

Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Ampas Sagu untuk Pembuatan Membran Mikrofilter

Nururrahmah Hammado^{1*} dan Desy Nurhasanah Sari²

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Syekh Yusuf Al Makassar Gowa, Indonesia; e-mail: nururrahmahhaddo@gmail.com

²Program Studi Kimia, Universitas Syekh Yusuf Al Makassar Gowa, Indonesia

ABSTRAK

Ampas sagu merupakan limbah padat hasil ekstraksi pati sagu yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber selulosa asetat untuk pembuatan membran mikrofilter ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan memperoleh selulosa asetat dari ampas sagu dan mengevaluasi karakteristik membran mikrofilter yang dihasilkan. Selulosa asetat diperoleh melalui proses delignifikasi, *bleaching*, dan asetilasi, kemudian difabrikasi menjadi membran dengan metode *inversi fasa* menggunakan variasi konsentrasi selulosa asetat 0,5 g, 0,7 g, dan 0,9 g. Penambahan filler rokok untuk memodifikasi dan meningkatkan sifat tertentu dari membran ampas sagu. Karakterisasi dilakukan menggunakan metode Van Soest, *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasil analisis menunjukkan bahwa perlakuan yang dilakukan meningkatkan kandungan selulosa hingga 30,50% serta menurunkan kadar lignin menjadi 5,15% dan hemiselulosa menjadi 14,50%. Spektrum FTIR menunjukkan hilangnya puncak lignin pada 1545,06 cm⁻¹ dan munculnya puncak karbonil pada 1796,29 cm⁻¹ yang mengindikasikan keberhasilan proses isolasi dan asetilasi selulosa. Analisis SEM memperlihatkan bahwa membran selulosa asetat ampas sagu yang dihasilkan memiliki struktur pori yang lebih terbuka, seragam, dan teratur. Berdasarkan hasil penelitian, ampas sagu berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku selulosa asetat untuk pembuatan membran mikrofilter berbasis biomassa yang ramah lingkungan.

Kata kunci: Ampas Sagu, Karakterisasi, Membran Mikrofilter, Selulosa Asetat, Sintesis

ABSTRACT

Sago pulp is a solid waste resulting from sago starch extraction that has the potential to be used as a source of cellulose acetate for the manufacture of environmentally friendly microfilter membranes. This study aims to obtain cellulose acetate from sago pulp and evaluate the characteristics of the resulting microfilter membrane. Cellulose acetate is obtained through delignification, bleaching, and acetylation processes, then fabricated into membranes using the phase inversion method using variations in cellulose acetate concentrations of 0.5 g, 0.7 g, and 0.9 g. The addition of cigarette fillers to modify and improve certain properties of the sago pulp membrane. Characterization was carried out using the Van Soest method, Fourier Transform Infrared (FTIR), and Scanning Electron Microscopy (SEM). The results of the analysis showed that the treatment increased the cellulose content to 30.50% and reduced the lignin content to 5.15% and hemicellulose to 14.50%. The FTIR spectrum shows the disappearance of the lignin peak at 1545.06 cm⁻¹ and the appearance of a carbonyl peak at 1796.29 cm⁻¹, indicating the success of the cellulose isolation and acetylation process. SEM analysis shows that the resulting sago pulp cellulose acetate membrane has a more open, uniform, and regular pore structure. Based on the research results, sago pulp has the potential to be used as a raw material for cellulose acetate for the manufacture of environmentally friendly biomass-based microfilter membranes.

Keywords: Sago Pulp, Characterization, Microfilter Membrane, Cellulose Acetate, Synthesis

Citation: Hammado, N., dan Sari, D. N. (2026). Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Ampas Sagu untuk Pembuatan Membran Mikrofilter. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(1), 128-135, doi:10.14710/jil.24.1.128-135

1. PENDAHULUAN

Sagu merupakan salah satu sumber pangan lokal yang memiliki kandungan karbohidrat tinggi, yaitu sekitar 84,7 g per 100 g sagu basah, sehingga berpotensi sebagai bahan pangan alternatif pengganti beras. Selain itu, sagu juga menghasilkan pati yang tidak tercerna sehingga baik untuk pencernaan (Nggobe, 2005). Selain menghasilkan pati sebagai

produk utama, proses ekstraksi pati sagu juga menghasilkan limbah padat dan cair dalam jumlah besar, berupa ampas sagu, kulit batang sagu, dan air cucian pati sagu. Proses ekstraksi pati sagu membutuhkan air dalam jumlah besar sehingga limbah cair yang dihasilkan umumnya langsung dibuang ke badan air, sedangkan limbah padat berupa ampas sagu hanya ditumpuk atau dibuang ke

lingkungan tanpa pengolahan lebih lanjut (Ngaini et al., 2018). Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan akibat tingginya kandungan bahan organik pada limbah sagu. Ampas sagu merupakan limbah padat terbesar dari proses ekstraksi pati sagu, yaitu sekitar 75–83% dari total biomassa batang sagu yang diolah (McClatchey et al., 2006). Ampas sagu masih mengandung komponen organik yang cukup tinggi, antara lain pati 65,7%, serat kasar 14,8%, dan kadar air 59,1% (Abd-Aziz, 2002). Selain itu, ampas sagu juga memiliki kandungan C-organik sebesar 33,01%, nitrogen total 1,66%, dan rasio C/N sebesar 20 yang menunjukkan bahwa limbah ini masih kaya akan biomassa lignoselulosa (Nururrahmah and Sudarno, 2018). Kandungan selulosa yang cukup tinggi pada ampas sagu menjadikannya berpotensi sebagai bahan baku biomaterial bernilai tambah, terutama dalam pengembangan material berbasis lignoselulosa yang ramah lingkungan.

