Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik Berbasis Selulosa Nitrat Sekam Padi dengan Penambahan Kitosan dan Sorbitol sebagai *Plasticizer*

Asriani Hayatun[1*], Rosalinda Zeniona Maarebia[1], Nova Tri Irianti[1], Dewi Mariyam[1]

[1]Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi, Manado

*Email korespondensi: asrianihayatun@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Selulosa nitrat disintesis menggunakan selulosa hasil ekstraksi sebagai bahan baku melalui proses nitrasi menggunakan variasi perbandingan asam penitrasi. Selulosa nitrat yang dihasilkan berbentuk bubuk berwarna putih kekuningan dan dikarakterisasi menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR). Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya puncak utama pada bilangan gelombang 1286 cm^{-1} yang mengindikasikan keberadaan gugus nitrat (–NO), didukung oleh munculnya puncak serapan pada daerah 854,47 cm^{-1} dan 752,24 cm^{-1}. Selulosa nitrat hasil sintesis selanjutnya digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan bioplastik dan dikombinasikan dengan komponen pendukung untuk memperoleh karakteristik material yang optimal. Produk bioplastik yang dihasilkan dikarakterisasi serta diuji sifat mekaniknya untuk menentukan formulasi terbaik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbandingan asam penitrasi optimum dalam sintesis selulosa nitrat diperoleh pada rasio 7:3 (v/v) dengan kadar selulosa nitrat sebesar 67,5% dan kadar nitrat 4,17%. Bioplastik terbaik juga diperoleh pada perbandingan asam penitrasi 5:5 (v/v) dengan nilai kekuatan tarik sebesar 8,1268 MPa dan elongasi 8,8%. Selain itu, bioplastik yang dihasilkan mampu terdegradasi dalam waktu 21 hari dengan persentase kehilangan massa sebesar 21,02%, laju degradasi 0,0019 g/hari, serta estimasi waktu degradasi lengkap selama 100 hari.

Kata Kunci: Bioplastik, selulosa nitrat, sekam padi, kitosan, sorbitol

ABSTRACT

Nitrate cellulose was synthesized using extracted cellulose as the raw material through a nitration process with various nitrating acid ratios. The synthesized nitrate cellulose was obtained in the form of a yellowish-white powder and characterized using Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy. The FTIR results revealed a major absorption peak at a wavenumber of 1286 cm^{-1}, indicating the presence of the nitrate functional group (–NO), supported by the appearance of absorption peaks at 854.47 cm^{-1} and 752.24 cm^{-1}. The synthesized nitrate cellulose was subsequently utilized as a raw material for bioplastic production and combined with supporting components to obtain optimal material characteristics. The resulting bioplastic products were characterized and mechanically tested to determine the best formulation. The findings demonstrated that the optimum nitrating acid ratio for nitrate cellulose synthesis was 7:3 (v/v), resulting in a nitrate cellulose content of 67.5% and a nitrate content of 4.17%. The best bioplastic properties were also obtained at a nitrating acid ratio of 5:5 (v/v), with a tensile strength of 8.1268 MPa and an elongation of 8.8%. Furthermore, the resulting bioplastic was capable of degrading within 21 days, exhibiting a mass loss percentage of 21.02%, a degradation rate of 0.0019 g/day, and an estimated complete degradation time of 100 days.

Keywords: Bioplastic, nitrate cellulose, rice husk, chitosan, sorbitol

PENDAHULUAN

Pengembangan penelitian dalam mengatasi permasalahan sampah plastik terus mengalami peningkatan, salah satunya melalui sintesis bioplastik. Bioplastik merupakan material polimer yang berasal dari sumber hayati dan memiliki kemampuan untuk terdegradasi secara alami oleh aktivitas mikroorganisme, sehingga dinilai lebih ramah lingkungan dibandingkan plastik konvensional (Rosenboom dkk., 2022). Berbagai penelitian telah mengkaji beragam bahan baku potensial untuk pembuatan bioplastik, seperti pati (Syafqat dkk., 2021), pektin (Listyarini dkk., 2020), serta selulosa (Hayatun dkk., 2020). Diantara bahan tersebut, selulosa menjadi salah satu alternatif yang banyak dipilih karena memiliki karakteristik termoplastik yang memudahkan proses pembentukan atau pencetakan menjadi film kemasan, serta menunjukkan ketahanan terhadap air yang lebih baik

dibandingkan pati. Selain itu, selulosa dapat diperoleh dari biomassa limbah pertanian yaitu sekam padi (Jannah dkk., 2019).

