

Synthesis Of Cellulose Acetate Based on Coconut Coir (*Cocos nucifera* L.) and It's Application on Bioplastic Fabrication

Annisa Septa Cahyani  dan Samuel Budi Wardhana Kusuma

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Diterima : 28-10-2024

Disetujui : 14-11-2024

Dipublikasikan : 05-05-2025

Keywords:

Sabut kelapa

Selulosa

Selulosa asetat

Bioplastik

Abstrak

Indonesia sebagai negara tropis memiliki sumber daya alam yang melimpah, salah satunya yaitu tanaman kelapa (*Cocos nucifera* L.). Sabut kelapa merupakan produk samping dari tanaman kelapa yang memiliki berbagai manfaat. Pada penelitian ini diperoleh rendemen selulosa dari sabut kelapa sebesar 58,72%. Keberhasilan isolasi selulosa ditunjukkan dengan munculnya puncak gugus fungsi O-H, C-H, dan C-O pada spektrum FTIR. Sintesis selulosa asetat telah dilakukan dengan memvariasikan perbandingan antara berat selulosa dan volume anhidrida asetat (1:10 dan 1:20) (b/v). Rendemen selulosa asetat hasil sintesis berturut-turut yaitu 30,44% dan 28,22%. Hasil sintesis menunjukkan bahwa jenis selulosa asetat yang dihasilkan adalah selulosa monoasetat dengan derajat substitusi (DS) berturut-turut yaitu 0,48 dan 0,44. Keberhasilan sintesis selulosa asetat ditunjukkan dengan munculnya puncak gugus fungsi O-H, C-H, C=O, dan C-O pada spektrum FTIR. Pada penelitian ini, selulosa asetat diaplikasikan dalam bioplastik dengan variasi konsentrasi 0%, 10%, 15%, 20%, dan 25% (b/b) dari berat tepung nasi aking. Aplikasi tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi selulosa asetat terhadap sifat mekanik dan fisik bioplastik. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi selulosa asetat menghasilkan nilai tertinggi untuk kuat tarik sebesar 13,58 MPa, persen elongasi sebesar 3,66%, modulus elastisitas sebesar 9,64 MPa, dan mampu menahan air sebesar 49,90%.

Abstract

Indonesia as a tropical country has abundant natural resources, coconut coir (*Cocos nucifera* L.) is one of them. Coconut coir is one of the waste product from coconut that has various benefits. In this research, the yield of cellulose from coconut coir was obtained 58,72%. The success of cellulose isolation is shown by the emergence of peaks of the O-H, C-H, and C-O functional group in FTIR spectrum. Synthesis of cellulose acetate has been carried out by varying the ration between the weight of cellulose and the volume of anhydride acetate (1:10 and 1:20) (w/v). The yield of cellulose acetate from synthesis are 30,44% and 28,22% respectively. The synthesis results showed that the type of cellulose acetate produced was cellulose monoacetate with degree of substitution (DS) 0,48 and 0,44 respectively. The successful of cellulose acetate synthesis is shown by the emergence of peaks of the O-H, C-H, C=O, and C-O functional group in FTIR spectrum. In this research, cellulose acetate was applied in bioplastics with variations of concentrations of 0%, 10%, 15%, 20%, and 25% (b/b) of the weight of dried rice flour. The application of cellulose acetate aims to determine the effect of cellulose acetate concentration on mechanical and physical properties of bioplastics. The result showed that the highest value for tensile strength is 13,58 MPa, elongation is 3,66%, modulus young is 9,64 MPa, and the bioplastics able to hold water as 49,90%.

Pendahuluan

Salah satu permasalahan kritis yang dihadapi oleh berbagai negara yaitu pengelolaan sampah. Indonesia menjadi salah satu negara yang berkontribusi dalam permasalahan tersebut. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) dalam Abbas & Sutrisno (2021) menyebutkan bahwa Indonesia menduduki peringkat kedua dunia dalam menghasilkan sampah plastik. Pada tahun 2023, Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) melaporkan timbulan sampah mencapai 33,133,123.60 ton/tahun, dengan 19,5% diantaranya merupakan sampah plastik. Berdasarkan banyaknya persentasi timbulan sampah tersebut, diperlukan langkah alternative untuk mengatasi permasalahan pengelolaan sampah plastik di Indonesia.

Plastik memiliki berbagai keuntungan untuk memudahkan kehidupan manusia. Di samping berbagai keuntungan yang dimiliki plastik, sifat daya tahan pada plastik dapat menyebabkan permasalahan pada lingkungan. Horodytska *et al.*, (2018) menyebutkan bahwa diperlukan bertahun-tahun untuk menguraikan plastik tersebut. Selain itu, proses penguraian plastik, akan menghasilkan mikro dan nano plastik yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan karena dapat mengkontaminasi air, tanah, bahkan makanan (Din *et al.*, 2020). Pembuatan plastik dengan bahan baku baru yang bersifat ramah lingkungan dapat menjadi salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut (Filiciotto & Rothenberg, 2021). Salah satu sumber daya alam yang memiliki potensi besar pada industri plastik adalah selulosa. Selulosa merupakan polimer alam terbaru yang ketersediaannya berlimpah. Selulosa banyak ditemukan pada limbah pertanian seperti sabut kelapa (Mulyadi, 2019).

Selulosa memiliki ikatan hidrogen yang kuat, baik pada intramolekul maupun intermolekul. Ikatan hidrogen yang kuat pada selulosa menyebabkan selulosa tidak dapat larut dalam air serta pelarut lainnya (Souhoka & Latupeirissa, 2018). Oleh karena itu selulosa dapat dimodifikasi menjadi salah satu turunannya, selulosa asetat sehingga dapat diaplikasikan pada berbagai bidang. Penelitian ini memodifikasi selulosa menjadi selulosa asetat melalui proses asetilasi. Proses tersebut menghasilkan selulosa asetat yang dapat larut dalam air sehingga dapat digunakan sebagai salah satu bahan baku untuk pembuatan bioplastik.

Selulosa asetat merupakan salah satu turunan selulosa yang memiliki sifat ramah lingkungan serta menghasilkan transparansi dan ketahanan terhadap panas yang baik (Faizal *et al.*, 2022). Modifikasi selulosa menjadi selulosa asetat dilakukan dengan proses asetilasi menggunakan pelarut asam organik (Dewanti, 2018). Pada penelitian ini, akan dilakukan sintesis selulosa asetat berbasis sabut kelapa. Produk selulosa asetat kemudian diaplikasikan sebagai bahan pengisi dalam pembuatan bioplastik. Penambahan pati nasi aking dan pemlastis sorbitol juga dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik pada bioplastik.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan meliputi pisau, mesin penggiling, oven, ayakan 200 mesh, spatula, gelas kimia, gelas ukur, labu erlenmeyer, termometer, corong kaca, mortar dan alu, pipet tetes, pipet volume, neraca analitik, *hot plate*, indikator pH universal, kertas saring, dan cawan petri. Instrumen yang digunakan dalam penelitian yaitu spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) PerkinElmer Spectrum-Two dan *Universal Testing Machine* (UTM).

Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi sabut kelapa, nasi aking, aquades, larutan NaOH p.a, larutan H₂O₂ 30% teknis, larutan anhidrida asetat (CH₃CO)₂O p.a, larutan H₂SO₄ p.a, larutan asam asetat glasial (CH₃COOH) p.a, dan sorbitol teknis.