Limbah yang dihasilkan dari proses ekstraksi pati sagu belum dimanfaatkan secara maksimal, bahkan air cucian pati sagu langsung dibuang ke badan air. Sedangkan ampas sagu ditumpuk hingga menjadi timbunan sampah, yang jika jumlahnya semakin banyak maka ampas sagu tersebut juga dialirkan masuk ke badan air atau dibuang ke lingkungan. Kandungan bahan organik yang masih cukup tinggi dari ampas sagu menjadi potensi besar untuk dimanfaatkan kembali sehingga memberi nilai tambah jika dibandingkan dengan membuang langsung ke lingkungan. Salah satu komponen yang dapat dimanfaatkan adalah kandungan selulosa yang masih terdapat dalam ampas sagu bahkan setelah proses ekstraksi. Granula pati terperangkap dalam bentuk lignoselulosa residu sagu dan bentuknya sama dengan bentuk pati dari tepung sagu (Abd-Aziz, 2002)

Salah satu produk turunan selulosa yang banyak dikembangkan saat ini adalah membran berbasis selulosa asetat. Membran memiliki peran penting dalam teknologi pemisahan, khususnya untuk pengolahan air, pemurnian limbah cair, industri pangan, farmasi, dan bioteknologi (Randhawa et al., 2022; Sueraya et al., 2024). Namun, sebagian besar membran komersial masih menggunakan bahan baku polimer sintesis seperti polisulfon dan poliakrilonitril yang berasal dari sumber tidak terbarukan, sulit terdegradasi, dan memiliki jejak karbon tinggi. Oleh karena itu, pengembangan membran berbasis biomassa terbarukan menjadi salah satu fokus penelitian untuk mendukung teknologi filtrasi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Selulosa asetat merupakan turunan selulosa hasil proses asetilasi yang banyak digunakan sebagai matriks membran karena memiliki kemampuan pembentukan film yang baik, bersifat hidrofilik,

biodegradable, biokompatibel, serta memiliki stabilitas mekanik dan ketahanan kimia yang cukup baik (Jaffar et al., 2022, Padhi et al., 2023). Material ini juga relatif mudah difabrikasi menjadi membran melalui metode inversi fasa sehingga banyak diaplikasikan pada membran ultrafiltrasi, nanofiltrasi, reverse osmosis, dan mikrofiltrasi.

Beberapa penelitian sebelumnya telah melaporkan keberhasilan isolasi selulosa maupun sintesis selulosa asetat dari ampas sagu (Dewi et al., 2017; Siswati et al., 2021,). Namun, penelitian tersebut umumnya masih berfokus pada proses ekstraksi dan karakterisasi kimia selulosa tanpa mengembangkan lebih lanjut menjadi produk membran fungsional. Penelitian terkait pemanfaatan selulosa asetat ampas sagu sebagai bahan dasar membran mikrofilter masih sangat terbatas, khususnya yang mengkaji hubungan antara konsentrasi selulosa asetat terhadap karakteristik morfologi membran yang dihasilkan. Selain itu, sebagian besar penelitian membran berbasis selulosa asetat masih menggunakan bahan baku komersial, sehingga pemanfaatan limbah agroindustri lokal seperti ampas sagu belum banyak dieksplorasi sebagai sumber biomassa alternatif untuk fabrikasi membran ramah lingkungan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini memiliki kebaruan pada pemanfaatan selulosa asetat yang berasal dari limbah ampas sagu sebagai bahan dasar pembuatan membran mikrofilter melalui metode inversi fasa dengan variasi konsentrasi selulosa asetat. Penelitian ini tidak hanya berfokus pada isolasi selulosa, tetapi juga mengembangkan biomassa limbah menjadi membran mikrofilter dan mengevaluasi karakteristiknya melalui analisis komposisi lignoselulosa, gugus fungsi, serta morfologi membran. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif pengembangan membran berbasis biomassa lokal yang lebih ramah lingkungan, berkelanjutan, dan bernilai tambah tinggi sekaligus mendukung pengurangan limbah agroindustri sagu.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan ampas sagu yang diperoleh dari Kota Palopo, Sulawesi Selatan. Ampas sagu yang digunakan adalah ampas sisa penyaringan pati sagu yang masih kondisi segar, dimana proses ekstraksi pati sagu masih berlangsung untuk menghindari dekomposisi kimiawi dari ampas sagu karena lama penyimpanan. Ampas sagu segar ditandai dengan penunjukan warna coklat kemerahan yang berangsur-angsur berubah warna menjadi ungu tua hingga kehitaman (Gambar 1).



Gambar 1. Limbah Sagu: (a) Ampas Sagu Kasar; (b) Ampas Sagu Halus

Bahan yang digunakan adalah natrium hidroksida, hidrogen peroksida, asam fosfat, asam asetat glasial, dietil eter, polietilen glikol, aseton, dan indikator universal yang digunakan dari Merck, dan filler dari punting rokok. Aquades (*Water One*), serta kertas saring Whatman 42. Alat yang digunakan untuk analisis dan karakterisasi adalah FTIR (Thermo Scientific Nicolet iS10) dengan jarak spektrum pengukuran dari 4000-400 cm^{-1} (SNI 19-4370-2004) untuk melihat perubahan gugus fungsi senyawa selulosa, dan *Scanning Electron Microscopy* (Tescan Vega LMU) untuk melihat perubahan morfologi selulosa ampas sagu.