Bioplastik berbasis selulosa masih memiliki keterbatasan, khususnya pada sifat mekaniknya yang relatif lebih rendah. Beberapa penelitian melaporkan bahwa kuat tarik bioplastik berbasis selulosa masih berada pada kisaran 1.9 Mpa (Ismail dkk., 2016), 2.74 Mpa (Lubis dkk., 2018), dan 5.41 Mpa (Hayatun dkk., 2020), sehingga membatasi aplikasinya sebagai material pengemas. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan karakteristik bioplastik berbasis selulosa melalui modifikasi kimia menggunakan reaksi esterifikasi. Modifikasi ini dilakukan dengan mengubah gugus hidroksil pada rantai selulosa melalui substitusi gugus tertentu sehingga dapat memperbaiki sifat fisik dan mekanik material. Penelitian sebelumnya banyak memanfaatkan asam organik, seperti asam asetat dan asam sitrat untuk menghasilkan turunan selulosa berupa selulosa asetat maupun selulosa sitrat yang memiliki karakteristik lebih baik (Syarifuddin dkk., 2023).

Penggunaan asam anorganik sebagai agen modifikasi selulosa dalam sintesis bioplastik masih belum banyak dilaporkan, khususnya asam nitrat yang berpotensi menghasilkan selulosa nitrat melalui substitusi gugus nitrat pada struktur selulosa. Modifikasi tersebut memungkinkan terbentuknya karakteristik material yang berbeda dibandingkan bioplastik hasil esterifikasi menggunakan asam organik. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi bioplastik berbasis selulosa nitrat sekam padi dengan penambahan kitosan dan sorbitol sebagai *plasticizer*, serta membandingkan karakteristik fisik dan mekaniknya dengan bioplastik hasil modifikasi asam organik yaitu asam sitrat berdasarka data penelitian terdahulu yang telah dipublikasikan. Perbandingan ini dilakukan untuk memberikan gambaran mengenai pengaruh jenis agen esterifikasi terhadap karakteristik bioplastik berbasis selulosa.

BAHAN DAN METODE

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sekam padi, metanol, natrium hidroksida (NaOH) p.a, asam klorida (HCl) p.a, natrium karbonat (Na_2CO_3), natrium hipoklorit (NaOCl), asam sulfat (H_2SO_4) 95%, asam nitrat (HNO_3) 65%, aquades (H_2O), natrium bikarbonat ($NaHCO_3$) 10%, kitosan, sorbitol, asam asetat (CH_3COOH) 1%, dan kertas saring.

Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *Universal Testing Machine* (UTM) Hydraulic, spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR) Thermo Fisher Scientific, *X-Ray Diffraction* (XRD) Pan Analytical, mikroskop optik, serangkain alat refluks, penangas air, oven GenLab, *hotplate, magnetik stirrer*, penggiling sekam padi, neraca analitik, ultrasonik OURS ARS-XQXJ-003H dan alat-alat gelas yang umum digunakan di laboratorium.

Sintesis Selulosa Nitrat

Selulosa diekstraksi dari sekam padi melalui beberapa tahapan yaitu maserasi dengan metanol, delignifikasi dengan NaOH+Na_2CO_3 (w/v), hidrolisis menggunakan H_2SO_4 10% dan bleaching menggunakan NaOCl 2% (Das dkk., 2014). Hasil ekstraksi selulosa diseragam ukurannya menggunakan ultrasonik selama 150 menit untuk membentuk *Cellulose Micro Fibers* (CMF). Selulosa yang dihasilkan dilanjutkan pada sintesis selulosa nitrat, campuran H_2SO_4 95% : HNO_3 65% dengan rasio 5:5; 6:4; 7:3; 4:6; dan 3:7 (v/v) dimasukkan dalam labu leher tiga. Suhu didalam labu diatur antara 5-15°C. Pada masing-masing larutan asam tersebut ditambahkan 2 gram CMF dan diaduk selama 90 menit (Mulyadi dkk., 2017). Sampel yang didapatkan disaring kemudian dicuci dengan akuades dingin dan larutan $NaHCO_3$ 10% lalu dicuci kembali dengan akuades. Selulosa yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan FTIR.