Isolasi Selulosa Sabut Kelapa

Serbuk sabut kelapa ditimbang kemudian ditambahkan dengan larutan NaOH 10% dengan perbandingan (1:10) (b/v). Campuran dipanaskan dengan suhu 80°C selama 1,5 jam. Setelah dilakukan pemanasan, campuran dicuci dengan aquades hingga pH residu netral. Residu kemudian disaring lalu dikeringkan pada oven dengan suhu 65°C selama 12 jam. Residu hasil delignifikasi ditimbang kemudian dilarutkan dengan larutan H₂O₂ 30% dengan perbandingan (1:20) (b/v). Campuran dipanaskan dengan suhu 80°C selama 1,5 jam. Campuran disaring hingga diperoleh residu. Residu dicuci dengan aquades hingga pH residu netral. Residu kemudian disaring lalu dikeringkan pada oven dengan suhu 60°C selama 4 jam hingga berbentuk serbuk (Dimawarnita *et al.*, 2023; Santhi *et al.*, 2022; Sayakulu & Soloi, 2022). Selanjutnya, serbuk selulosa dianalisis dengan instrumen spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Hasil analisis dilakukan dengan membandingkan spektrum FTIR sabut kelapa awal dan residu proses delignifikasi.

Sintesis Selulosa Asetat

Selulosa hasil isolasi ditimbang sebesar 2 gram dimasukkan pada erlenmeyer, kemudian ditambahkan 50 mL asam asetat glasial. Campuran dipanaskan dengan suhu 35°C selama 45 menit. Sebesar 4,8 mL asam asetat glasial dan 1 tetes H₂SO₄ ditambahkan pada campuran, kemudian dilakukan pemanasan serta pengadukan selama 1 jam. Campuran didinginkan selama 15 menit. Larutan anhidrida asetat dengan

variasi volume (20 dan 40 mL) serta 5 tetes H_2SO_4 ditambahkan pada campuran, kemudian dilakukan pemanasan serta pengadukan selama 4 jam dengan suhu konstan $60^\circ C$. Campuran didinginkan kemudian disaring. Residu kemudian dicuci dengan aquades hingga pH netral. Residu dikeringkan pada oven dengan suhu $55^\circ C$ selama 4 jam (Asparingga *et al.*, 2018). Selanjutnya, produk selulosa asetat hasil sintesis dianalisis dengan instrumen spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Hasil analisis dilakukan dengan membandingkan spektrum FTIR produk sintesis dengan selulosa asetat komersial.

Pembuatan Bioplastik

Pembuatan bioplastik dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi selulosa asetat sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, dan 25% (b/b) dari berat tepung nasi aking. Selulosa asetat ditimbang sesuai dengan variasi yang dilakukan. Selulosa asetat dimasukkan ke dalam gelas kimia yang berisi 100 mL aquades. Campuran dipanaskan dan diaduk pada suhu $75^\circ C$ selama 30 menit hingga selulosa asetat larut. Setelah 30 menit, campuran ditambahkan 2 gram tepung nasi aking. Campuran dipanaskan dan diaduk kembali selama 1,5 jam. Sebanyak 0,5 mL sorbitol ditambahkan ke dalam campuran. Campuran bioplastik dipanaskan kembali sembari diaduk selama 30 menit hingga homogen. Campuran yang telah homogen dituangkan ke cawan petri dengan diameter 9 x 9 cm. Campuran kemudian didinginkan 10 menit untuk menghindari adanya gelembung pada bioplastik. Campuran dikeringkan menggunakan oven pada suhu $70^\circ C$ selama 5 jam. Bioplastik yang telah kering didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam untuk memudahkan pelepasan dari cetakan cawan petri. Bioplastik yang telah dilepaskan dari cetakan dilakukan pengujian sifat mekanik dan fisik berupa uji kuat tarik, elongasi, modulus elastisitas, serta daya serap air. Bioplastik juga dianalisis gugus fungsinya dengan instrumen spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

Hasil dan Pembahasan

Isolasi Selulosa Sabut Kelapa

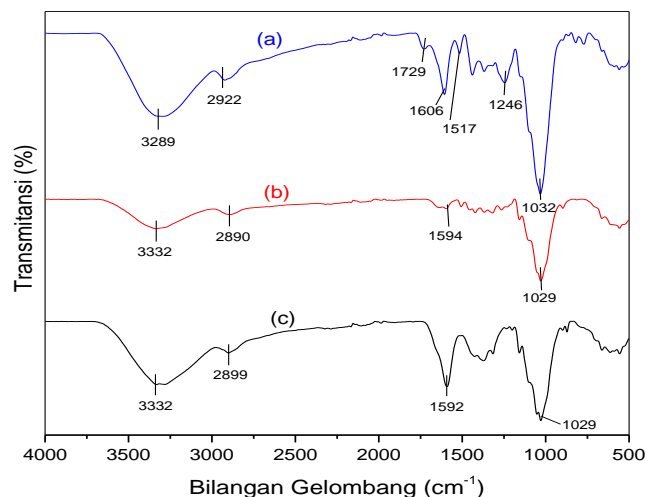
Isolasi selulosa dilakukan melalui proses delignifikasi dan pemutihan. Proses delignifikasi bertujuan untuk menghilangkan lignin dalam lignoselulosa pada biomassa (Tausa *et al.*, 2021). Proses delignifikasi dilakukan dengan menambahkan larutan alkali pada sampel. Studi oleh Shaikh *et al.*, (2021) melaporkan bahwa larutan alkali dapat menghilangkan hampir 90% kandungan lignin dan fraksi terlarut lainnya, seperti hemiselulosa. Pada penelitian ini, jenis alkali yang digunakan pada tahap delignifikasi adalah larutan NaOH 10%. Penambahan larutan NaOH pada lignoselulosa akan mengakibatkan terputusnya ikatan antara lignin dengan selulosa. Hal tersebut ditandai dengan larutan sisa proses delignifikasi yang berwarna hitam atau dapat disebut dengan lindi hitam. Warna hitam pada larutan tersebut diakibatkan oleh reaksi saponifikasi antara NaOH dengan lignoselulosa, sehingga mengakibatkan putusannya ikatan kompleks ester pada lignin dan karbohidrat (Priatmoko & Rohman, 2023).

Residu hasil proses delignifikasi berupa serbuk yang berwarna coklat muda. Warna coklat tersebut menunjukkan bahwa masih adanya kandungan lignin dalam residu. Residu dengan warna yang sama juga ditunjukkan dalam penelitian Wu *et al.*, (2019), dimana disebutkan bahwa sampel yang masih mengandung lignin memiliki ciri masih adanya warna kecoklatan pada sampel. Oleh karena itu, proses lanjutan diperlukan untuk menghilangkan lignin pada sampel hingga diperoleh selulosa murni. Proses pemutihan merupakan proses lanjutan yang bertujuan untuk mendegradasi sisa lignin pada selulosa (Amrillah *et al.*, 2022). Proses pemutihan dilakukan menggunakan larutan hidrogen peroksida (H_2O_2) yang merupakan oksidator kuat serta mudah larut dalam air (Amrillah *et al.*, 2022). Ion perhidroksil (OOH^-) dalam H_2O_2 bersifat sebagai oksidator, dimana ion penambahan larutan tersebut dapat menyebabkan terputusnya gugus karbonil pada ikatan lignin dengan selulosa. Akibatnya, kadar lignin berkurang sehingga selulosa yang dihasilkan berwarna cerah (Amrillah *et al.*, 2022; Harpendi *et al.*, 2014). Selulosa hasil isolasi yang diperoleh disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Selulosa hasil isolasi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolasi selulosa pada sabut kelapa dengan larutan NaOH 10% dan H₂O₂ 30% berhasil menghasilkan selulosa berupa padatan putih sedikit kekuningan yang tidak berbau. Adapun rendemen selulosa yang diperoleh sebesar 58,72%. Selulosa hasil isolasi selanjutnya dilakukan analisis gugus fungsinya menggunakan spektrofotometer FTIR. Analisis gugus fungsi dengan spektrofotometer FTIR bertujuan untuk mengetahui keberhasilan proses isolasi selulosa pada sabut kelapa. Analisis gugus fungsi dengan FTIR akan membandingkan spektrum FTIR pada sabut kelapa awal, sabut kelapa setelah perlakuan alkali, dan selulosa hasil isolasi. Analisis gugus fungsi dilakukan pada bilangan gelombang 4000-500 cm⁻¹. Hasil spektrum FTIR isolasi selulosa pada sabut kelapa disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum FTIR isolasi selulosa (a) sabut kelapa awal (b) sabut kelapa setelah perlakuan alkali (c) selulosa hasil isolasi

