



ARTIKEL PENELITIAN

Sintesis selulosa asetat dari limbah daun nanas memanfaatkan DES ChCl-OA untuk meningkatkan ekstraksi selulosa sebagai bahan filter masker kain

Puji Nurhidayah¹ and Anggun Puspitarini Siswanto^{1,*}

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Jl. Prof Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, 50275, Indonesia

Disubmit 11 Mei 2024; direvisi 22 Juli 2024; diterima 20 Agustus 2024



OBJECTIVES Cellulose acetate is an organic compound formed by substituting hydroxyl groups on cellulose with acetyl groups. This compound has potential as a raw material for mask filters. A Pineapple (*Ananas comosus*) leaves are a source of high cellulose content, approximately 69.5–71.5%. To isolate cellulose from pineapple leaves, this research uses deep eutectic solvent of choline chloride-oxalic acid dihydrate (DES ChCl-OA) as delignification material. **METHODS** The research stages included the preparation of pineapple leaves and DES ChCl-OA, cellulose isolation, testing cellulose concentration, cellulose acetate synthesis, cellulose acetate characterization, filter manufacture, and filter characterization tests. The synthesis of cellulose acetate is carried out by reacting the cellulose compound with acetic anhydride. The research results were processed using the graphic method and the one-way analysis of variance or ANOVA method to determine the characteristics of cellulose acetate. **RESULTS** Pineapple leaf cellulose prepared using DES ChCl-OA showed the ability to isolate around 57.38% of the total cellulose contained in pineapple leaf fiber. Furthermore, the cellulose isolate was acetylated using acetic anhydride with certain experimental variations. It produced the best cellulose acetate for making filters with a yield of between 79.6–80.6%, acetyl content of around 40.74–40.96%, and DS (Degree of Substitution) of 2.56. Variable acetic anhydride of 17.5 mL and acetylation time of 1.5 hours gave the best results. **CONCLUSIONS** Modifi-

cations to the pineapple leaf waste fiber preparation process using DES ChCl-OA were proven to be effective and efficient in isolating cellulose compounds. The results of this research were proven to provide better results than previous studies which isolated pineapple leaf cellulose using other methods.

KEYWORDS cellulose acetate; DES ChCl-OA; filter; pineapple leaves

TUJUAN Selulosa asetat adalah senyawa organik yang terbentuk dari substitusi gugus hidroksil pada selulosa dengan gugus asetil. Senyawa ini memiliki potensi sebagai bahan baku untuk filter masker. Daun nanas (*Ananas comosus*) merupakan sumber bahan yang mengandung kadar selulosa yang tinggi, sekitar 69,5–71,5%. Untuk mengisolasi selulosa dari daun nanas, penelitian ini menggunakan pelarut eutektik dari kolin klorida/asam oksalat dihidrat—yang disebut dengan DES ChCl-OA atau *deep eutectic solvent of choline chloride-oxalic acid dihydrate*—sebagai bahan pendelignifikasi. **METODE** Tahapan penelitian meliputi persiapan daun nanas dan DES ChCl-OA, isolasi selulosa, pengujian kadar selulosa, sintesis selulosa asetat, karakterisasi selulosa asetat, pembuatan filter, serta uji karakterisasi filter. Sintesis selulosa asetat dilakukan dengan mereaksikan senyawa selulosa dengan anhidrida asetat. Hasil penelitian diolah menggunakan metode grafik dan metode *analysis of variance* atau ANOVA satu arah untuk mengetahui karakterisasi selulosa asetat. **HASIL** Selulosa daun nanas hasil preparasi menggunakan DES ChCl-OA menunjukkan kemampuan untuk mengisolasi sekitar 57,38% dari total selulosa yang terkandung dalam serat daun nanas. Selanjutnya, isolat selulosa tersebut diasetilasi menggunakan anhidrida asetat dengan variasi percobaan tertentu, dan menghasilkan selulosa asetat terbaik untuk pembuatan filter dengan *yield* antara 79,6–80,6%, kadar asetil sekitar 40,74–40,96%, dan DS (*Degree of Substitution*) sebesar 2,56. Variabel anhidrida asetat sebanyak 17,5 mL dan waktu asetilasi selama 1,5 jam memberikan hasil terbaik. **KESIMPULAN** Modifikasi pada proses persiapan serat limbah daun nanas menggunakan DES ChCl-OA terbukti efektif dan efisien dalam mengisolasi senyawa selulosa. Hasil penelitian ini terbukti memberikan hasil lebih baik daripada penelitian-

*Korespondensi: anggun.siswanto@live.undip.ac.id

penelitian sebelumnya yang mengisolasi selulosa daun nenas dengan metode lain.