Sintesis Bioplastik berbasis Selulosa Nitrat

Selulosa hasil modifikasi (CMF dan selulosa nitrat) ditimbang sebanyak 0,8 gram dimasukkan kedalam larutan kitosan (1,2 gram dalam CH_3COOH 1%) dan diaduk (Jannah dkk., 2019). Campuran kemudian ditambahkan 1 mL sorbitol dan diaduk kembali. Campuran dicetak di atas plat kaca dan

dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 6-7 jam (Chadijah dkk., 2018). Bioplastik yang diperoleh dilanjutkan pada tahap karakterisasi sifat mekanik dan fungsional.

Karakterisasi Bioplastik

Karakterisasi sifat mekanik bioplastik dilakukan melalui analisis kristalinitas dengan XRD serta uji kuat tarik dan elastisitas berdasarkan metode ASTM D638-02a-2002. Kemudian karakterisasi sifat fungsional dilakukan dengan analisis gugus fungsi, dan uji biodegradasi. Analisis gugus fungsi menggunakan FTIR. Uji degradasi dilakukan dengan cara bioplastik dikubur dalam media tanah (ASTM D 5988-12). Tanah yang digunakan adalah tanah yang diperoleh pada daerah pemukiman, dengan pH 6 dan kandungan air 40-60%. Bioplastik ditimbang (bobot awal) dan dikubur dalam media tanah, pengamatan dilakukan setiap 7 hari berupa kondisi fisik dan perubahan massa (persamaan 1). Perhitungan laju degradabilitas dan waktu degradasi dilakukan menggunakan persamaan 2 dan 3. Karakterisasi bioplastik sebelum dan sesudah degradasi dilakukan juga menggunakan FTIR dan mikroskop.

$$\%\ \text{Kehilangan massa} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Laju degradabilitas} = \frac{W_0 - W_1}{\text{Waktu uji}} \quad (2)$$

$$\text{Waktu degaradasi sempurna} = \frac{100\%}{\%\text{kehilangan massa}} \times \text{waktu uji} \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Selulosa Nitrat

Selulosa nitrat (SNi) disintesis dari selulosa sekam padi, morfologi fisik selulosa nitrat yang dihasilkan berupa bubuk putih kekuningan (Gambar 1) dan memiliki tekstur yang lebih keras dibandingkan dengan selulosa sitrat (Syarifuddin dkk., 2023). Proses nitrasi menyebabkan pergantian gugus hidroksil dari selulosa dengan nitrat (Jesuet dkk., 2019). Proses nitrasi merupakan masuknya gugus nitro dengan bantuan campuran asam nitrat dan asam sulfat kedalam selulosa. Asam sulfat berfungsi sebagai penarik air, karena dalam proses nitrasi akan menghasilkan air, sehingga reaksi berlangsung sempurna (Ossa dkk., 2012).

Gambar 1. Selulosa Nitrat

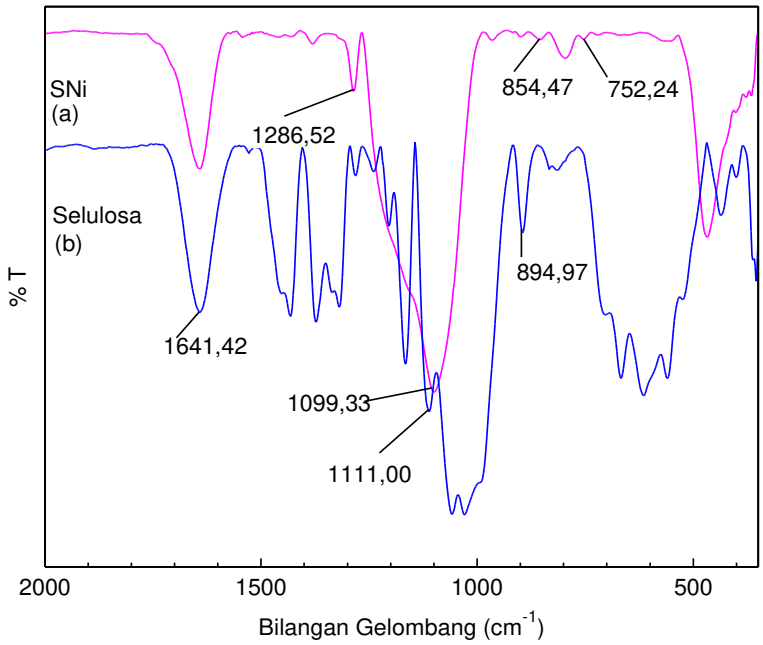
Variasi perbandingan asam campuran pada proses nitrasi bertujuan untuk memperoleh kondisi optimum dan mengetahui pengaruh konsentrasi terhadap kadar selulosa nitrat yang dihasilkan yang dapat dilihat pada Tabel 1. Kadar selulosa nitrat optimum diperoleh pada variasi asam campuran 7:3 sebesar 94,5% dan mengalami penurunan dari variasi 6:4 hingga 3:7. Hal ini disebabkan karena semakin banyak jumlah H_2SO_4 maka dapat menurunkan energi aktivasi yang dapat mempercepat laju reaksi, sehingga kadar selulosa nitrat semakin besar dan sebaliknya ketika jumlah H_2SO_4 kecil maka semakin banyak air yang tidak tertarik sehingga akan menghambat substitusi OH dan gugus NO_2.