2.2. Isolasi Selulosa dari Ampas Sagu

Preparasi Ampas Sagu. Ampas sagu basah yang langsung diambil setelah ekstraksi pati sagu kemudian dikeringanginkan selama 4 hari hingga ampas sagu menjadi kering. Ampas sagu yang kering kemudian dihaluskan menggunakan alat penghancur (Mitochiba CH200) kapasitas 2L untuk memperkecil ukuran pori dan memutuskan ikatan lignoselulosa ampas sagu (Kinney et al., 2012). Ampas sagu halus diseragamkan ukuran porinya menggunakan ayakan ukuran 100 mesh.

Delignifikasi. Delignifikasi ampas sagu dilakukan secara kimia menggunakan NaOH 15% (Hammado et al., 2020) dan aquades untuk memutuskan ikatan lignoselulosa dari ampas sagu. Ampas sagu sebanyak 50 gram ditambahkan dengan 800 mL aquades kemudian dimasak pada suhu 100°C selama 1 jam agar sampel ampas sagu menjadi bubur. Bubur ampas sagu selanjutnya didelignifikasi menggunakan larutan NaOH 15% dengan rasio 1:8 b/v pada suhu 100°C selama 2 jam. Proses delignifikasi menggunakan NaOH menghasilkan pH 13 kemudian bubur disaring menggunakan corong buchner dan di cuci kembali dengan menggunakan aquades hingga pH netral.

Bleaching. Bubur ampas sagu hasil delignifikasi kemudian ditambahkan H₂O₂ 3% sebanyak 600 mL dipanaskan pada suhu 60°C menggunakan hot plate yang dilengkapi dengan pengaduk magnetik dan diaduk selama 2 jam dengan kecepatan 500 rpm. Bubur ampas sagu di saring menggunakan corong buchner, di cuci dengan aquades sampai pH netral, kemudian dikeringanginkan sejenak untuk menghilangkan uap pelarut dan dilanjutkan dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C untuk memperoleh selulosa ampas sagu kering.

Ampas sagu hasil delignifikasi kemudian dianalisis kadar lignoselulosa menggunakan metode Van Soest (1970) dengan penggunaan H₂SO₄ 72% untuk melihat komposisi senyawa lignin, selulosa, dan hemiselulosa dari ampas sagu.

2.3. Asetilasi Selulosa

Asetilasi selulosa ampas sagu dilakukan dengan menggunakan metode Emil Heuser yaitu dengan asam fosfat sebagai katalis dan asam asetat glasial. Selulosa ampas sagu kering sebanyak 5 gram dilarutkan dengan H₃PO₄ 85% 100 mL kemudian diaduk selama 15 menit hingga homogen pada suhu ruang. Asam asetat glasial 98% sebanyak 80 mL kemudian ditambahkan ke dalam larutan selulosa ampas sagu dan diaduk selama 15 menit dengan kecepatan pengadukan 350 rpm dan ditambahkan dietil eter 70% sebanyak 10 mL. Campuran tersebut kemudian di saring menggunakan corong buchner. Filtrat yang diperoleh di cuci dengan aquades hingga netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 1 jam hingga diperoleh SA ampas sagu yang telah kering.

2.4. Pembuatan Membran

Selulosa asetat ampas sagu divariasikan dengan berat 0,5 g, 0,7 g, dan 0,9 g kemudian masing-masing dilarutkan dalam 15 mL aseton dalam gelas kimia dan ditutup menggunakan plastik. Larutan tersebut diaduk menggunakan pengaduk magnetik hingga SA larut dan homogen. Setelah larutan homogen, penutup plastik dibuka agar aseton menguap, kemudian ditambahkan PEG 400 sebanyak 1,5 mL dan filter rokok sebanyak 1,5g yang berfungsi sebagai perekat antar serbuk SA untuk membentuk membran SA yang padat kemudian diaduk hingga larutan homogen. Larutan kental yang terbentuk selanjutnya dicetak di atas pelat kaca dan dibiarkan sejenak di udara terbuka hingga pelarut menguap kemudian dimasukkan dan di rendam dalam air dingin agar membran yang terbentuk mudah terlepas dari pelat kaca. Membran SA ampas sagu yang terbentuk kemudian dikeringkan pada suhu ruang. Prosedur yang sama dilakukan untuk SA ampas sagu 0,5g; 0,7g dan 0,9g.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Lignoselulosa Ampas Sagu

Ampas sagu adalah salah satu limbah padat yang dihasilkan dari proses ekstraksi pati sagu yang masih banyak mengandung lignoselulosa. Tabel 1 menunjukkan komposisi lignoselulosa ampas sagu setelah proses ekstraksi dan delignifikasi. Proses delignifikasi ampas sagu menyebabkan terjadinya penurunan kadar lignin 1,15%, tetapi kadar selulosa mengalami peningkatan cukup tinggi 18,4%, sedangkan kadar hemiselulosa peningkatannya sekitar 1,58%. Komposisi senyawa lignoselulosa hasil penelitian menunjukkan bahwa proses delignifikasi dengan menggunakan NaOH mampu memecah senyawa lignin menjadi selulosa dan

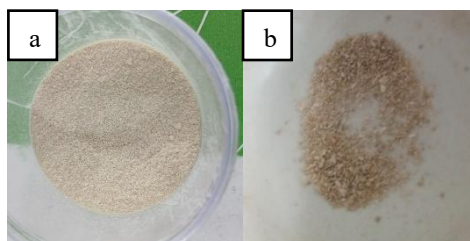
hemiselulosa ditinjau dari peningkatan kadar senyawa setelah delignifikasi.