Pada spektrum FTIR, terlihat adanya puncak serapan yang lebar pada bilangan gelombang 3289-3332 cm⁻¹. Puncak tersebut menunjukkan adanya gugus O-H dari *stretching* alkohol pada selulosa. Puncak pada 2890-2922 cm⁻¹ dengan intensitas sedang menunjukkan adanya *stretching* C-H yang terdapat pada selulosa (Fauzana *et al.*, 2022). Pada bilangan gelombang 1729 cm⁻¹ terlihat puncak yang tumpang tindih yang menunjukkan adanya gugus karbonil (C=O) pada lignin. Selain pada lignin, puncak tersebut juga menunjukkan gugus ester dari hemiselulosa (Salim *et al.*, 2021; Tezcan & Atici, 2017). Puncak pada 1729 cm⁻¹ hanya terlihat pada spektrum sabut kelapa awal. Hal tersebut menunjukkan adanya pengurangan lignin pada selulosa yang dihasilkan. Puncak pada 1592-1606 cm⁻¹ menunjukkan deformasi H-O-H yang dikarenakan adanya air yang teradsorpsi (Aditama *et al.*, 2017).

Keberadaan lignin terlihat kembali pada bilangan gelombang 1517 cm⁻¹ dengan intensitas sedang. Puncak tersebut menunjukkan ikatan C=C pada cincin aromatik benzena (Masłowski *et al.*, 2018). Pada ketiga spektrum yang ada, puncak tersebut hanya terlihat pada spektrum FTIR sabut kelapa awal. Hal tersebut menunjukkan berkurangnya kadar lignin dari selulosa. Pada bilangan gelombang 1246-1029 cm⁻¹ juga hanya terlihat pada spektrum sabut kelapa awal. Puncak tersebut menunjukkan C-O *stretching* pada lignin dan ikatan C-O-C asimetris pada hemiselulosa (Fauzana *et al.*, 2022). Munculnya puncak-puncak tersebut setiap spektrum FTIR menunjukan bahwa pada selulosa masih terkandung lignin dan hemiselulosa.

Perbandingan spektrum FTIR pada proses isolasi selulosa menunjukkan bahwa lignin dan hemiselulosa belum terdegradasi sempurna. Pada bilangan gelombang 1410-1462 cm⁻¹ terlihat puncak-puncak yang menandakan adanya ikatan selulosa dengan lignin. Pada bilangan gelombang 1180-1360 cm⁻¹ menunjukkan ikatan selulosa dengan hemiselulosa (Lismeri *et al.*, 2019). Walaupun demikian, berdasarkan perbandingan spektrum FTIR pada proses isolasi selulosa dapat dikatakan bahwa proses isolasi telah berhasil mendapatkan selulosa. Hal tersebut terkonfirmasi dengan munculnya gugus fungsi O-H, C-H, dan C-O.

Sintesis Selulosa Asetat

Sintesis selulosa asetat dilakukan melalui tahap aktivasi, asetilasi, dan pencucian. Penambahan asam asetat glasial bertujuan mengembangkan serat-serat pada selulosa sehingga memudahkan prekursor anhidrida asetat membentuk selulosa asetat (Kamaluddin *et al.*, 2022). Penambahan asam sulfat (H₂SO₄) sebagai katalisator bertujuan mempercepat reaksi. Sintesis berlangsung dalam keadaan heterogen serta reaksinya bersifat eksoterm. Pada penelitian ini, sintesis dilakukan menggunakan larutan asam asetat glasial

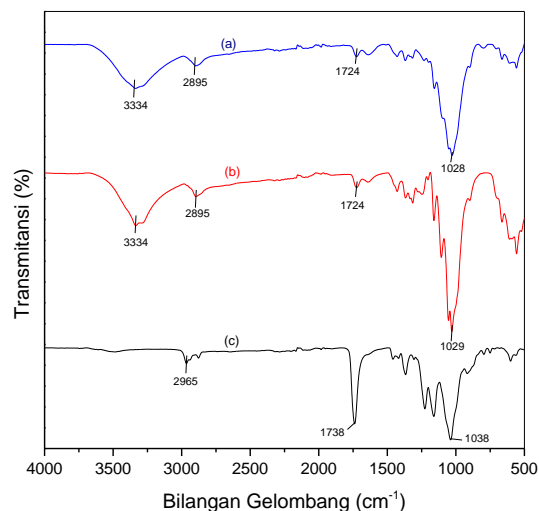
sebagai pengaktivasi, larutan anhidrida asetat sebagai agen pengasetilasi, dan larutan asam sulfat (H_2SO_4) sebagai katalis. Saat asetilasi berlangsung, terjadi reaksi antara asam organik dengan gugus hidroksil pada selulosa. Pada asetilasi, gugus hidroksil pada selulosa tereliminasi dan digantikan oleh gugus karbonil (Bonifacio *et al.*, 2023; Darmawan *et al.*, 2018; Rohmawati *et al.*, 2018).

Saat asetilasi berlangsung terjadi perubahan warna larutan dari putih menjadi kecoklatan. Perubahan warna pada larutan tersebut menunjukkan berhasilnya proses asetilasi pada selulosa. Perubahan warna pada larutan disebabkan karena adanya perubahan oksidatif pada molekul, dimana terjadi substitusi gugus fungsi dari gugus hidroksil menjadi gugus asetil (Bahmid *et al.*, 2014). Selain warna, keberhasilan proses sintesis juga ditandai dengan serbuk selulosa asetat yang dihasilkan tidak berbau. Sintesis selulosa asetat dilakukan dengan memvariasikan perbandingan antara selulosa dengan volume anhidrida asetat yaitu, 1:10 dan 1:20 (b/v). Selulosa asetat dengan variasi 1:10 menghasilkan rendemen sebesar 30,44%, sedangkan selulosa asetat dengan variasi 1:20 menghasilkan rendemen sebesar 28,22%. Penurunan nilai rendemen tersebut berkaitan dengan waktu asetilasi (Darmawan *et al.*, 2018; Rahmatullah *et al.*, 2020). Produk selulosa asetat selanjutnya dianalisis gugus fungsinya dengan spektrofotometer FTIR. Selulosa asetat hasil sintesis disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Selulosa asetat hasil sintesis

Spektrum FTIR pada selulosa asetat hasil sintesis dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada selulosa asetat. Sementara itu, analisis kuantitatif bertujuan untuk mengetahui nilai derajat substitusi (DS) dari selulosa asetat (Wolfs *et al.*, 2023). Pada penelitian ini, analisis kualitatif dilakukan dengan membandingkan spektrum FTIR selulosa asetat komersial dengan variasi selulosa asetat hasil sintesis (1:10 dan 1:20) (b/v). Perbandingan Hasil spektrum FTIR pada selulosa asetat disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan spektrum FTIR (a) selulosa asetat 1:10 (b) selulosa asetat 1:20 (c) selulosa asetat komersial

Perbandingan spektrum FTIR pada selulosa asetat hasil sintesis dengan selulosa asetat komersial memiliki pola spektrum yang serupa. Perbedaan utama terlihat dari spektrum tersebut adalah adanya puncak serapan lebar pada bilangan gelombang 3334 cm^{-1} . Puncak tersebut merupakan serapan dari gugus O-H. Adanya puncak tersebut menunjukkan bahwa selulosa asetat hasil sintesis masih cukup banyak mengandung air (El Nemr *et al.*, 2016). Puncak pada $2895\text{-}2965\text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas sedang menunjukkan adanya stretching dari gugus C-H (Anjarwati *et al.*, 2023).