KATA KUNCI daun nenas; DES ChCl-OA; filter; selulosa asetat

1. PENDAHULUAN

Serat alam telah menjadi fokus penelitian yang menarik dalam beberapa tahun terakhir karena sifatnya yang dapat diperbaharui, ramah lingkungan, dan *biodegradable*. Salah satu sumber serat alam yang potensial adalah daun nenas (*Ananas comosus*), yang merupakan limbah biomassa yang melimpah dari industri pengolahan nenas. Diperkirakan, sekitar 50-60% dari total panen nenas menghasilkan limbah daun yang tidak termanfaatkan. Limbah daun nenas ini umumnya dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA) atau dibakar, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Purwanto dkk. 2018). Padahal, daun nenas memiliki potensi yang besar untuk diolah menjadi berbagai produk bernilai ekonomis, salah satunya adalah selulosa.

Daun nenas (*Ananas comosus*) merupakan sumber bahan yang mengandung kadar selulosa yang tinggi, sekitar 69,5-71,5% yang mudah didapat dan diolah (Hidayat 2008). Selulosa memiliki sifat-sifat menarik seperti kekuatan tarik yang tinggi, kekakuan, dan stabilitas termal. Oleh karena sifat fisiknya yang kuat, selulosa daun nenas dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan filter masker kain. Penggunaan masker kain pun kita ketahui telah meningkat pesat dalam beberapa tahun terakhir, terutama selama pandemi COVID-19.

Diketahui dari Egot dan Alguno (2018), selulosa dapat diambil dari limbah daun nenas dan diolah menjadi selulosa asetat. Selulosa asetat ini merupakan senyawa turunan selulosa yang sering dimanfaatkan dalam pembuatan produk tekstil, plastik, pelapis kertas, film, dan membran. Pengambilan selulosa daun nenas tersebut dilakukan dengan metode *alkaline treatment* menggunakan larutan sodium hidroksida dan *bleaching treatment* menggunakan larutan bufer asetat serta sodium klorit, sementara pengolahannya menjadi selulosa asetat melalui proses asetilasi yang berlangsung antara 8-32 jam. Amraini dkk. (2020) juga membuktikan selulosa hasil isolasi dari daun nenas dengan metode yang sa-



GAMBAR 1. Serbuk daun nenas kering.



GAMBAR 2. Pembuatan DES ChCl-OA.

ma berpotensi digunakan sebagai bahan baku pembuatan filter untuk masker kain.

Walaupun sudah banyak cara pengolahan daun nenas agar bisa diambil selulosanya, cara-cara tersebut justru masih kurang ramah lingkungan sehingga alasan untuk menggunakan selulosa daun nenas sebagai bahan organik dalam pembuatan filter masker menjadi kurang sesuai. Dikutip dari Sumiati dkk. (2021), cara pengambilan selulosa dari daun nenas dapat dilakukan secara efisien dengan menggunakan *deep eutectic solvent* (DES). DES atau *deep eutectic solvent* adalah pelarut yang digunakan untuk menghilangkan ikatan lignin dan hemiselulosa, serta menurunkan kristalinitas selulosa pada proses pretreatment. Pelarut ini memiliki sifat *biocompatible*, volatilitas yang rendah, jangkauan cairan yang luas, mudah disintesis, dan tidak beracun.

Hasil penelitian Sumiati dkk. (2021) menunjukkan bahwa *deep eutectic solvent choline chloride-formic acid* (DES ChCl-FA) adalah yang paling efektif dalam mengisolasi selulosa. Berdasarkan penelitian terkait yang dilakukan oleh Jianting dkk. (2020) dan Zargar dkk. (2021), *deep eutectic solvent choline chloride-oxalic acid dihydrate* (DES ChCl-OA) yang merupakan bahan yang lebih ramah lingkungan juga terbukti mampu mengisolasi selulosa dari ligninnya. Hingga saat ini, belum ada penelitian yang menerapkan penggunaan DES ChCl-OA untuk mengisolasi selulosa dari daun nenas dan mengubahnya menjadi selulosa asetat sebagai bahan filter. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pembuatan dan karakterisasi selulosa asetat dari limbah daun nenas yang telah dimodifikasi dengan DES ChCl-OA sebagai bahan filter pada masker kain.

2. METODE PENELITIAN



GAMBAR 3. Isolat selulosa serat daun nanas dengan DES ChCl-OA.