Sedangkan pada perbandingan asam campuran 4:6 dan 3:7 mengalami kenaikan disebabkan karena semakin besar jumlah HNO_3 maka reaksi akan bergeser ke arah pembenukan produk.

Tabel 1. Pengaruh perbandingan asam campuran terhadap kadar selulosa nitrat

Perbandingan Asam Campuran H_2SO_4 97% : HNO_3 65% (mL)	Kadar Selulosa Nitrat (%)
7:3	94,5
6:4	94,0
5:5	67,5
4:6	87,0
3:7	80.5

Selulosa nitrat dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk melihat keberhasilan dari sintesis yang dilakukan. Perbandingan spektrum dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum Selulosa nitrat (a) dan Selulosa (CMF) (b)

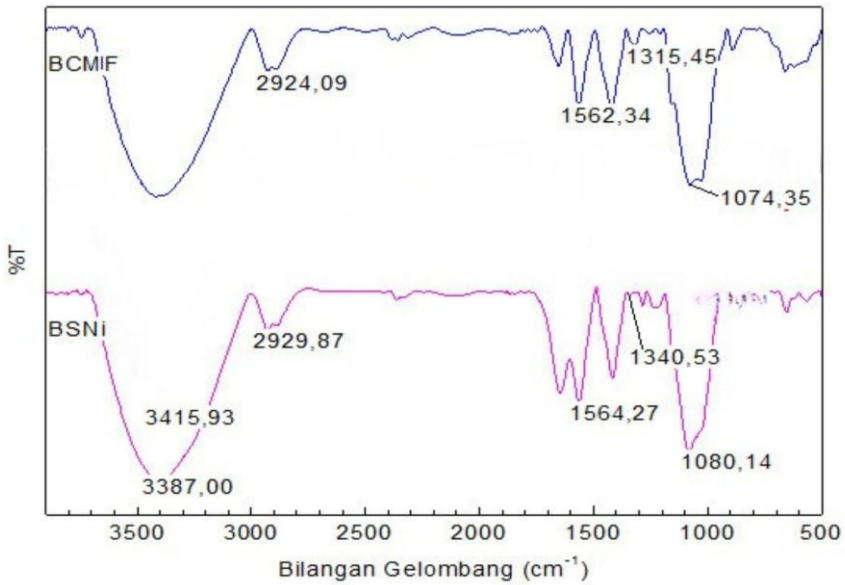
Puncak yang menunjukkan gugus –OH dan –CH muncul pada kedua spektrum namun mengalami pergeseran. Gugus –OH pada daerah 3350,35 cm^{-1} (selulosa) dan 3446,79 cm^{-1} (SNi) sementara gugus –CH muncul pada daerah 2899,1 cm^{-1} (selulosa) dan 2920,23 cm^{-1} (SNi). Menurut Khalid dkk, (2018) pergeseran yang terjadi disebabkan karena terjadinya modifikasi kimia. Perbedaan yang signifikan antara kedua spektrum tersebut yaitu munculnya puncak pada bilangan gelombang 1286 cm^{-1} yang merupakan –NO yang didukung dengan munculnya puncak pada daerah 854,47 cm^{-1} dan 752,24 cm^{-1} (Rahman dkk., 2011 dan Neves dkk., 2018).

Sintesis Bioplastik Selulosa Nitrat

Bioplastik selulosa nitrat (SNi) memiliki permukaan yang lebih kasar dibandingkan dengan bioplastik CMF. Bioplastik SSi memiliki penampakan fisik berwarna kuning kecoklatan serta transparan sedangkan bioplastik SNi berwarna agak kecoklatan dan lebih transparan dibandingkan bioplastik SSi, hal ini disebabkan dari bahan baku yang digunakan. Bioplastik SSi dan SNi dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Morfologi Fisik Bioplastik selulosa (CMF) (a) dan bioplastik selulosa nitrat (SNi) (b)

Bioplastik selulosa nitrat (SNi) yang dihasilkan dilakukan analisis gugus fungsi menggunakan FTIR yang dapat dilihat pada Gambar 4. Terjadi pergeseran bilangan gelombang jika dibandingkan dengan masing-masing bahan baku yang digunakan (Gambar 2). Pergeseran bilangan gelombang ini disebabkan karena adanya interaksi kimia yaitu pembentukan ikatan hidrogen antara polimer-polimer penyusun bioplastik (Lubis dkk., 2016).