Pada bilangan gelombang $1724\text{-}1738\text{ cm}^{-1}$ terdapat puncak pada setiap spektrum dengan intensitas yang berbeda. Puncak tersebut menunjukkan stretching dari gugus karbonil (C=O) (Asparingga *et al.*, 2018; Lismeri *et al.*, 2016). Selain gugus karbonil, selulosa asetat juga memiliki karakteristik dengan adanya gugus asetil (C-O) dari karbonil yang ditunjukkan pada bilangan gelombang $1028\text{-}1038\text{ cm}^{-1}$. Analisis pada spektrum FTIR menunjukkan bahwa selulosa asetat yang telah disintesis telah berhasil terasetilasi. Hal tersebut dikonfirmasi dengan adanya puncak-puncak yang menunjukkan gugus C-H, C=O, dan C-O (Anjarwati *et al.*, 2023; Souhoka & Latupeirissa, 2018).

Pada analisis kuantitatif, penentuan nilai derajat substitusi (DS) dengan melakukan perbandingan absorbansi antara pita serapan gugus karbonil (C=O) dengan gugus asetil (C-O). Pada penelitian ini, puncak gugus karbonil C=O terlihat pada $1724\text{-}1738\text{ cm}^{-1}$, sedangkan puncak gugus asetil C-O terlihat pada $1028\text{-}1038\text{ cm}^{-1}$. Perhitungan nilai derajat substitusi (DS) dilakukan pada selulosa asetat komersial hasil sintesis (1:10 dan 1:20) (b/v). Hasil perhitungan nilai derajat substitusi (DS) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Nilai Derajat Substitusi (DS) Selulosa Asetat

Variasi Selulosa Asetat (SA)	DS	Kelarutan dalam Air	Jenis
SA 1:10	0,48	Larut	Monoasetat
SA 1:20	0,44	Larut	Monoasetat
SA Komersial	1,89	Tidak Larut	Diasetat

Berdasarkan hasil perhitungan DS selulosa asetat hasil sintesis merupakan selulosa monoasetat, sedangkan selulosa asetat komersial merupakan selulosa diasetat. Adapun rentang nilai DS yang diperoleh berkisar pada 0,44-1,89. Jenis selulosa asetat yang diperoleh berdasarkan perhitungan nilai DS juga dikonfirmasi lebih lanjut melalui pengujian kelarutan selulosa asetat pada aquades. Hasil pengujian menunjukkan bahwa selulosa asetat variasi 1:10 dan 1:20 larut dalam aquades, sedangkan selulosa asetat komersial tidak larut dalam aquades. Hal tersebut telah sesuai beberapa studi sebelumnya, dimana selulosa monoasetat dapat larut dalam air, sedangkan selulosa diasetat tidak dapat larut dalam air. Jenis selulosa asetat hasil sintesis berkaitan dengan kelarutan dan aplikasinya. Pada pembuatan bioplastik, jenis selulosa asetat yang sesuai adalah selulosa monoasetat. Hal tersebut dikarenakan jenis tersebut dapat larut dalam air sehingga bioplastik yang dihasilkan mudah terdegradasi (Faizal *et al.*, 2022; Lismeri *et al.*, 2016).

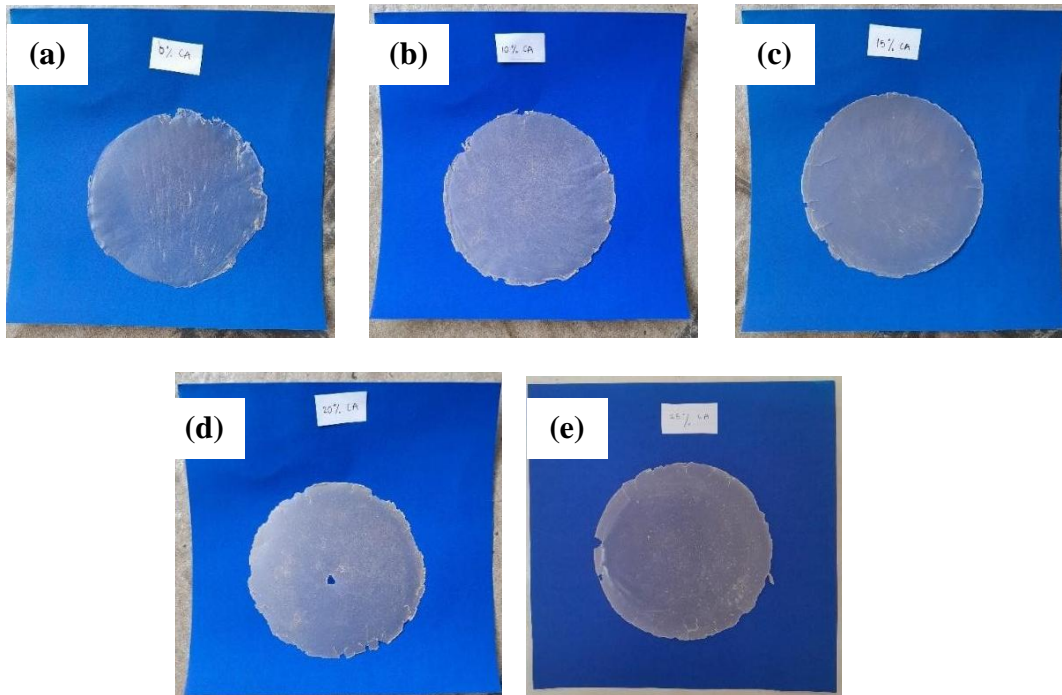
Beberapa studi menyatakan bahwa nilai DS meningkat seiring dengan bertambahnya volume anhidrida asetat yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan hal sebaliknya, hal tersebut berkaitan dengan waktu asetilasi. Proses asetilasi yang dilakukan terlalu lama dapat menyebabkan terdegradasinya selulosa asetat. Hal ini ditunjukkan pada penelitian Darmawan *et al.*, (2018), dimana nilai DS mengalami penurunan setelah terasetilasi 2,5 jam. Penurunan nilai DS juga terjadi setelah waktu asetilasi 2 jam pada penelitian (Rahmatullah *et al.*, (2020).

Pembuatan Bioplastik

Bioplastik dibuat dengan metode solution casting. Metode ini dilakukan dengan menguapkan pelarut dari bioplastik (Sumirat *et al.*, 2023). Pelarut yang digunakan dalam penelitian ini adalah aquades. Pembuatan bioplastik dengan metode ini memiliki keunggulan berupa prosesnya yang mudah serta murah. Komponen bioplastik terdiri dari tepung nasi aking sebagai matriks, selulosa asetat sebagai pengisi, dan sorbitol sebagai pemlastis. Pembuatan bioplastik dilakukan dengan memvariasikan 5 konsentrasi selulosa asetat yang berbeda (0%, 10%, 15%, 20%, dan 25%) (b/b) dari berat tepung nasi aking.

Bioplastik yang dihasilkan memiliki karakteristik berupa berwarna putih sedikit kekuningan, cukup transparan, tidak berbau, dan elastisitas meningkat seiring dengan rendahnya konsentrasi selulosa asetat yang digunakan. Warna putih pada bioplastik yang dihasilkan disebabkan oleh selulosa asetat yang berikatan sempurna dengan matriks (Hanifah *et al.*, 2022). Bioplastik hasil penelitian memiliki satu sisi halus dan satu sisi yang cukup kasar. Permukaan kasar pada bioplastik menunjukkan bahwa proses pencampuran bioplastik