2.1 Bahan penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah limbah daun nanas madu dari Pemalang; akuades dari Laboratorium Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, Semarang (kemurnian 99%); kolin klorida dari Indrasari Lab, Semarang (kemurnian 99%); asam oksalat dihidrat dari Indrasari Lab, Semarang (kemurnian 98%); natrium hidroksida (NaOH) 17,5% dan 0,25 M dari Laboratorium Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, Semarang; asam asetat (CH_3COOH) 10% dari Laboratorium Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, Semarang; etanol 96% dari Laboratorium Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, Semarang; asam sulfat (H_2SO_4) pekat dari Laboratorium Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, Semarang; asam asetat glasial dari Indrasari Lab, Semarang (kemurnian 99%); anhidrida asetat dari Indrasari Lab, Semarang (kemurnian 99%); asam klorida (HCl) 0,25 M dari Laboratorium Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, Semarang; indikator phenolphthalein (PP) dari Laboratorium Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, Semarang; aseton dari Laboratorium Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, Semarang; polietilen glikol (PEG) 4000 murni dari Indrasari Lab, Semarang; aluminium foil; dan selotip.



GAMBAR 4. Hasil asetilasi selulosa daun nanas (dari paling kiri ke kanan: sampel dengan rasio anhidrida asetat terhadap selulosa 2:1; 2,7:1; 3,4:1).

2.2 Alat penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan gelas beker, gelas ukur, kaca arloji, labu takar, labu leher tiga, erlenmeyer, baskom, pisau, nampan, blender, pengaduk magnetik dan barnya, stopwatch, desikator, sendok reagen, neraca digital, inkubator, hot plate, termometer, kertas saring, corong kaca, cawan porselin, oven, kaca arloji, batang pengaduk kaca, kertas pH, pipet tetes, buret, statif dan klem, serta pelat kaca.

2.3 Prosedur penelitian

2.3.1 Persiapan serat daun nanas

Limbah daun nanas seberat sekitar 500 gram disiapkan dan dibersihkan dengan air. Kemudian, daun nanas dikeringkan di udara terbuka selama 5 hari. Daun kering dipotong-potong menjadi bagian kecil dan dihaluskan hingga berbentuk bubuk menggunakan blender.

2.3.2 Persiapan serat daun nanas dan DES ChCl-OA

Bubuk padatan kolin klorida 400 gram dan asam oksalat dihidrat 400 gram disiapkan dan dimasukkan ke dalam gelas beker. Bahan tersebut dipanaskan pada suhu 90°C sambil diaduk hingga membentuk cairan DES yang kental atau tidak berwarna. Terakhir, DES yang terbentuk didinginkan menggunakan desikator.

2.3.3 Isolasi selulosa daun nanas

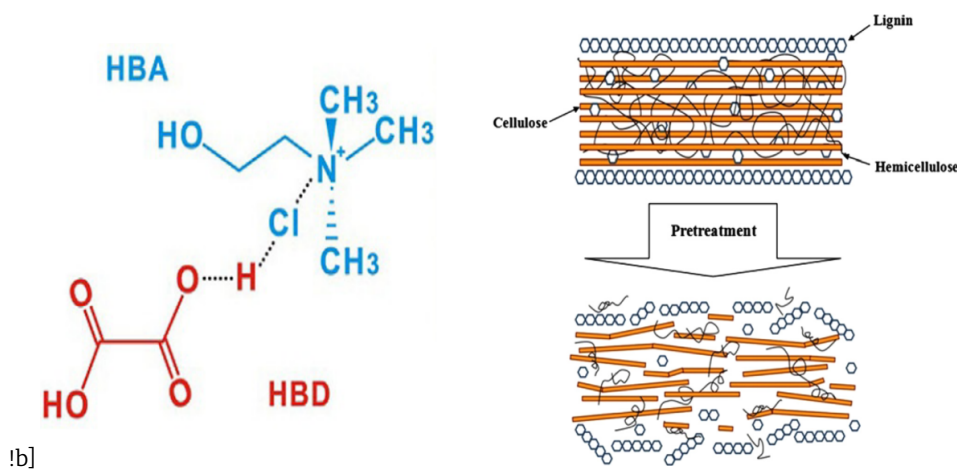
Bubuk daun nanas dan DES ChCl-OA dicampurkan di dalam gelas beker dengan perbandingan berat 1:10. Kemudian, campuran tersebut dipanaskan dengan pengaduk magnetik dan barnya dan diinkubasi di dalam inkubator selama 6 jam pada suhu 90°C . Selanjutnya, air panas ditambahkan ke campuran tadi sambil terus diaduk dengan batang pengaduk kaca, lalu campuran dibiarkan hingga terbentuk endapan. Setelah itu, endapan tersebut dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C hingga beratnya konstan.