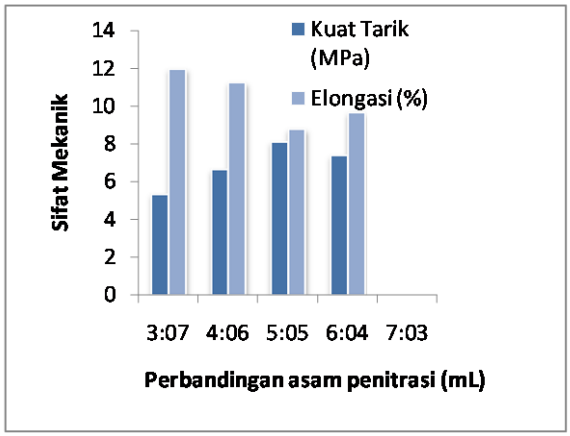
Gambar 4. Spektrum FTIR Bioplastik CMF (BCMF) dan Bioplastik Selulosa Nitrat (BSNi)

Puncak-puncak yang muncul pada ketiga spektrum bioplastik mengalami pergeseran bilangan gelombang yakni gugus O-H mengalami pergeseran dari 3350,35 cm^{-1} dan 3446,79 cm^{-1} menjadi 3414,00 cm^{-1},dan 3387,00 cm^{-1} berturut-turut untuk bioplastik CMFdan SNi. Begitupun juga dengan puncak vibrasi C-H pada daerah 2924,09 cm^{-1} dan 2929,87 cm^{-1}. Dan juga untuk gugus C-O pada ikatan glikosidik selulosa masih muncul pada spektrum bioplastik yaitu pada daerah 1074,35 cm^{-1} dan 1080,14 cm^{-1}.

Perbedaan yang signifikan antara spektrum bahan baku dan bioplastik yaitu muncul puncak baru yang berasal dari molekul kitosan. Pada spektrum bioplastik seharusnya muncul puncak pada daerah 3500-3100 cm^{-1} yang merupakan gugus N-H *streaching* dari gugus amina primer kitosan, namun pada penelitian ini diduga tumpang tindih dengan gugus O-H. Penelitian yang dilaporkan oleh Yang dkk., (2018) juga mngalami tumpang tindih N-H *streaching* dengan O-H. tetapi didukung dengan munculnya puncak N-H *bending* pada daerah 1562,34 cm^{-1} (CMF), dan 1564,27 cm^{-1} (SNi) dan puncak C-N di daerah 1315,45 cm^{-1} (CMF), dan 1340,53 cm^{-1} (SNi).

Sifat Mekanik Bioplastik Selulosa Nitrat

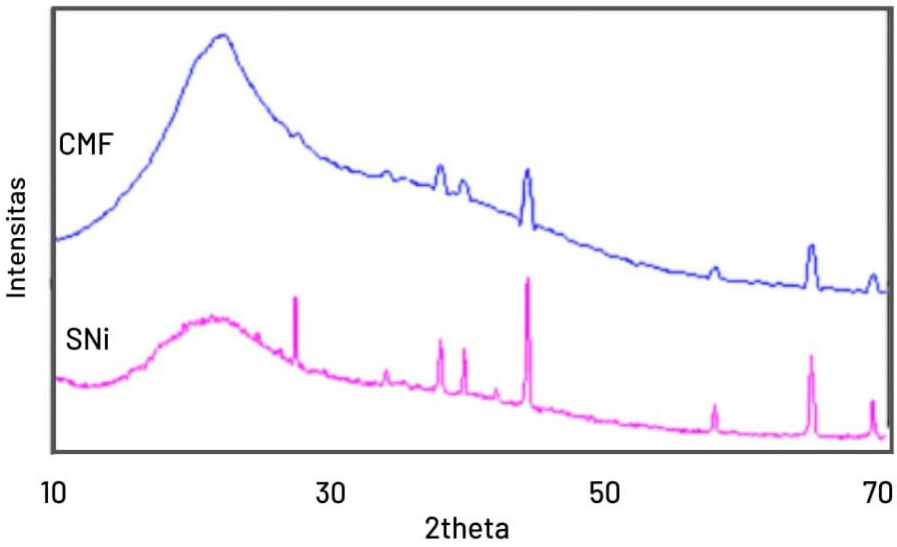
Sifat mekanik bioplastik selulosa nitrat meliputi kekuatan tarik dan elongasi, metode yang digunakan adalah ASTM D638 yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Sifat Mekanik Bioplastik Selulosa Nitrat (SNi)