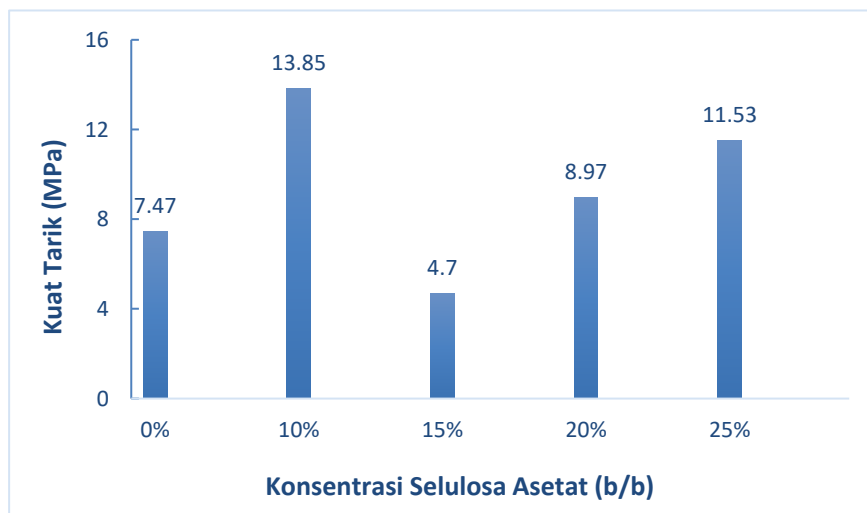
belum sempurna, sehingga bioplastik belum tercampur secara homogen (Pratiwi *et al.*, 2016). Bioplastik hasil penelitian disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Bioplastik hasil penelitian (a) 0% selulosa asetat (b) 10% selulosa asetat (c) 15% selulosa asetat (d) 20% selulosa asetat (e) 25% selulosa asetat

Analisis Sifat Mekanik Bioplastik

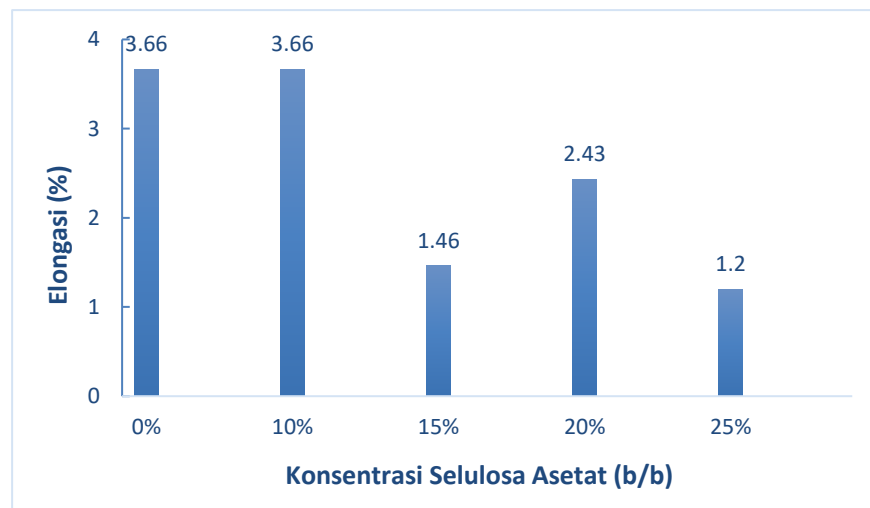
Sifat mekanik bioplastik berkaitan dengan komponen-komponen penyusunnya (Darni *et al.*, 2021). Hal tersebut dikarenakan adanya interaksi fisik antara selulosa asetat, tepung nasi aking, dan sorbitol. Sifat mekanik yang dianalisis meliputi kuat tarik, persen elongasi, dan modulus elastisitas. Pengujian sifat mekanik pada bioplastik dilakukan melalui Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro dengan replikasi sebanyak 3 kali. Kemampuan bioplastik dalam menahan beban dengan tarikan maksimum hingga terputus merupakan definisi dari kuat tarik (Dewi *et al.*, 2021). Penelitian yang dilakukan Hanifah *et al.*, (2022) melaporkan bahwa penambahan selulosa asetat dapat memperkuat bioplastik karena membentuk ikatan hidrogen yang kuat dengan matriks pati. Hubungan variasi konsentrasi selulosa asetat terhadap kuat tarik disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik hubungan konsentrasi selulosa asetat terhadap nilai kuat tarik bioplastik

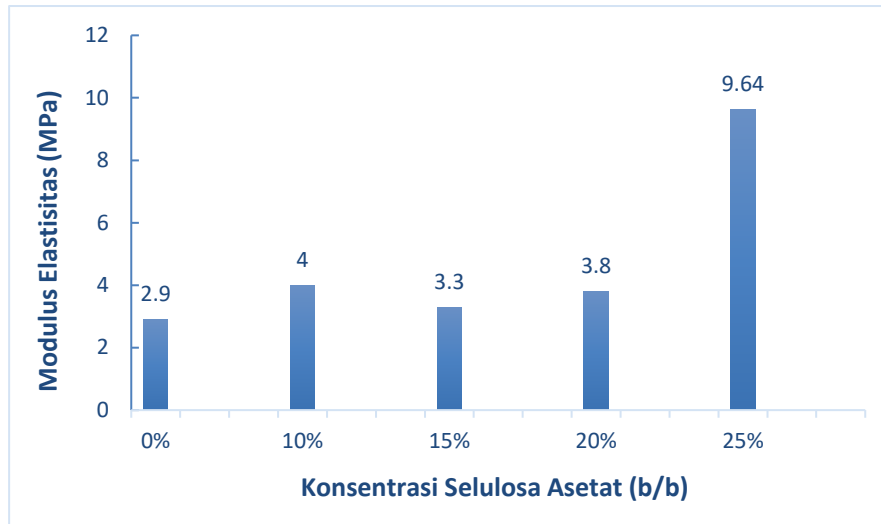
Berdasarkan hasil pengujian, terlihat bahwa nilai kuat tarik bioplastik hasil penelitian berkisar antara 4,7-13,85 MPa. Nilai kuat tarik tertinggi dimiliki oleh formulasi bioplastik dengan 10% selulosa asetat yaitu sebesar 13,85 MPa. Nilai kuat tarik terendah dihasilkan oleh formulasi bioplastik dengan 15% selulosa asetat yaitu sebesar 4,7 MPa. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI), bioplastik memiliki standar nilai kuat tarik yang berkisar dari 24,7-302 MPa. Penurunan nilai kuat tarik dapat disebabkan karena peningkatan konsentrasi selulosa asetat tidak diikuti oleh pembentukan interaksi dengan polimer yang baik. Selulosa asetat membentuk interaksi dengan polimer melalui ikatan hidrogen selama proses pencampuran. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa proses pencampuran bioplastik belum sempurna (Pratiwi *et al.*, 2016). Selain itu, rendahnya nilai kuat tarik dapat disebabkan karena penambahan sorbitol dapat mengurangi energi ikatan hidrogen. Akibatnya, mobilitas polimer meningkat yang menyebabkan bertambahnya fleksibilitas bioplastik (Lusiana *et al.*, 2019).

Elongasi atau persen perpanjangan merupakan keelastisitasan bioplastik dari panjang maksimum ketika bioplastik ditarik hingga terputus (Darni *et al.*, 2021). Elongasi berbanding terbalik dengan kuat tarik, dimana elongasi meningkat seiring dengan menurunnya nilai kuat tarik (Selpiana *et al.*, 2015). Hubungan variasi konsentrasi selulosa asetat terhadap elongasi disajikan pada Gambar 7. Berdasarkan hasil pengujian, terlihat bahwa terjadi penurunan elongasi seiring dengan meningkatnya konsentrasi selulosa asetat. Hal ini telah sesuai dengan beberapa teori terdahulu, dimana elongasi berbanding terbalik dengan konsentrasi selulosa asetat. Namun pada formulasi bioplastik dengan 20% selulosa asetat terjadi peningkatan elongasi sebesar 0,95%. Elongasi terbesar dimiliki oleh bioplastik dengan 0% dan 10% selulosa asetat yaitu sebesar 3,66%. Sedangkan nilai elongasi terendah dimiliki oleh bioplastik dengan 25% selulosa asetat yaitu sebesar 1,2%. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI), nilai elongasi pada bioplastik yang dihasilkan masih belum memenuhi standar. Adapun standar elongasi bioplastik berdasarkan SNI 7188.7:2016 yaitu 21-220%.