2.3.4 Sintesis selulosa asetat

Selulosa dari hasil tahap sebelumnya disiapkan masing-masing 5 gram. Setiap sampel selulosa dipindahkan ke dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan pengaduk magnetik, pendingin balik, dan termometer, lalu ditambahkan 12 mL asam asetat glasial ke labu tersebut dan diaduk selama 1



GAMBAR 5. Membran filter selulosa asetat.



GAMBAR 6. Senyawa DES ChCl-OA (kiri) dan skema delignifikasi (kanan) (Liu dkk. 2017; Mood dkk. 2013).

jam menggunakan pada suhu 40°C. Tahap berikutnya, ditambahkan 20 mL asam asetat glasial dan 0,088 mL H₂SO₄ pekat ke dalam campuran, kemudian diaduk selama 45 menit pada suhu yang sama. Setelah itu, campuran didinginkan hingga suhu 18°C. Pada langkah selanjutnya, anhidrida asetat dengan suhu 15°C ditambahkan ke sampel dengan volume yang bervariasi (10; 13,5; 17 mL), diikuti dengan penambahan 0,612 mL H₂SO₄ pekat, lalu diaduk dengan waktu percobaan yang berbeda (0,5; 1; 1,5 jam). Setelah itu, 20 mL asam asetat glasial dan 10 mL akuades ditambahkan, lalu campuran diaduk selama 1 jam. Setelah proses pengadukan selesai, endapan selulosa asetat yang terbentuk ditambahkan akuades sambil diaduk. Kemudian, endapan dicuci hingga mencapai pH netral, dan dikeringkan dalam oven pada suhu 50-60°C hingga beratnya mencapai nilai konstan.

2.3.5 Pembuatan filter

Lembar filter dibuat dari campuran 3,8 mL aseton, selulosa asetat sebanyak 0,874 gram, PEG dengan konsentrasi 5% sebanyak 0,19 gram, dan akuades 1% sebanyak 0,038 mL. Penga-

dukan dilakukan menggunakan pengaduk magnetik selama kurang lebih 6 jam sampai semua polimer larut. Setelah itu, campuran dibiarkan mendingin selama 1 malam hingga gelembung udara yang terbentuk hilang. Selanjutnya, cetakan pelat kaca disiapkan dan dilapisi dengan selotip. Larutan dari langkah sebelumnya dituangkan ke permukaan cetakan, kemudian dibiarkan selama 15 menit agar pelarut menguap. Pelat kaca beserta membran filter yang menempel di dalamnya dimasukkan ke dalam bak berisi air suhu ±60°C selama 45 menit. Setelah itu, membran filter dilepas dari cetakan dan dicuci menggunakan akuades.

2.3.6 Uji kadar selulosa

Uji kadar selulosa mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Souhoka & Latupeirissa (2018). Kadar selulosa dihitung dengan membandingkan massa bubuk selulosa yang didapat dengan massa sampel sebelum dilakukan tahap isolasi selulosa. Berikut rumus perhitungan kadar selulosa (Persamaan 1):

TABEL 1. Daftar penelitian untuk isolasi selulosa daun nenas dengan berbagai bahan pengisolasi.

No.	Bahan Pengisolasi	Hasil Penelitian	Sumber
1	DES ChCl asam malat-gliserol	Rendemen selulosa yang didapatkan mencapai 48,2% dari total berat kering daun nenas dengan kemurnian hingga 92,3% dari berat kering daun nenas.	(Rahayu dkk. 2021)
2	DES ChCl: asam asetat, asam format, asam laktat, asam sitrat, gliserol, etilenglikol, sorbitol, dan urea	Penelitian ini menunjukkan bahwa kadar selulosa terisolasi tertinggi terjadi pada DES dengan HBD asam format dengan nilai 53,5%.	(Sumiati dkk. 2021)
3	CH ₃ COOH 80%, NaClO ₂ 1,7%, H ₂ O ₂ 5%, dan H ₂ SO ₄ 64%	Nanoselulosa yang diperoleh memiliki kristalinitas yang tinggi (70%) dengan rendemen selulosa sebanyak 32,4%.	(Lim dkk. 2022)
4	DES ChCl betaine-gliserol	Rendemen selulosa yang didapatkan mencapai 45,6% dari total berat kering daun nenas dengan kemurnian hingga 90,2% dari berat kering daun nenas.	(Makhijani dkk. 2022)
5	CH ₃ COOH 80%, NaClO ₂ 1,7%, dan asam sitrat 0,1 M	Metode ekstraksi selulosa nanokristal dari daun nenas menggunakan bantuan gelombang microwave menghasilkan rendemen selulosa 27,4% dengan kristalinitas lebih dari 80%.	(Saha dkk. 2023)

TABEL 2. Klasifikasi selulosa asetat berdasarkan nilai DS (Gaol dkk. 2013).