Tabel 1. Komposisi Lignoselulosa Ampas Sagu

Senyawa	Komposisi (%)	
	Sebelum Perlakuan	Setelah Perlakuan
Lignin	6,30	5,15
Selulosa	12,10	30,50
Hemiselulosa	12,90	14,50

Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa perlakuan dengan senyawa kimia membuka struktur lignoselulosa untuk memudahkan reaksi asetilasi (Ethaib et al., 2024) dan dapat meningkatkan kadar selulosa hingga 60% (Ridho and Hendra, 2023). Proses delignifikasi diikuti dengan *bleaching* menggunakan pelarut H_2O_2 untuk menurunkan kandungan lignin hingga 5% dan menghilangkan sisa pigmen warna dari ampas sagu sehingga diperoleh selulosa ampas sagu yang berwarna putih (Arnata et al., 2019). Selain itu, proses *bleaching* juga dapat menyebabkan selulosa ampas sagu menjadi lebih murni (Nurmalasari et al., 2022), dan memperbesar reaktivitasnya terhadap reaksi asetilasi selanjutnya (Veeramachineni et al., 2016).

Peningkatan kadar selulosa setelah proses delignifikasi menunjukkan bahwa sebelum perlakuan menggunakan NaOH efektif dalam melarutkan sebagian lignin dan komponen non-selulosa lainnya sehingga fraksi selulosa menjadi lebih dominan. Namun demikian, peningkatan kadar hemiselulosa setelah perlakuan perlu mendapat perhatian karena secara umum hemiselulosa bersifat lebih mudah terdegradasi dibandingkan selulosa selama perlakuan menggunakan alkali.



Gambar 2. (a) Serbuk Selulosa; (b) Selulosa Asetat Ampas Sagu

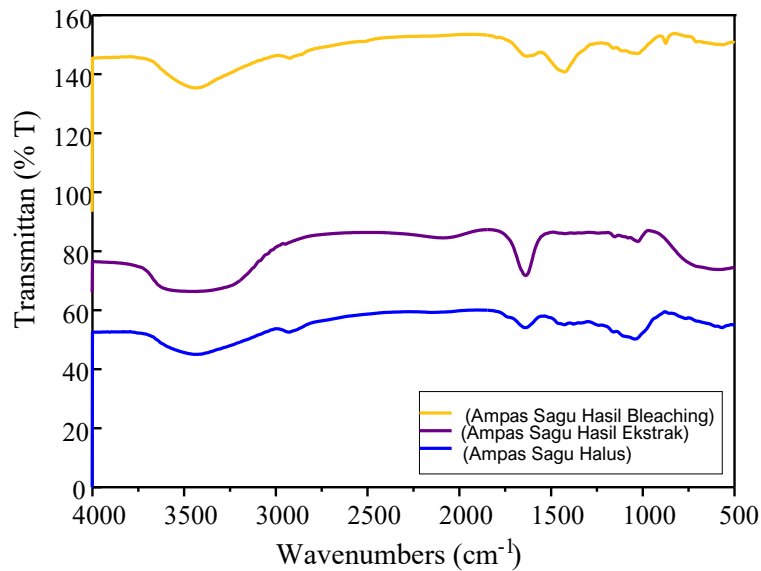
Proses asetilasi dalam pembuatan membran selulosa ampas sagu menggunakan asam asetat glasial dengan asam fosfat sebagai katalis. Selulosa ampas sagu yang diperoleh ditambahkan dengan asam asetat

glasial untuk mengubah gugus hidroksil pada rantai selulosa menjadi gugus asetil membentuk SA yang memiliki sifat hidrofobik dan lebih tahan air. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa hasil asetilasi selulosa ampas sagu menyebabkan daya serap air menurun dan kestabilan dimensi meningkat sehingga SA ampas sagu sangat baik untuk digunakan dalam pembuatan bioplastik atau membran filtrasi (Dewi et al., 2019). Selain itu proses asetilasi juga dapat meningkatkan stabilitas termal dan fleksibilitas mekanik, dan kekuatan daya tarik membran (Imran et al., 2025), serta meningkatkan kemampuan elastisitas dan transparansi membran, permukaan serat menjadi lebih halus dan seragam (Yacob et al., 2018).

3.2. Karakteristik Selulosa Ampas Sagu

Karakteristik selulosa ampas sagu yang dihasilkan dapat diketahui berdasarkan analisis FTIR untuk melihat perubahan gugus fungsi lignoselulosa ampas sagu akibat pretreatment. Gambar 3 menunjukkan analisis FTIR sebelum pretreatment dan setelah proses delignifikasi dan *bleaching*. Spektrum FTIR menunjukkan perbedaan karakteristik yang jelas antara senyawa lignin, selulosa dan hemiselulosa dengan menggambarkan perubahan kimia yang terjadi selama proses ekstraksi dan delignifikasi. Serapan yang dihasilkan sebelum dan setelah proses ekstraksi dan delignifikasi dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2.