Kuat tarik tertinggi terdapat pada perbandingan asam penitrasi 5:5 (v/v) yaitu sebesar 8,1268 MPa dan elongasi sebesar 8,8%. Hasil yang diperoleh ini tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap bioplastik berbahan baku CMF dan lebih rendah dibandingkan dengan bioplastik berbasis selulosa sitrat (Syarifuddin dkk., 2023). Hal ini diduga karena perbedaan besar keelektronegatifan pada pembentukan ikatan hidrogen yaitu antara O-H dan N-H.

Bioplastik SNi pada penelitian ini memiliki kuat tarik yang masih tergolong rendah tetapi telah memenuhi kuat tarik SNI yaitu 2,47-3,02 MPa dan bioplastik PHA yaitu 0,12 MPa (Brand dkk., 1990 dalam Syamsu dkk., 2016). Kadar nitrogen juga sangat berpengaruh terhadap pengaplikasian dari bahan baku, selulosa nitrat yang dihasilkan memiliki kadar nitrogen sebesar 4,17 %. Kadar nitrogen <12% dapat diaplikasikan sebagai pembuatan film (Berthumeyrie dkk., 2014). Kekuatan tarik bioplastik juga dipengaruhi oleh kepadatan bioplastik, hal ini dapat dilihat pada perbandingan difraktogram bioplastik selulosa dan selulosa nitrat pada Gambar 6.



Gambar 6. Difraktogram Bioplastik Selulosa (CMF) dan Selulosa Nitrat (SNi)

Difraktogram bioplastik CMF terlihat sangat berbeda dengan difraktogram bioplastik SNi. Pada difraktogram bioplastik SNi terlihat adanya peningkatan intensitas yaitu 2θ 44,0645°. Perbedaan nilai 2θ antara bioplastik CMF dan SNi menunjukkan bahwa kedua material memiliki susunan kristal yang berbeda. Pada bioplastik SNi, keberadaan gugus nitrat ($-ONO_2$) yang menggantikan sebagian gugus hidroksil selulosa menyebabkan perubahan jarak antarbidang kristal dan tingkat keteraturan

rantai polimer. Perubahan struktur tersebut mengakibatkan posisi puncak difraksi bergeser dibandingkan dengan bioplastik CMF. Pergeseran puncak ke nilai 2θ yang lebih tinggi pada SNi menunjukkan penurunan nilai d-spacing, yang mengindikasikan susunan molekul yang lebih rapat dibandingkan CMF. Hal ini menunjukkan terjadinya interaksi ikatan hidrogen selulosa dengan polimer lain (Alashwal dkk., 2019).

Tabel 2. Jarak kisi kristal (d) puncak tertinggi difraktogram bioplastik CMF dan SNi

Bioplastik	2θ (°)	d (nm)
CMF	22,0600	0,4026
	20,6200	0,4304
	23,6400	0,3760
SNi	44,0645	0,2053
	64,4295	0,1444
	27,4211	0,3249

Alashwal dkk., (2019) juga melaporkan bahwa peningkatan intensitas akan menurunkan jarak antara kisi kristal (d), hal ini dapat dilihat pada Tabel 2. Bioplastik SNi memiliki nilai d yang lebih kecil dibandingkan dengan bioplastik CMF dan jika dikaitkan dengan sifat mekanik bioplastik, bioplastik SSi memiliki nilai kuat tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan bioplastik CMF (Syarifuddin dkk., 2023), tetapi bioplastik SNi memiliki nilai kuat tarik yang hampir sama dengan bioplasik CMF hal ini disebabkan karena faktor lain yaitu diduga karena perbedaan elektronegatifitas yang tinggi sehingga mengakibaktan jarak antar molekul polimer lemah.