Derajat Substitusi	Kandungan Asetil	Pelarut Lazim	Penggunaan
0,6-0,9	13-18,6%	Air	-
1,2-1,9	22,2-32,2%	2-metoksi-etanol	Plastik, cat laker
2,0-2,8	36,5-42,2%	Aseton	Benang, film topografi, membran
2,8-3,9	43,0-44,8%	Kloroform	Kain, pembungkus benang

TABEL 3. Hasil Perhitungan Yield dengan Rasio Anhidrida Asetat.

Percobaan	Yield (%)			F hitung	F critical
	2:1	2,7:1	3,4:1		
1	83,8	70,8	70,6	273	9,5521
2	84,4	72	71,4		

TABEL 4. Hasil perhitungan kadar asetil dan DS dengan rasio anhidrida asetat terhadap selulosa.

Variabel	Kadar Asetil	Derajat Substitusi	F hitung	F critical
2:1	31,50%	1,71	316,33	9,5521
	30,75%	1,66		
2,7:1	37,95%	2,27		
	38,16%	2,29		
3,4:1	38,70%	2,34		
	38,49%	2,32		

$$\text{Kadar selulosa} = \frac{\text{Massa bubuk selulosa kering}}{\text{Massa sampel kering}} \times 100\% \quad (1)$$

2.3.7 Uji yield selulosa asetat

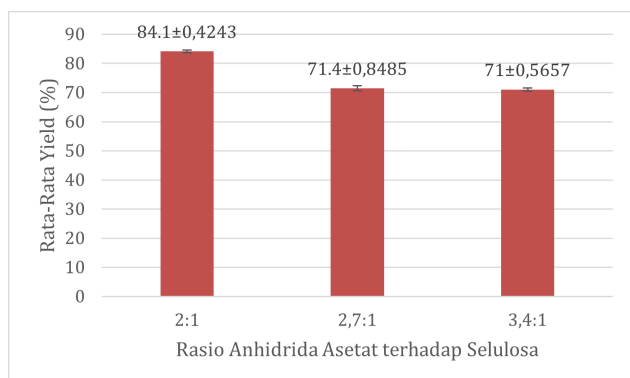
Uji yield dilakukan dengan mengacu penelitian [Faizal \(2022\)](#). Nilai yield dihitung dengan membandingkan massa selulosa asetat hasil sintesis dengan massa selulosa mula-mula. Berikut rumus perhitungan yield sample (Persamaan 2):

$$\text{Yield} = \frac{\text{Massa selulosa asetat hasil sintesis}}{\text{massa selulosa mula - mula}} \times 100\% \quad (2)$$

Data yang diperoleh disajikan dalam tabel, lalu diolah dengan metode analisis varian atau ANOVA satu arah untuk uji hipotesis dan metode grafik hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat atau hasil percobaan untuk uji korelasinya. Dengan ANOVA, ada tidaknya pengaruh banyak asam asetat anhidrat dan pengaruh waktu asetilasi terhadap yield selulosa asetat yang dihasilkan dapat dicari.

2.3.8 Uji kadar asetil dan DS selulosa asetat

Penentuan kadar asetil dilakukan agar jenis selulosa asetat dapat diketahui berdasarkan *degree of substitution* (DS). Uji kadar asetil dan DS dilakukan dengan mengacu penelitian [Asparingga dkk. \(2018\)](#) dan [Nedjma dkk. \(2013\)](#). Berikut rumus perhitungan kadar asetil adalah sebagai berikut:



GAMBAR 7. Hubungan Rasio Anhidrida Asetat terhadap Selulosadengan Yield.

