoklatan, agak transparan, dan elastis. Berdasarkan uji organoleptik, ketiga sampel plastik berwarna coklat tua dengan bintik hitam, agak transparan, dan tidak berbau. V3 bertekstur kasar dan lebih lentur dibandingkan dengan V1 dan V2. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi kitosan yang digunakan akan menghasilkan plastik yang semakin lentur. Bintik hitam pada plastik disebabkan karena kitosan yang dihasilkan berwarna hitam dan proses pengadukan tidak dilakukan dalam waktu yang sesuai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Biro Akademik dan Kemahasiswaan UNS yang telah memberikan dukungan dan dana untuk melakukan penelitian atau riset non-kurikuler organisasi mahasiswa Studi Ilmiah Mahasiswa (SIM) pada tahun 2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Alonso-González, M., Felix, M., & Romero, A. 2022. Influence of the plasticizer on rice bran-based eco-friendly bioplastics obtained by injection moulding. *Industrial Crops and Products*, 180, 114767.
- Aripin, S., Saing, B., & Kustiyah, E. 2017. Studi pembuatan bahan alternatif plastik biodegradable dari pati ubi jalar dengan plasticizer gliserol dengan metode melt intercalation. *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*, 6(2), 79-84.
- Agustin, Y. E. and Padmawijaya, K. S. 2016. Sintesis bioplastik dari kitosan-pati kulit pisang kepok dengan penambahan zat aditif. *Jurnal Teknik Kimia*, 10(2), pp. 43–51.

- Castillo, L. A., López, O. V., García, M. A., Barbosa, S. E., & Villar, M. A. 2019. Crystalline morphology of thermoplastic starch/talc nanocomposites induced by thermal processing. *Heliyon*, 5(6), e01877.
- Filiciotto, L., & Rothenberg, G. 2021. Biodegradable plastics: Standards, policies, and impacts. *ChemSusChem*, 14(1), 56-72.
- Foroughi-Dahr, M., Mostoufi, N., Sotudeh-Gharebagh, R., & Chaouki, J. 2017. Particle coating in fluidized beds. *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*.
- Gachhi, D. B., & Hungund, B. S. 2018. Two-phase extraction, characterization, and biological evaluation of chitin and chitosan from *Rhizopus oryzae*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 8(11), 116-122.
- Indonesia.go.id. 2019. *Menenggelmakan Pembuang Sampah Plastik Dilaut*. Web: <https://www.indonesia.go.id/narasi/indonesia-dalam-angka/sosial/menenggelmakan-pembuang-sampah-plastik-di-laut>
- Jiménez-Gómez, C. P., & Cecilia, J. A. 2020. Chitosan: a natural biopolymer with a wide and varied range of applications. *Molecules*, 25(17), 3981.
- Lusiana, R. A., Rusendi, D. P., Widodo, D. S., Haris, A., Suseno, A., & Gunawan. 2019. Studi Sifat Fisikokimia Membran Kitosan Termodifikasi Heparin dan Polietilen Glikol (PEG). *Analytical and Environmental Chemistry Journal*. Vol. 4(2) : 1-13.
- Machado, C. M., Benelli, P., & Tessaro, I. C. 2020. Study of interactions between cassava starch and peanut skin on biodegradable foams. *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 1343-1353.
- Maulida Harahap, M. B., Alfarodo Manullang, A., & Ginting, M. H. S. 2018. Utilization of jackfruit seeds (*Artocarpus heterophyllus*) in the preparing of bioplastics by plasticizer ethylene glycol and chitosan filler. *ARPN J Eng Appl Sci*, 13(1), 240-244.
- Moshood, T. D., Nawansir, G., Mahmud, F., Mohamad, F., Ahmad, M. H., & AbdulGhani, A. 2022. Biodegradable plastic applications towards sustainability: A recent innovations in the green product. *Cleaner Engineering and Technology*, 100404.
- Nasir, N. H. M., Usman, F., & Saggaf, A. 2022. Development of composite material from Recycled Polyethylene Terephthalate and fly ash: Four decades progress review. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 100280.
- Putra, A. D., Johan, V. S., & Efendi, R. 2017. *Penambahan sorbitol sebagai plasticizer dalam pembuatan edible film pati sukun* (Doctoral dissertation, Riau University).
- Pfister, B., & Zeeman, S. C. 2016. Formation of starch in plant cells. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 73(14), 2781-2807.
- Reinaldo, J. S., Milfont, C. H., Gomes, F. P., Mattos, A. L., Medeiros, F. G., Lopes, P. F., ... & Ito, E. N. 2021. Influence of grape and acerola residues on the antioxidant, physicochemical and mechanical properties of cassava starch biocomposites. *Polymer Testing*, 93, 107015.
- Santoso, A., Ambalinggi, W., & Niawanti, H. 2019. Pengaruh Rasio Pati dan Kitosan Terhadap Sifat Fisik Bioplastik dari Pati Biji Cempedah (*Artocarpus champeden*). *Jurnal Chemurgy*. Vol. 3(2) : 8-11.
- Sulistyo, H.W., & Ismiyati. 2012. Pengaruh Formulasi Pati Singkong-Selulosa Terhadap Sifat Mekanik dan Hidrofobisitas pada Pembuatan Bioplastik. *Konversi*. Vol.1.
- Wahyuni, S., Selvina, R., Fauziyah, R., Prakoso, H. T., Priyono, P., & Siswanto, S. 2020. Optimasi Suhu dan Waktu Deasetilasi Kitin Berbasis Selongsong Maggot (*Hermetia ilucens*) Menjadi Kitosan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(3), 373-381.
- Winarti, C. 2012. Teknologi Produksi Dan Aplikasi Pengemas Edible Antimikroba Berbasis Pati. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*.
<https://doi.org/10.21082/jp3.v31n3.2.012.p>