Lignin adalah pelindung senyawa selulosa dan hemiselulosa dalam dinding sel tanaman yang harus dihilangkan karena dapat menutupi permukaan serat selulosa dan menurunkan jumlah gugus hidroksil yang diperlukan dalam pembentukan membran selulosa. Keberadaan lignin pada ampas sagu dapat dilihat pada puncak serapan 1545.06 pada ampas sagu sebelum perlakuan dan tidak ditemukan pada ampas sagu setelah delignifikasi dan *bleaching*. Sedangkan serapan pada rentang 1420-1450 cm^{-1} diperoleh puncak serapan pada masing-masing ampas sagu sebelum dan setelah perlakuan yang menunjukkan terjadinya perubahan bentuk pada gugus CH₂. Hal ini menunjukkan bahwa setelah proses delignifikasi dan *bleaching*, masih terdapat residu lignin pada sampel sehingga dapat mempengaruhi karakteristik permukaan membran selulosa ampas sagu yang terbentuk.



Gambar 3. Perbandingan Spektrum FTIR Ampas Sagu: (a). Sebelum Perlakuan; b. Setelah Delignifikasi; c. Setelah Pemutihan

Tabel 2. Spektrum FTIR Lignoselulosa Ampas Sagu Sebelum dan Sesudah Perlakuan

Panjang gelombang (Yacob et al., 2018)	Panjang Gelombang (cm ⁻¹)			Gugus Fungsional	Interpretasi
	Sebelum perlakuan	Setelah delignifikasi	Setelah bleaching		
3400 – 3450	3429.00	3450.62	3434.32	O-H regangan	hidroksi fenolik dan alkoholik
2840 - 2950	2928.22	2947.95	2924.32	C-H regangan	vibrasi alifatik CH ₂ dan CH ₃
1730 - 1800	-	-	1796.29	C=O regangan	gugus karbonil (ester)
1510 - 1600	1545.06	-	-	C=C aromatik	cincin aromatik lignin
1420 - 1450	1426.71	1423.76	1425.40	CH ₂ scissoring	CH ₂ deformasi
1215 - 1260	-	1240.61	-	C-O regangan	gugus ester asetat
1100 - 1160	1158.73	1152.92	1159.42	C-O-C asimetrik	ikatan β-1,4-glikosidik
1020 - 1040	1040.68	1026.53	1029.40	C-O regangan	ikatan glikosidik
870 - 898	-	-	874.66	C-H deformasi	Ikatan β-glikosidik tipe I

Hasil ini didukung oleh penelitian terdahulu yang menunjukkan puncak serapan khas untuk lignin pada rentang 1510–1600 cm⁻¹ dan 1420 cm⁻¹ yang menunjukkan vibrasi cincin aromatik (C=C) khas adanya senyawa fenolik (Siruru et al., 2019). Sedangkan residu lignin yang tidak dihilangkan dapat menyebabkan struktur membran menjadi tidak homogen, permukaan kasar, dan pori-pori tidak terbentuk dengan baik (Dewi et al., 2019). Pergeseran spektrum menunjukkan adanya perubahan pada lignoselulosa karena proses delignifikasi dan bleaching.

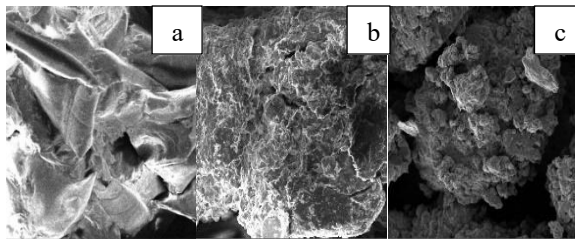
Selulosa ampas sagu menunjukkan pita serapan lebar pada rentang 3400-3450 cm⁻¹ yang berasal dari vibrasi regangan gugus hidroksil (-OH) antar dan intra-molekul (Yacob et al., 2018) dan terdapat pada seluruh sampel ampas sagu sebelum dan sesudah perlakuan. Hal ini menunjukkan bahwa semua sampel masih mengandung senyawa selulosa dan diperkuat dengan adanya puncak serapan pada rentang 2840-2950 cm⁻¹ yang merupakan regangan gugus C-H alifatik dari struktur glukopiranososa. Serapan juga terlihat pada rentang 1100-1160 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya ikatan C-O-C asimetrik dari rantai ikatan β-1,4-glikosidik yang

menghubungkan unit glukosa (Yacob et al., 2018). Sedangkan puncak serapan pada 1796.29 cm⁻¹ hanya terdapat pada ampas sagu hasil bleaching yang menandakan adanya senyawa hemiselulosa. Sebagaimana ditunjukkan bahwa keberadaan senyawa hemiselulosa dipertegas pada pita serapan 1240.61 cm⁻¹ pada ampas sagu hasil delignifikasi dan 874.66 cm⁻¹ pada ampas sagu setelah bleaching. Hal ini menunjukkan bahwa proses delignifikasi dengan menggunakan pelarut NaOH dan proses bleaching menggunakan H₂O₂ efektif menghilangkan sebagian besar lignin dari ampas sagu selama proses ekstraksi (Yacob et al., 2018, Hammado et al., 2020).