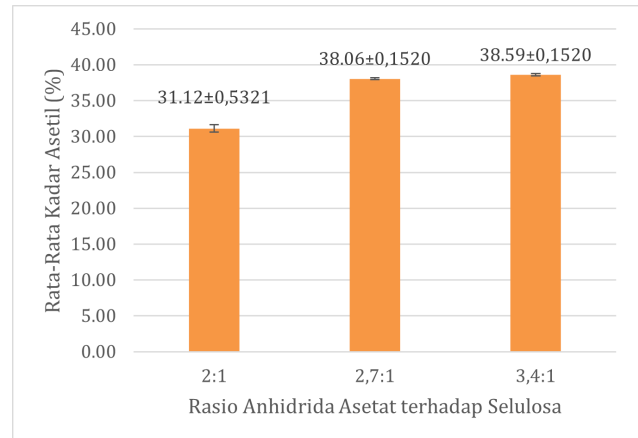
$$\text{Kadar asetil}(\%) = \frac{[(Vbi + Vbt)Mb - Va.Ma]}{W} \times 4,3 \quad (3)$$

dan perhitungan DS dengan rumus sebagai berikut:

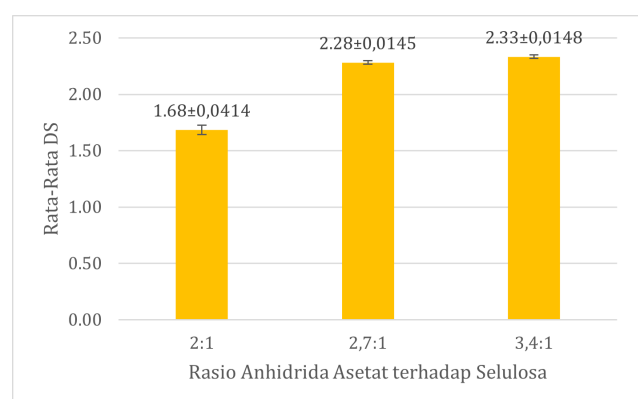
$$DS = \frac{162 \times \frac{\%asetil}{43}}{100 - \left(\frac{42}{43} \times \%asetil\right)} \quad (4)$$

Dengan keterangan:

1. Vbi = volume NaOH yang ditambahkan ke sampel (mL)



GAMBAR 8. Hubungan rasio anhidrida asetat terhadap selulosa dengan kadar asetil.



GAMBAR 9. Hubungan rasio anhidrida asetat terhadap selulosa dengan DS.

TABEL 5. Hasil perhitungan *yield* dengan variabel waktu asetilasi.

Percobaan	Yield (%)			F hitung	F critical
	0,5 jam	1 jam	1,5 jam		
1	53,6	70,8	79,6	828,57	9,5521
2	54	72	80,6		

TABEL 6. Hasil perhitungan kadar asetil dan DS dengan variabel waktu asetilasi.

Variabel	Kadar Asetil	Derajat Substitusi	F hitung	F critical
0,5 jam	36,01%	2,09	166,94	9,5521
	36,55%	2,14		
	37,95%	2,27		
1 jam	38,16%	2,29		
	40,96%	2,57		
1,5 jam	40,74%	2,55		

- Vbt = volume kebutuhan NaOH dalam titrasi (mL)
- Va = volume HCl yang ditambahkan ke sampel (mL)
- Ma = konsentrasi HCl
- Mb = konsentrasi NaOH
- W = berat sample

Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel juga, lalu diolah dengan metode ANOVA satu arah untuk uji hipotesis dan metode grafik hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat untuk uji korelasinya. Dengan ANOVA satu arah, dicari ada tidaknya pengaruh banyak asam asetat anhidrat dan pengaruh waktu asetilasi terhadap kadar asetil dan nilai DS selulosa asetat yang dihasilkan.

2.3.9 Uji karakterisasi filter selulosa asetat

Filter selulosa asetat daun nanas diuji karakterisasinya dengan spektrometer FTIR dan alat SEM. Uji *fourier transform infra red* (FTIR) merupakan pengujian untuk mengetahui gugus fungsi yang berikatan dalam rantai karbon, sementara uji *scanning electron microscope* (SEM) merupakan pengujian untuk mengetahui morfologi pori suatu membran dengan mikroskop elektron (Mahdiyah 2022; Mohammed dan Abdullah 2018). Uji FTIR dan SEM ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro, Semarang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Isolasi Selulosa Daun Nanas oleh DES ChCl-OA

Selulosa dari serat daun nanas diisolasi dengan pelarutan oleh DES ChCl-OA pada perbandingan 1:10 yang mengacu pada penelitian Sumiati dkk. (2021). Pelarut ini berfungsi untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa pada serat daun nanas. Senyawa lignin dan hemiselulosa perlu dihilangkan karena akan mengganggu proses selanjutnya dalam pembentukan filter selulosa asetat dengan penurunan kelarutan dan sifat hidrofilik yang dimilikinya. Proses ini juga disebut sebagai delignifikasi.