Gambar 7. Grafik hubungan konsentrasi selulosa asetat terhadap nilai elongasi bioplastik

Modulus elastisitas atau modulus Young merupakan ukuran dari bioplastik yang dihasilkan. Modulus elastisitas berbanding terbalik dengan elongasi, dimana semakin besar elongasi maka semakin kecil nilai modulus elastisitas (Masahid *et al.*, 2023). Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai modulus elastisitas, maka semakin kaku bioplastik yang dihasilkan. Hubungan variasi konsentrasi selulosa asetat terhadap modulus elastisitas disajikan pada Gambar 8.

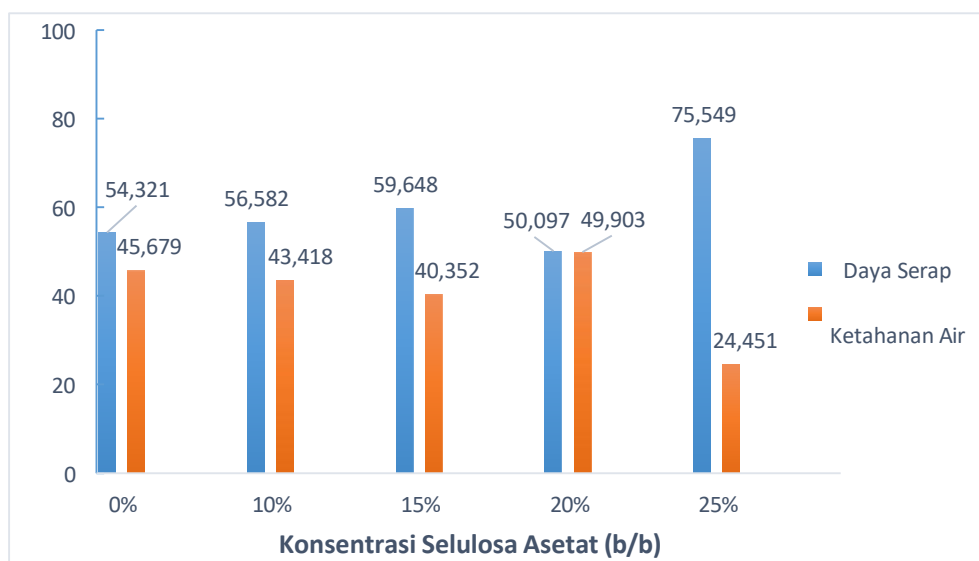


Gambar 8. Grafik hubungan konsentrasi selulosa asetat terhadap nilai modulus elastisitas bioplastik

Pada grafik terlihat bahwa bioplastik yang dihasilkan memperoleh modulus elastisitas yang berkisar pada 2,9-9,64 MPa. Grafik tersebut juga menunjukkan peningkatan modulus elastisitas seiring dengan peningkatan konsentrasi selulosa asetat. Hal ini cukup sesuai dengan studi Fadilla *et al.*, (2023), dimana peningkatan konsentrasi bahan pengisi dalam bioplastik dapat meningkatkan modulus elastisitas. Walaupun demikian, pada bioplastik dengan konsentrasi 15% selulosa asetat mengalami penurunan nilai modulus elastisitas menjadi 3,3 MPa. Nilai modulus elastisitas tertinggi diperoleh oleh bioplastik dengan 25% selulosa asetat sebesar 9,64 MPa. Sedangkan nilai modulus elastisitas terendah diperoleh oleh bioplastik dengan 0% selulosa asetat yaitu sebesar 2,9 MPa. Berdasarkan hasil pengujian sifat mekanik, diperoleh hasil bahwa bioplastik menghasilkan nilai kuat tarik yang baik. Hal ini menunjukkan bahwa bioplastik yang dihasilkan memiliki kekuatan yang baik. Kendati demikian, nilai sifat mekanik dari bioplastik hasil penelitian juga belum memenuhi SNI 7188.7:2016 baik dari kuat tarik maupun elongasi.

Analisis Sifat Fisik Bioplastik

Pengujian daya serap air pada bioplastik bertujuan untuk mengetahui kemampuan bioplastik dalam menyerap air (Ningsih *et al.*, 2019). Pengujian daya serap air juga dapat mengetahui persen ketahanan air dari bioplastik (Khotimah *et al.*, 2022). Hubungan variasi konsentrasi selulosa asetat terhadap persen daya serap air dan persen ketahanan air disajikan pada Gambar 9.

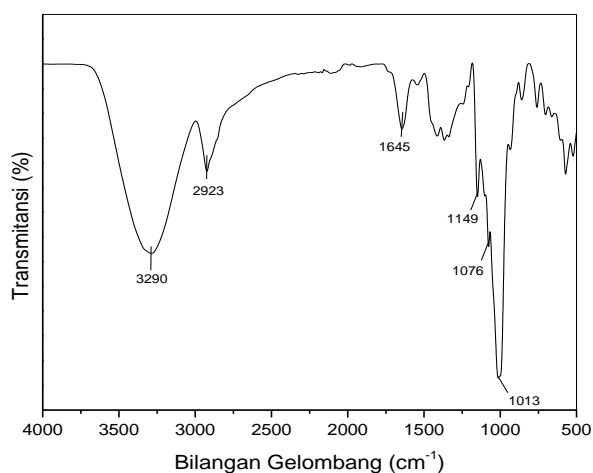


Gambar 9. Grafik hubungan konsentrasi selulosa asetat terhadap daya serap dan ketahanan air bioplastik

Hasil pengujian menunjukkan bahwa bioplastik dapat menyerap air sebesar 50,10-75,54%. Hasil penelitian juga menunjukkan peningkatan daya serap air seiring dengan meningkatnya konsentrasi selulosa asetat. Peningkatan dan tingginya daya serap air pada bioplastik disebabkan oleh penambahan selulosa monoasetat dan pemlastis sorbitol. Selulosa monoasetat dan sorbitol bersifat hidrofilik, sehingga memudahkan penyerapan air pada bioplastik. Kendati demikian, nilai tersebut belum memenuhi SNI 7188.7:2016, dimana bioplastik harus memiliki standar ketahanan terhadap air sebesar 99% (Masahid *et al.*, 2023). Adapun hasil pengujian menunjukkan bahwa bioplastik hanya mampu menahan air maksimal hingga 49,90%.

Analisis Spektrum FTIR Bioplastik

Analisis spektrum FTIR pada bioplastik bertujuan untuk mengetahui interaksi antar komponen penyusun dalam bioplastik. Pada penelitian yang dilakukan, analisis spektrum FTIR dilakukan pada bioplastik dengan 15% selulosa asetat. Identifikasi gugus fungsi dalam bioplastik disajikan pada Gambar 10. Puncak pada 3290 cm^{-1} menunjukkan stretching dari gugus hidroksil (O-H) dengan pita serapan yang cukup lebar (Hanifah *et al.*, 2022). Gugus O-H menunjukkan keberadaan sorbitol pada bioplastik. Tepung nasi aking ditunjukkan oleh puncak pada 2923 cm^{-1} , puncak tersebut menunjukkan adanya *stretching* dari ikatan C-H. Puncak pada rentang bilangan gelombang 2800-3000 cm^{-1} juga menunjukkan adanya amilosa dan amilopektin pada tepung nasi aking (Kumoro & Purbasari, 2014; Muhammad *et al.*, 2019). Puncak pada bilangan gelombang 1645 cm^{-1} menunjukkan adanya *bending* dari ikatan O-H, munculnya ikatan tersebut disebabkan adanya air yang teradsorpsi dalam bioplastik.



Gambar 10. Spektrum FTIR bioplastik dengan variasi konsentrasi selulosa asetat 15% (b/b) dari berat tepung nasi aking

Selulosa asetat memiliki karakteristik gugus karbonil (C=O) pada bilangan gelombang 1700 cm^{-1} . Adapun hasil spektrum bioplastik hasil penelitian tidak terlihat adanya puncak pada bilangan gelombang 1700 cm^{-1} . Hal tersebut dapat disebabkan karena selulosa asetat yang digunakan pada bioplastik sedikit jumlahnya. Selain ikatan C=O, selulosa asetat juga ditunjukkan dengan ikatan C-O (Fei *et al.*, 2015). Ikatan C-O pada bioplastik ditunjukkan pada bilangan gelombang 1149 cm^{-1} , 1076 cm^{-1} , dan 1013 cm^{-1} (Hanifah *et al.*, 2022; Maulida *et al.*, 2016). Berdasarkan spektrum FTIR pada Gambar 10, bioplastik berbasis selulosa asetat dengan penambahan tepung nasi aking dan sorbitol memiliki gugus fungsi utama O-H, C-H, dan C-O.