Munculnya puncak baru pada daerah serapan 1796.29 cm⁻¹ menjadi indikator terbentuknya selulosa asetat. Selain itu, menurunnya pita serapan gugus hidroksil (-OH) pada daerah 3200-3500 cm⁻¹ menunjukkan bahwa jumlah gugus hidroksil bebas pada selulosa berkurang akibat reaksi substitusi yang juga didukung dengan munculnya pita serapan pada daerah 1240.61 cm⁻¹ menandakan vibrasi regangan ikatan C-O pada gugus ester asetat. Munculnya pita serapan ini memperkuat terbentuknya selulosa asetat (Souhoka & Latupeirissa, 2018).

3.3. Membran Selulosa Asetat Ampas Sagu

Membran SA ampas sagu dibuat dengan metode *inversi fasa* dimana larutan SA ampas sagu dimasukkan ke dalam pelarut aseton yang sebelumnya ditambahkan pelarut polietilen glikol sebagai pembentuk pori, kemudian di cetak dan dicelupkan dalam koagulan non-pelarut dalam hal ini adalah air dingin. Proses ini dapat menyebabkan pemisahan fasa dan membantu terbentuknya struktur membran berpori. Analisis SEM digunakan untuk melihat perubahan morfologi permukaan ampas sagu sebelum perlakuan, setelah bleaching, asetilasi, dan morfologi permukaan membran SA ampas sagu yang terbentuk (Gambar 4). Morfologi ampas sagu sebelum perlakuan (Gambar 4a) memiliki permukaan yang lebih halus dan besar, strukturnya tidak beraturan, berbentuk telur, dan seperti lonceng (Hammado et al., 2020). Gambar 4b menunjukkan morfologi permukaan ampas sagu setelah proses *bleaching* dengan menggunakan H_2O_2 menjadi lebih kasar dan terbuka karena material pengikat lignoselulosa sudah hilang tetapi strukturnya masih berupa gumpalan besar. Proses *bleaching* yang dilakukan secara kimiawi dapat melarutkan dan menghilangkan residu lignin yang berwarna gelap sehingga membantu membuka struktur serat dan memperlihatkan serat selulosa yang lebih murni (Arnata et al., 2019).

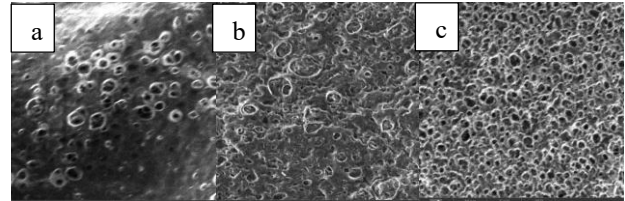


Gambar 4. SEM Ampas Sagu Perbesaran 1000x pada perlakuan berbeda: (a). Sebelum Perlakuan; (b) Setelah *Bleaching*; (c). Setelah Asetilasi

Perubahan morfologi ampas sagu setelah *bleaching* membantu memperluas permukaan serat sehingga memudahkan pelarut menembus dan bereaksi dengan gugus hidroksi selulosa pada tahap asetilasi (Asrizta et al., 2023). Gambar 4c menunjukkan morfologi permukaan ampas sagu hasil asetilasi menggunakan asam fosfat sebagai katalis dan asam asetat glasial sebagai agen substitusi gugus fungsi asetil. Proses asetilasi tidak hanya mengubah sifat kimia ampas sagu tetapi juga mengubah morfologi permukaan struktur SA ampas sagu (Siswati et al., 2021). Permukaan membran SA ampas sagu tidak rata, menjadi lebih kasar, tidak seragam, bergelombang, dan lebih menggumpal dibandingkan dengan morfologi selulosa ampas sagu hasil *bleaching*. Morfologi permukaan SA ampas sagu yang kasar dan tidak beraturan setelah proses asetilasi menjadi indikator yang menunjukkan bahwa sintesis SA ampas sagu berhasil terbentuk (Dewi et al., 2019).

Gambar 5 menunjukkan morfologi permukaan membran SA pada berbagai variasi konsentrasi

penambahan selulosa ampas sagu. Membran SA ampas sagu yang disintesis menunjukkan karakteristik yang unik dan dipengaruhi oleh sumber selulosa bahan organik yang digunakan. Gambar 5a menunjukkan pori yang lebih besar dan lebih kasar, serta tidak seragam. Gambar 5b menunjukkan morfologi permukaan yg sedikit lebih seragam tetapi porinya masih besar, sedangkan Gambar 5c morfologi permukaan lebih seragam, kecil dan lebih teratur.



Gambar 5. SEM Membran Selulosa Asetat Ampas Sagu Perbesaran 1000x pada Konsentrasi Berbeda: (a). 0,5g; (b) 0,7g; (c). 0,9g

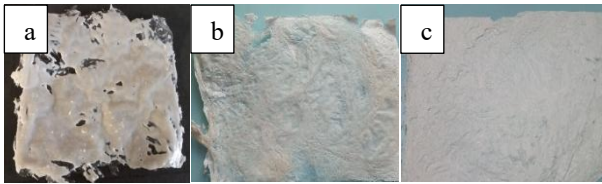
Pada konsentrasi selulosa asetat yang lebih rendah (0,5 g), struktur membran cenderung memiliki pori yang lebih besar, tidak seragam, dan distribusi rongga yang lebih terbuka. Kondisi ini terjadi karena larutan polimer memiliki kekentalan yang relatif rendah sehingga pertukaran antara pelarut dan non-pelarut berlangsung lebih cepat saat proses koagulasi. Pertukaran yang cepat tersebut menyebabkan terjadinya pemisahan fasa yang terjadi sangat cepat pada saat dicelupkan ke dalam bak koagulasi sehingga menghasilkan struktur pori yang lebih besar, terbuka, dan asimetri.