DES baik dalam pengisolasian selulosa karena alasan karakteristik DES itu sendiri. DES yang merupakan campuran eutektik menyebabkan kesetimbangan antara fasa padat dan cairnya sangat stabil. Kesetimbangan fasa DES yang baik ini meningkatkan kemampuannya dalam melarutkan zat terlarutnya daripada saat dalam komponen masing-masing. Penggunaan DES juga berdampak dalam pengurangan konsumsi energi yang mungkin digunakan untuk proses. Titik

leleh yang sangat rendah memungkinkan kondisi temperatur operasi yang lebih rendah pula. Maka dari itu, penggunaan DES ChCl-OA dalam pengisolasian senyawa selulosa menjadi pilihan terbaik untuk waktu yang lebih efisien dan dampak lingkungan yang lebih ramah dibandingkan dengan metode yang lain. Saat proses isolasi selulosa, DES akan menghancurkan ikatan lignoselulosa dengan beberapa interaksi antarion menurut Liu dkk. (2017). Ion kolin (Ch^+) akan berinteraksi dengan gugus aromatik lignin membentuk ikatan hidrofobik. Sementara, ion klorida (Cl^-) berinteraksi dengan gugus hidroksil pada senyawa lignin dan hemiselulosa membentuk ikatan hidrogen. Ion oksalat ($\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$) juga berinteraksi dengan gugus hidroksil senyawa lignin dan hemiselulosa secara elektrostatis. Hasil interaksi-interaksi ini menyisahkan senyawa selulosa yang ingin digunakan dalam proses selanjutnya.

Perhitungan kadar selulosa mengacu pada metode yang dilakukan oleh Souhoka dan Latupeirissa (2018) yang telah dijelaskan pada bagian metode penelitian. Berdasarkan metode perhitungan tersebut, kadar selulosa dalam serat daun nanas setelah perlakuan dengan DES ChCl-OA adalah sebagai berikut:

$$\text{Kadar selulosa} = \frac{\text{massa bubuk selulosa kering}}{\text{massa sampel kering}} \times 100\%$$

$$\text{Kadar selulosa} = \frac{1,14 \text{ gram}}{1,5 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$\text{Kadar selulosa} = 76\%$$

Selain itu, *yield* serat daun nanas setelah proses isolasi adalah 75,5%. Oleh karena itu, total kadar selulosa yang berhasil diisolasi dari limbah daun nanas menggunakan DES ChCl-OA dalam penelitian ini mencapai 57,38%.

Dalam perbandingan DES ChCl dengan donor ikatan hidrogen atau HBD (*hydrogen bond donor*) lain, kadar selulosa yang dihasilkan dari isolasi dengan DES ChCl-OA memiliki nilai yang lebih tinggi. Menurut penelitian Sumiati dkk. (2021), kadar selulosa tertinggi yang ditemukan dalam daun nanas adalah 53,5% dari total senyawa yang terkandung. Hasil ini diperoleh melalui isolasi selulosa menggunakan DES ChCl-OA menghasilkan kadar selulosa yang lebih tinggi sebesar 3,88% dibandingkan dengan isolasi menggunakan DES ChCl-FA.

Perbedaan hasil isolasi tersebut mungkin tidak terlalu signifikan. Hal ini dapat dijelaskan berdasarkan teori yang diajukan oleh Sumiati dkk. (2021) bahwa jika rasio antara HBA (*hydrogen bond acceptor*) dari asam basa kuat dan HBD dari asam basa lemah pada asam format serta asam oksalat sama, hasil isolasi dengan HBD asam format akan lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh rantai alkil OH⁻ yang lebih pendek dan jumlah ikatan rangkap serta gugus karboksil yang lebih sedikit pada HBD asam format dibandingkan dengan HBD asam oksalat. Namun, perbandingan antara HBA dan HBD dalam penelitian ini adalah 1:1, sedangkan dalam penelitian Sumiati dkk. (2021) perbandingannya adalah 1:2. Selain itu, kondisi operasional dalam kedua penelitian tersebut juga berbeda. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Jiang dkk. (2020) yang menunjukkan bahwa rasio antara HBA dan HBD memiliki pengaruh terhadap hasil isolasi selulosa dan ekstraksi lignin dari lignoselulosa. Hasil penelitian ini juga konsisten dengan penelitian Jiang dkk. (2020) yang mencapai kadar selulosa sebesar 57%.