Simpulan

Selulosa dari sabut kelapa dapat diperoleh melalui isolasi dengan proses delignifikasi dan pemutihan. Rendemen selulosa yang diperoleh pada penelitian sebesar 58,72%. Sintesis selulosa dilakukan dengan memvariasikan perbandingan berat selulosa dengan volume anhidrida asetat (1:10 dan 1:20) (b/v) yang menghasilkan rendemen sebesar 30,44% dan 28,22%. Jenis selulosa asetat yang dihasilkan adalah selulosa monoasetat dengan DS 0,48 dan 0,44. Penambahan konsentrasi selulosa asetat menghasilkan bioplastik dengan nilai kuat tarik yang baik. Nilai kuat tarik tertinggi diperoleh sebesar 13,85 MPa. Persen elongasi tertinggi diperoleh sebesar 3,66%. Nilai modulus elastisitas tertinggi diperoleh sebesar 9,64 MPa. Bioplastik yang dihasilkan mampu menahan air maksimal sebesar 49,90%.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih peneliti sampaikan kepada Laboratorium Kimia Universitas Negeri Semarang atas seluruh fasilitas yang telah diberikan selama melakukan penelitian.

Daftar Referensi

- Abbas, W., & Sutrisno. (2021). Dari Politik Lingkungan Ke Sustainability Politics: Implikasi Globalisasi Terhadap Peningkatan Jumlah Plastik di Lautan Indonesia. *NiCMA: National Conference Multidisciplinary*, <http://ejournal.undar.ac.id/index.php/nicma/article/view/326%0Ahttp://ejournal.undar.ac.id/index.php/nicma/article/download/326/231>
- Aditama, A. G., Farid, M., & Ardhyana, H. (2017). Isolasi Selulosa dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Nano Filler Komposit Absorpsi Suara: Analisis FTIR. *6*(2), 228–231.
- Amrillah, Z., Hanum, F. F., & Rahayu, A. (2022). Studi Efektivitas Metode Ekstraksi Selulosa dari Agricultural Waste. *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, 8. <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit%0AE-ISSN:2745-6080>
- Anjarwati, M. S., Meidinariasty, A., & Yerizam, M. (2023). Sintesis Selulosa Asetat dari Ampas Tebu sebagai Bahan Baku Biodegradable Foam. *Jurnal Serambi Engineering*, *8*(4), 7160–7167. <https://doi.org/10.32672/jse.v8i4.5893>
- Asparingga, H., Syahbanu, I., & Hairil Alimuddin, A. (2018). Pengaruh Volume Anhidrida Asetat pada Sintesis Selulosa Asetat Dari Sabut Kelapa (*Cocos nucifera* L.). *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, *7*(3), 10–17. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jkkmpa/article/view/25178>
- Bahmid, N. A., Syamsu, K., & Maddu, A. (2014). Pengaruh Ukuran Serat Selulosa Asetat dan Penambahan Dietilen Glikol (DEG) Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Bioplastik. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, *24*(3), 226–234.
- Bonifacio, A., Bonetti, L., Piantanida, E., & De Nardo, L. (2023). Plasticizer Design Strategies Enabling Advanced Applications of Cellulose Acetate. *European Polymer Journal*, *197*(August), 112360. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2023.112360>
- Darmawan, M. T., Elma, M., & Ihsan, M. (2018). Sintesis Dan Karakterisasi Selulosa Asetat Dari Alfa Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, *4*(1), 50–55. <https://doi.org/10.20527/jukung.v4i1.4658>
- Darni, Y., Anggraeni, P., & Lismeri, L. (2021). Pengaruh Pemlastis Dietilen Glikol terhadap Karakteristik Mekanik Bioplastik Selulosa Asetat Mikrofiber. *Jurnal Teknologi Dan Inovasi Industri*, *2*(1), 18–23.
- Dewanti, D. P. (2018). Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, *19*(1), 81. <https://doi.org/10.29122/jtl.v19i1.2644>
- Dewi, R., Rahmi, R., & Nasrun, N. (2021). Perbaikan Sifat Mekanik Dan Laju Transmisi Uap Air Edible Film Bioplastik Menggunakan Minyak Sawit Dan Plasticizer Gliserol Berbasis Pati Sagu. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, *8*(1), 61. <https://doi.org/10.29103/jtku.v10i1.4177>
- Dimawarnita, F., Faramitha, Y., Prakoso, H. T., Puspitasari, I., Kalbuadi, D. N., & Prasetyo, D. (2023). Karakterisasi Selulosa dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Melalui Proses Delignifikasi Cepat Menggunakan Pelarut yang Berbeda. *E-Journal Menara Perkebunan*, *91*(2), 96–105. <https://doi.org/10.22302/iribb.jur.mp.v91i2.542>
- Din, M. I., Ghaffar, T., Najeeb, J., Hussain, Z., Khalid, R., & Zahid, H. (2020). Potential Perspectives of Biodegradable Plastics for Food Packaging Application-Review of Properties and Recent Developments. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, *37*(4), 665–680. <https://doi.org/10.1080/19440049.2020.1718219>
- El Nemr, A., Ragab, S., & El Sikaily, A. (2016). Testing Zinc Chloride as A New Catalyst for Direct synthesis of Cellulose Di- and Tri-Acetate in A Solvent Free System Under Microwave Irradiation. *Carbohydrate Polymers*, *151*, 1058–1067. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.072>
- Fadilla, A., Amalia, V., & Wahyuni, I. R. (2023). Pengaruh Selulosa Ampas Tebu (*Saccharum officinarum*) sebagai Zat Pengisi Plastik Biodegradable berbasis Pati Kulit Singkong (*Manihot esculenta*). *In Gunung Djati Conference Series*, *34*(1), 69–80.
- Faizal, M., Jaksen, & Fadarina. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Asetat dari Tanda Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Bioplastik. *Kinetika*, *13*(2), 17–23.
- Fauzana, A., Putri, N., & Sidoretno, W. M. (2022). The Effect of Delignification and Hydrolysis Process on Isolated Cellulose from Saba Banana Fruit Peel (*Musa acuminata* × *balbisiana*) Pengaruh Proses Delignifikasi dan Hidrolisis terhadap selulosa Hasil Isolasi dari Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata* × *bal*). *Jurnal Proteksi Kesehatan*, *11*(2), 86–93.
- Fei, Z., Huang, S., Yin, J., Xu, F., & Zhang, Y. (2015). Preparation and Characterization of Bio-based Degradable Plastic Films Composed of Cellulose Acetate and Starch Acetate. *Journal of Polymers and*