Membran selulosa asetat konsentrasi 0,7 g dan 0,9 g memiliki morfologi yang lebih padat dengan ukuran pori yang lebih kecil dan distribusi pori lebih homogen. Peningkatan konsentrasi polimer menyebabkan kekentalan larutan meningkat sehingga difusi pelarut dan non-pelarut menjadi lebih lambat. Kondisi ini memperlambat proses pemisahan fasa dan menghasilkan struktur membran yang lebih rapat serta lapisan permukaan yang lebih tebal. Selain itu, meningkatnya jumlah rantai polimer menyebabkan interaksi antarmolekul semakin kuat sehingga pembentukan rongga besar pori membran dapat ditekan (Asiri et al., 2021).

Membran selulosa asetat ampas sagu yang berhasil disintesis ditunjukkan pada Gambar 6. Proses delignifikasi dan *bleaching* menghasilkan selulosa ampas sagu menjadi putih dan kandungan lignin berkurang. Proses perlakuan dengan menambahkan PEG dan filler dari puntung rokok menyebabkan permukaan membran menjadi lebih halus dan pori lebih teratur. Penambahan filler rokok ke dalam matriks membran selulosa asetat ampas sagu berfungsi sebagai bahan pengisi untuk memodifikasi atau meningkatkan sifat membran ampas sagu. Penambahan filler tidak mempengaruhi bentuk struktur utama membran, melainkan hanya terdispersi di dalam matriks polimer untuk meningkatkan karakteristik tertentu, antara lain:

meningkatkan kekuatan mekanik, stabilitas termal, sifat antibakteri, atau meningkatkan fluks dan antifouling membran ampas sagu (Asiri et al., 2021).

Gambar 6a menunjukkan morfologi permukaan membran SA ampas sagu yang lebih kasar dan porinya lebih besar dibandingkan dengan gambar 6b dan 6c.



Gambar 6. Membran Selulosa Asetat Ampas Sagu pada Konsentrasi Berbeda: (a). 0,5g; (b) 0,7g; (c). 0,9g

Berdasarkan hasil sintesis, diperoleh morfologi permukaan membran SA ampas sagu yang paling bagus adalah dengan penambahan filler SA ampas sagu sebanyak 0,9gram karena permukaan lebih halus dan pori lebih kecil, teratur, dan seragam sehingga lebih baik digunakan sebagai membran mikrofilter untuk. Keunikan morfologi permukaan membran SA ampas sagu yang lebih halus dan porinya teratur menyebabkan salah satu peluang besar dan berkelanjutan di masa depan untuk pembuatan membran dalam berbagai aplikasi penggunaan.

4. KESIMPULAN

Ampas sagu terbukti berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber selulosa untuk pembuatan membran mikrofilter berbasis selulosa asetat melalui proses delignifikasi, bleaching, asetilasi, dan fabrikasi membran dengan metode inversi fasa. Hasil analisis lignoselulosa menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kandungan selulosa hingga 30,50%, serta penurunan kadar lignin menjadi 5,15% dan hemiselulosa menjadi 14,50%. Karakterisasi FTIR menunjukkan keberhasilan proses asetilasi selulosa yang ditandai dengan hilangnya puncak lignin pada $1545,06\text{ cm}^{-1}$ serta munculnya puncak karbonil (C=O) pada $1796,29\text{ cm}^{-1}$. Analisis morfologi menggunakan SEM memperlihatkan bahwa membran yang dihasilkan memiliki struktur pori yang lebih terbuka, lebih kecil, lebih seragam, dan lebih teratur seiring meningkatnya konsentrasi selulosa asetat dari 0,5 g menjadi 0,9 g. Perubahan morfologi menunjukkan bahwa konsentrasi selulosa asetat berpengaruh terhadap struktur permukaan membran yang berpotensi memengaruhi kinerja filtrasi membran mikrofilter. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa limbah ampas sagu dapat dikembangkan menjadi bahan baku membran mikrofilter berbasis biomassa yang ramah lingkungan dan berpotensi diaplikasikan dalam teknologi pengolahan air. Penelitian selanjutnya perlu difokuskan pada pengujian kinerja membran, seperti fluks, rejeksi, dan kemampuan penyisihan kontaminan pada pengolahan air baku maupun air limbah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi Sains dan Teknologi dan Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan yang telah memfasilitasi penelitian dan penulisan artikel ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Universitas Syekh Yusuf Al Makassar Gowa dan seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas dukungan dan bantuannya hingga seluruh proses penelitian ini selesai dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd-Aziz, S. 2002. Sago Starch and its Utilisation. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 94, 526-529.
- Arnata, I. W., Fahma, F., Richana, N. & Sunarti, T. C. 2019. Cellulose Production from Sago Frond with Alkaline Delignification and Bleaching on Various Types of Bleach Agents. *Oriental Journal of Chemistry*, 35, 8-19.
- Asiri, A. M., Petrosino, F., Pugliese, V., Khan, S. B., Alamry, K. A., Alfifi, S. Y., Marwani, H. M., Alotaibi, M. M., Algieri, C., & Chakraborty, S. 2021. Synthesis and characterization of blended cellulose acetate membranes. *Polymers*, 14(1), 4.
- Asriza, R. O., Nurhadini, N. & Arkan, F. 2023. Synthesis and Characterization of Cellulose Acetate from α -Cellulose of Paper Waste. *IJFAC (Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry)*, 8, 82-87.
- Dewi, A. M. P., Kusumaningrum, M. Y., Edowai, D. N., Pranoto, Y. & Darmadji, P. 2017. Ekstraksi dan Karakterisasi Selulosa Dari Limbah Ampas Sagu. *Prosiding SNST Fakultas Teknik*, 1.
- Dewi, A. M. P., Pranoto, Y., Edowai, D. N. & Tethool, E. F. 2019. Effect of Acetylation Method on Characterization of Cellulose Acetate based Sago "hampas". *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 10, 785-791.
- Ethaib, S., Omar, R., Mustapa Kamal, S. M. & Awang Biak, D. R. 2024. Comparison of sodium hydroxide and sodium bicarbonate pretreatment methods for characteristic and enzymatic hydrolysis of sago palm bark. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 46, 7274-7284.
- Hammado, N., Utomo, S. & Budiyo. 2020. Characteristic Lignocellulose of Sago Solid Waste for Biogas Production. *Journal of Applied Engineering Science*, 18.
- Imran, A. I., Siregar, J. P., Palanisamy, S., Cionita, T., Fitriyana, D. F., Dewi, R., Laksmo, J. A., Roseno, S., Mausam, K. & Sankar, S. L. 2025. Exploring the Potential of Sago Residue for Eco-Friendly Construction Materials. *BioResources*, 20.
- Jaffar, S. S., Saallah, S., Misson, M., Siddiquee, S., Roslan, J., Saallah, S. & Lenggoro, W. 2022. Recent development and environmental applications of nanocellulose-based membranes. *Membranes*, 12, 287.
- Kinney, T., Masiello, C., Dugan, B., Hockaday, W., Dean, M., Zygourakis, K. & Barnes, R. 2012. Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures. *Biomass and Bioenergy*, 41, 34-43.
- Mcclatchey, W., Manner, H. I. & Elevitch, C. R. 2006. *Metroxylon amicarum, M. paulcoxii, M. sago, M. salomonense, M. vitiense, and M. warburgii (sago palm). Traditional Trees of Pacific Islands: Their Culture, Environment, and Use. Permanent Agricultural Resources, Honolulu, Hawaii*, 491-512.