Analisis Degradasi Bioplastik

Degradasi bioplastik adalah salah satu parameter untuk menentukan apakah bioplastik yang diproduksi bersifat *biodegradable* atau tidak. *Biodegradable* merupakan kondisi dimana suatu material dapat diuraikan oleh mikroorganisme dalam keadaan dan waktu tertentu. Dalam penelitian ini, kehilangan massa, laju degradasi dan waktu degradasi bioplastik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan penurunan massa bioplastik terhadap laju dan waktu degradasi sempurna

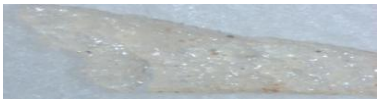
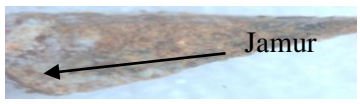
Bioplastik	Kehilangan bobot (%)	Laju degradasi (g/hari)	Waktu degradasi sempurna (hari)
CMF	18,86	0,0016	111
SNi	21,02	0,0019	100

Persentase kehilangan berat bioplastik CMF dan SNi tidak memperlihatkan perbedaan yang sigrifikan, hal ini karena bioplastik SNi memiliki kekuatan tarik yang hampir sama dengan bioplastik selulosa. Kekuatan tarik yang tinggi juga menunjukkan kepadatan yang tinggi sehingga mikroorganisme membutuhkan waktu lama untuk menguraikan bioplastik secara sempurna. Penimbangan massa bioplastik dilakukan hingga minggu kedua dan pengamatan dihentikan pada minggu ketiga karena bioplastik telah hancur dan sebagian besar telah tercampur dengan tanah sehingga sulit untuk diamati. Pengamatan morfologi bioplastik dilakukan secara langsung yang dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Morfologi bioplasti CMF, SSi dan SNi sebelum dan setelah terdegradasi

Bioplastik	Minggu ke-0	Minggu ke-I	Minggu ke-II	Minggu ke-III
CMF				
SNi				

Tabel 5. Morfologi bioplastik CMF, SSi dan SNi dilihat menggunakan mikroskop optik sebelum dan setelah degradasi

Bioplastik	Sebelum degradasi	Setelah degradasi
CMF		
SNi		

Berdasarkan pengamatan di bawah mikroskop optik, permukaan bioplastik telah ditumbuhi jamur yang mengindikasikan bahwa telah terjadi degradasi oleh mikroorganisme terhadap bioplastik, selain itu juga terjadi penyerapan air dari tanah sehingga bioplastik menjadi lembab dan menjadi tempat pertumbuhan jamur tersebut.

KESIMPULAN

Selulosa nitrat berhasil disintesis dari selulosa sekam padi melalui proses nitrasi dan diperoleh dalam bentuk bubuk berwarna putih kekuningan. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan terbentuknya gugus nitrat yang ditandai oleh puncak serapan pada bilangan gelombang 1286 cm^{-1} serta didukung oleh puncak pada 854,47 cm^{-1} dan 752,24 cm^{-1}. Perbandingan asam penitrasi optimum dalam sintesis selulosa nitrat diperoleh pada rasio 7:3 (v/v) dengan kadar selulosa nitrat sebesar 67,5% dan kadar nitrat 4,17%. Bioplastik berbasis selulosa nitrat, kitosan, dan sorbitol menunjukkan sifat mekanik terbaik pada formulasi dengan perbandingan asam penitrasi 5:5 (v/v), yaitu memiliki kekuatan tarik sebesar 8,1268 MPa dan elongasi sebesar 8,8%. Selain itu, bioplastik yang dihasilkan mengalami biodegradasi selama 21 hari dengan persentase kehilangan massa sebesar 21,02%, laju degradasi 0,0019 g/hari, dan estimasi waktu degradasi lengkap selama 100 hari. Berdasarkan perbandingan dengan bioplastik berbasis selulosa sitrat yang dilaporkan pada penelitian terdahulu, penggunaan selulosa sitrat menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi, sedangkan bioplastik berbasis selulosa nitrat menunjukkan nilai elongasi dan laju biodegradasi yang lebih besar. Hasil ini menunjukkan bahwa jenis agen modifikasi selulosa berpengaruh terhadap karakteristik fisik dan mekanik bioplastik yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

Alashwal, B. Y., Bala, M. S., Gupta, A., Sharma, S. dan Mishra, P. 2019. Improved Properties of Keratin-based Bioplastic Film Blended with Microcrystaline Cellulose: A Comparative Analysis. *J. King Saud University-Sci.* 32(1), 853-857.

Berthumeyrie, S., Collin, S. dan Bussiere, P. O. 2014. Photooxidation of Cellulose Nitrate: New Insights into Degradation Mechanisms. *Tesis*. Bogor: Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. *J. Hazard Mater.*272, 137-147.