- the Environment*, 23(3), 383–391. <https://doi.org/10.1007/s10924-015-0711-1>
- Filiciotto, L., & Rothenberg, G. (2021). Biodegradable Plastics: Standards, Policies, and Impacts. *ChemSusChem*, 14(1), 56–72. <https://doi.org/10.1002/cssc.202002044>
- Hanifah, A., Mardawati, E., Rosalinda, S., Nurliasari, D., & Kastaman, R. (2022). Analysis of Cellulose and Cellulose Acetate Production Stages from Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) and Its Application to Bioplastics. *Journal of Chemical Process Engineering*, 7(1), 17–26. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v7i1.1136>
- Harpendi, R., Padil, & Yelmida. (2014). Proses Pemurnian Selulosa Pelepah Sawit sebagai Bahan Baku Nitroselulosa dengan Variasi pH dan Konsentrasi H₂O. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*.
- Horodytska, O., Valdés, F. J., & Fullana, A. (2018). Plastic Flexible Films Waste Management – A State of Art Review. *Waste Management*, 77, 413–425. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.023>
- Kamaluddin, M. A., Maryono, M., Hasri, H., Genisa, M. U., & Rizal, H. P. (2022). Pengaruh Penambahan Plasticizer Terhadap Karakteristik Bioplastik Dari Selulosa Limbah Kertas. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 7(02), 197. <https://doi.org/10.23960/aec.v7i02.2022.p197-208>
- Khotimah, K., Ridlo, A., & Suryono, C. A. (2022). Physical and Mechanical Properties of Composite Bioplastics of Alginate and Carrageenan. *Journal of Marine Research*, 11(3), 409–419.
- Kumoro, A. C., & Purbasari, A. (2014). *Sifat Mekanik dan Morfologi Plastik Biodegradable dari Limbah Tepung Nasi Aking dan Tepung Tapioka Menggunakan Gliserol Sebagai Plasticizer*. 35(1), 8–16.
- Lismeri, L., Darni, Y., Sanjaya, M. D., & Immadudin, M. I. (2019). Pengaruh Suhu Dan Waktu Pretreatment Alkali Pada Isolasi Selulosa Limbah Batang Pisang. *Journal of Chemical Process Engineering*, 4(1), 18–22. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v4i1.319>
- Lismeri, L., Zari, P. M., Novarani, T., & Darni, Y. (2016). Sintesis Selulosa Asetat dari Limbah Batang Ubi Kayu. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 11(2), 82–91. <https://doi.org/10.23955/rkl.v11i2.5407>
- Lusiana, S. W., Putri, D., Nurazizah, I. Z., & Bahrudin. (2019). Bioplastic Properties of Sago-PVA Starch with Glycerol and Sorbitol Plasticizers. *Journal of Physics: Conference Series*, 1351(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1351/1/012102>
- Masahid, A., Aprillia, N. A., Witono, Y., & Azkiyah, L. (2023). Karakteristik Fisik Dan Mekanik Plastik Biodegradable Berbasis Pati Singkong Dengan Penambahan Whey Keju Dan Plasticizer Gliserol. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 24(1), 23–34. <https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2023.024.01.3>
- Masłowski, M., Miedzianowska, J., & Strzelec, K. (2018). Influence of Peroxide Modifications on The Properties of Cereal Straw and Natural Rubber Composites. *Cellulose*, 25(8), 4711–4728. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1880-6>
- Maulida, Siagian, M., & Tarigan, P. (2016). Production of Starch Based Bioplastic from Cassava Peel Reinforced with Microcrystalline Cellulose Avicel PH101 Using Sorbitol as Plasticizer. *Journal of Physics: Conference Series*, 710(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/710/1/012012>
- Muhammad, A., Roslan, A., Sanusi, S. N. A., Shahimi, M. Q., & Nazari, N. Z. (2019). Mechanical Properties of Bioplastic form Cellulose Nanocrystal (CNC) Mangosteen Peel Using Glycerol as Plasticizer. *Journal of Physics: Conference Series*, 1349(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1349/1/012099>
- Mulyadi, I. (2019). Isolasi Dan Karakteristik Selulosa. *Jurnal Saintika Unpam*, 1(2), 177–180.
- Ningsih, E., Ariyani, D., & Sunardi. (2019). Pengaruh Penambahan Carboxymethyl Cellulose Terhadap Karakteristik Bioplastik dari Pati Ubi Nagara (*Ipomoea batatas* L.). *J. Chem. Res*, 7(1), 69–77.
- Pratiwi, R., Rahayu, D., & Barliana, M. I. (2016). Pemanfaatan Selulosa Dari Limbah Jerami Padi (*Oryza sativa*) Sebagai Bahan Bioplastik. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 3(3), 83. <https://doi.org/10.15416/ijpst.v3i3.9406>
- Priatmoko, S., & Rohman, A. N. (2023). Modifikasi Selulosa Kulit Durian Menggunakan Glutaraldehyd Sebagai Koagulan Untuk Pemulihan Limbah Cair Tepung Pati Aren. *Bookchapter Alam Universitas Negeri Semarang*, 2, 115–144. <https://doi.org/10.15294/ka.v1i2.141>
- Rahmatullah, R., Putri, R. W., Rainadi, A. M., Permatasari, A., & Pratama, M. Y. (2020). Pemanfaatan Limbah Kertas Sebagai Bahan Baku Pembuatan Selulosa Asetat. *Jurnal Teknik Kimia*, 26(3), 108–112. <https://doi.org/10.36706/jtk.v26i3.7>
- Rohmawati, B., Sya'Idah, F. A. N., Rhismayanti, Alighiri, D., & Eden, W. T. (2018). Synthesis of Bioplastic-Based Renewable Cellulose Acetate From Teak Wood (*Tectona grandis*) Biowaste Using Glycerol-Chitosan Plasticizer. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(4), 1810–1816. <https://doi.org/10.13005/ojc/3404014>
- Salim, R. M., Asik, J., & Sarjadi, M. S. (2021). Chemical Functional Groups of Extractives, Cellulose and

- Lignin Extracted From Native *Leucaena Leucocephala* Bark. *Wood Science and Technology*, 55(2), 295–313. <https://doi.org/10.1007/s00226-020-01258-2>
- Santhi, M., Arnata, I. W., & Wrasati, L. P. (2022). Isolasi Selulosa dari Serat Sabut Kelapa (*Cocos nucifera* L.) pada Variasi Suhu dan Waktu Proses Bleaching dengan Asam Perasetat. *Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 10(3), 248–258.
- Sayakulu, N. F., & Soloi, S. (2022). The Effect of Sodium Hydroxide (NaOH) Concentration on Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) Cellulose Yield. *Journal of Physics: Conference Series*, 2314(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2314/1/012017>
- Selpiana, Riansya, J. F., & Yordan, K. (2015). Pembuatan Plastik Biodegradable dari Tepung Nasi Aking. *Seminar Nasional Added Value of Energy Resources Avoer VII*, 130–138.
- Shaikh, H. M., Anis, A., Poulouse, A. M., Al-Zahrani, S. M., Madhar, N. A., Alhamidi, A., & Alam, M. A. (2021). Isolation and Characterization of Alpha and Nanocrystalline Cellulose from Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Trunk Mesh. *Polymers*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/polym13111893>
- Souhoka, F. A., & Latupeirissa, J. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Asetat (CA). *Indo. J. Chem. Res.*, 5(2), 58–62. <https://doi.org/10.30598//ijcr.2018.5-fen>
- Sumirat, R., Rosalinda, S., Mardawati, E., Nurliasari, D., & Kastaman, R. (2023). Tahapan Proses Produksi Dan Karakterisasi Bioplastik Dari Limbah Tongkol Jagung. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 23(4), 479–488. <https://doi.org/10.25181/jppt.v23i4.2691>
- Tausa, M. D. A. R., Sidi, P., & Primaningtyas, W. E. (2021). Pengaruh Variasi Perlakuan Alkali terhadap Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Eceng Gondok. *Conference on Design and Manufacture Engineering and Its Application*, 2654, 254–258.
- Tezcan, E., & Atici, O. G. (2017). Isolation of Cellulose and Hemicellulose by Using Alkaline Peroxide Treatment at Room Temperature from Wasted Fall Leaves. *Naturan and Engineering Sciences*, 1(1), 100–110. <https://doi.org/10.23959/sfddrj-1000002>
- Wolfs, J., Scheelje, F. C. M., Matveyeva, O., & Meier, M. A. R. (2023). Determination of The Degree of Substitution of Cellulose Esters Via ATR-FTIR Spectroscopy. *Journal of Polymer Science*, 61(21), 2697–2707. <https://doi.org/10.1002/pol.20230220>
- Wu, Y., Wu, J., Yang, F., Tang, C., & Huang, Q. (2019). Effect of H₂O₂ Bleaching Treatment on The Properties of Finished Transparent Wood. *Polymers*, 11(5), 1–13. <https://doi.org/10.3390/polym11050776>