- Hammado, N., dan Sari, D. N. (2026). Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Ampas Sagu untuk Pembuatan Membran Mikrofilter. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(1), 128-135, doi:10.14710/jil.24.1.128-135
- Ngaini, Z., Noh, F. & Wahy, R. 2018. Facile sorbent from esterified cellulosic sago waste for engine oil removal in marine environment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15, 341-348.
- Nggobe, M. A The Utilizing by Product of Sago as Feed for Poultry in Papua. Eight International Sago Symposium in Jayapura, Indonesia. Japan Society for the Promotion Science, 2005.
- Nurmalasari, N., Lestari, S. J., Syamsuddin, M., Sukarti, S. & Alam, M. N. 2022. Thermal Stability Analysis of Cellulose From Sago Fiber Waste (Metroxylon sago). *EduChemia: Jurnal Kimia dan Pendidikan*, 7, 182-192.
- Nururrahmah, H. & Sudarno, U. Physicochemical Characteristic of Sago Hampas and Sago Wastewater in Luwu Regency. *E3S Web of Conferences*, 2018. EDP Sciences, 07007.
- Padhi, S., Singh, A. & Routray, W. 2023. Nanocellulose from agro-waste: a comprehensive review of extraction methods and applications. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 22, 1-27.
- Randhawa, A., Dutta, S. D., Ganguly, K., Patil, T. V., Patel, D. K. & Lim, K.-T. 2022. A review of properties of nanocellulose, its synthesis, and potential in biomedical applications. *Applied Sciences*, 12, 7090.
- Ridho, M. & Hendra, A. Utilization of Sago Solid Waste for Bioethanol Production With Variation of Sago Solid Waste-Solvent Ratio and Pre-treatment Time. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2023. IOP Publishing, 012034.
- Siruru, H., Syafii, W., Wistara, I. N. J. & Pari, G. 2019. Characteristics of sago pith and sago bark waste from Seram Island, Maluku, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 20.
- Siswati, N. D., Wachidah, A. N. & Ariyani, A. E. P. 2021. Selulosa asetat dari ampas sago. *Jurnal Teknik Kimia*, 15, 90-94.
- Souhoka, F. A., & Latupeirissa, J. 2018. Sintesis dan karakterisasi selulosa asetat (CA). *Indonesian Journal of Chemical Research*, 5(2), 58-62.
- Sueraya, A. Z., Rahman, M. R., Kanakaraju, D., Said, K. A. M., James, A., Othman, A.-K. B., Bakri, M. K. B. & Uddin, J. 2024. A comprehensive review on nanocellulose-based membranes: methods, mechanism, and applications in wastewater treatment. *Polymer Bulletin*, 81, 7519-7549.
- Veeramachineni, A. K., Sathasivam, T., Muniyandy, S., Janarthanan, P., Langford, S. J. & Yan, L. Y. 2016. Optimizing extraction of cellulose and synthesizing pharmaceutical grade carboxymethyl sago cellulose from malaysian sago pulp. *Applied Sciences*, 6, 170.
- Yacob, N., Yusof, M., Ainun, Z. & Badri, K. Effect of cellulose fiber from sago waste on properties of starch-based films. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. IOP Publishing, 012028.