Chadijah, S., Rustiah, W. dan Munir , M. I. D. 2018. Determination Of the Optimum Concentration Cellulose Baggase In Making Film Bioplastic. *J. Phys. Conf. Ser.* 979, 1-6.

Das, A. M., Abdul, A. A. dan Manash, P. H. 2014. Synthesis and Characterization of Cellulose Acetate From Rice Husk: Eco-Friendly Condition. *J. Carbohydr. Polym.* 112: 342-349.

Hayatun, A**.**, Jannah, M., Ahmad, A., & Taba, P. 2020. Synthetic Bioplastic Film from Rice Husk Cellulose. *Journal of Physics: Conference Series*. 1463, 1-7.

Ismail, N, A., Tahir, S. M., Yahya, N., Wahid, M. F. A., Khairuddin, N. E., Hashim, I., Rosli, N., Abdullah, M. A. 2016. Synthesis and Characterization of Biodegradable Starch-based Bioplastic. *Mater. Sci. Forum*. 864, 673-678.

Jannah, M., Ahmad, A., Hayatun, A., Taba, P., & Chadijah, S. 2019. Effect of filler and plastisizer on the mechanical properties of bioplastic cellulose from rice husk. *Journal of Physics:*

Conference Series. 1341, 1-8.

Listyarini, R.V., Susilawati, P.R., Nukung, E.N., & Yua, M. A. T. 2020. Bioplastik dari Pktin Kulit Buah Naga (Hylocereus polyrhizus). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi.*23(6), 203-208.

Lubis, M., Harahap, M. B., Manullang, A., Alfarado, Ginting, M. H. S. dan Sartika, M. 2018. Utilization Starch of Jackfruit Seed(*Artocarpus heterophyllus*) as Raw Material for Bioplastics Manufacturing Using Sorbitol as Plastisizer and Chitosan as Filler. *IOP Conf. Ser. J. Phys.* 801, 1-7

Mulyadi, Y., Setiadi dan Kusmartono, B. 2017. Optimasi Proses Nitrasi pada Pembuatan Nitroselulosa dengan Memanfaatkan Limbah Serabut Kelapa sebagai Bahan Baku dalam Upaya Mewujudkan Sumber Energi Bersih dan Terbarukan. *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi.*

Neves, A., Angelin, E. M., Roldao, E. dan Melo, M, J. 2018. New Insights Into The Degradation Mechanism of Cellulose nitrate in Cinematographic film by Raman Microscopy. *J. Raman Spectrosc.* 50, 202-212.

Ossa, M. A. F., dan Torre, M. 2012. Nitrocellulose Propellants Characteristic and Termal Properties.Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro. Ed. 5. *Advences in Material Science Research.* 7.

Rahman, M. F., Astika, I. M. J., Kurniawan, Y. D.dan Suratmo. Pengaruh Waktu Nitrasi dan Penggunaan Gelombang Ultrasonik terhadap Persentase Mol Nitrogen dalam Nitroselulosa Hasil Sintesis Berbahan Dasar Serat Kapas. *Nat. Biotechnol.*1(2), 158-167.

Rosenboom, J. G., Langer, R., & Travesgo, G. 2022. Bioplastics for A Circular Economy. *Nature Reviews Materials.* 7, 117-137.

Syafqat, A., Al-Zaqri, N., Tahir, A., & Alsame, A. 2021. Synthesis and Characterization of Starch Based Bioplastics Using Varying Plant-Based Ingredients, Plasticizers and Natural Fillers. *Saudi Journal of Biological Sciences.* 28(3), 1739-1749.

Syamsu, K., Maddu, A. dan Bahmid, N. A. 2016. Synthesis of Nanofiber from Oil Palm Empty Fruit Bunches Cellulose Acetate for Bioplastics Production. *Cemistry and Material Research.* 8(5), 56-62.

Syarifuddin, S. H., Hayatun, A., Ahmad, A., Taba, P., Fauziah, S., Sondari, D., Karim, H., & Irfandi, R. 2023. Synthesis and its application as packaging of bioplastic from rice husk cellulose citrate using chitosan and sorbitol plasticizers. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 18(2), 435–441.

Yang, J., Kwon, G. J., Hwang, K. dan Kim, D, Y. 2018. Cellulose-chitosan Antibacterial Composite Films Prepared from LiBr Solution. *J. Polym.* 10(10), 1-7.