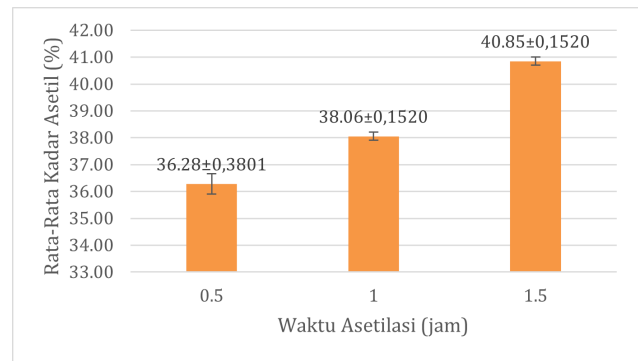
Proses delignifikasi selulosa daun nanas pernah dilakukan dengan beberapa bahan kimia ramah lingkungan yang lain. Berikut adalah daftar penelitian untuk isolasi selulosa daun nanas dengan berbagai bahan pengisolasi.

Dari berbagai bahan pengisolasi selulosa daun nanas tersebut, DES ChCl-OA terbukti dapat mengisolasi selulosa daun nanas dengan lebih baik dibanding yang lain.

3.2 Hasil sintesis selulosa asetat

Mekanisme sintesis selulosa asetat diawali dengan aktivasi selulosa daun nanas dengan penambahan aktivator berupa asam asetat glasial. Penambahan asam asetat glasial akan mengembangkan serat-serat selulosa daun nanas sehingga asam asetat glasial juga disebut sebagai agen penggembung (pengembang) pada kasus ini. Penggembungan serat selulosa menyebabkan luas permukaannya lebih besar dan ikatan intramolekul hidrogennya lebih lemah dari sebelumnya. Aktivasi selulosa yang sedemikian rupa ini meningkatkan kemampuan difusi reagen (Kirk dan Othmer 2000). Proses perreaksian yang akan dilakukan pun akan berlangsung secara sempurna. Menurut Muliawati (2012), selulosa yang telah teraktivasi juga dapat mempercepat laju reaksi yaitu sebesar tiga kali lipat daripada selulosa yang tidak diaktivasi.

Setelah tahap penggembungan di atas, penelitian dilanjutkan dengan tahap asetilasi yang sekaligus merupakan esterifikasi antara selulosa dan anhidrida asetat. Asetilasi selu-



GAMBAR 11. Hubungan waktu asetilasi dengan kadar asetil.

losa adalah reaksi yang mensubstitusi gugus asetil pada asam asetat anhidrat dengan gugus hidroksil pada selulosa membentuk selulosa asetat. Banyaknya gugus asetil yang dapat menggantikan gugus hidroksil dalam satu molekul selulosa ini disebut sebagai *degree of substitution* (DS) yang akan menentukan klasifikasi selulosa asetat yang dihasilkan. Tabel 2 menunjukkan klasifikasi selulosa asetat beserta penggunaannya berdasarkan nilai DS menurut Fengel dan Wegener (Gaol dkk. 2013).

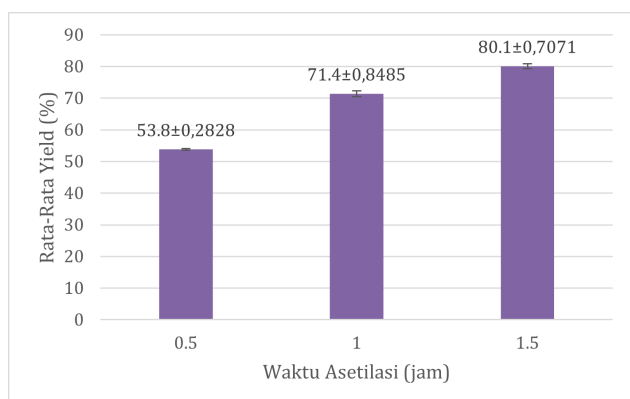
Setelah melalui tahap asetilasi, campuran dihidrolisis untuk menghentikan proses asetilasi. Tahap hidrolisis di sini ditandai dengan penambahan asam asetat glasial dengan akuades. Penambahan bahan tersebut akan menggantikan gugus asetil pada anhidrida asetat yang telah terlepas dengan gugus hidroksil. Setelah mencapai waktu hidrolisis yang ditentukan, hasil selulosa asetat dapat diambil dengan pengendapan campuran, lalu endapan tersebut dicuci dan dikeringkan.

3.3 Hasil Perhitungan Yield dengan Rasio Anhidrida Asetat

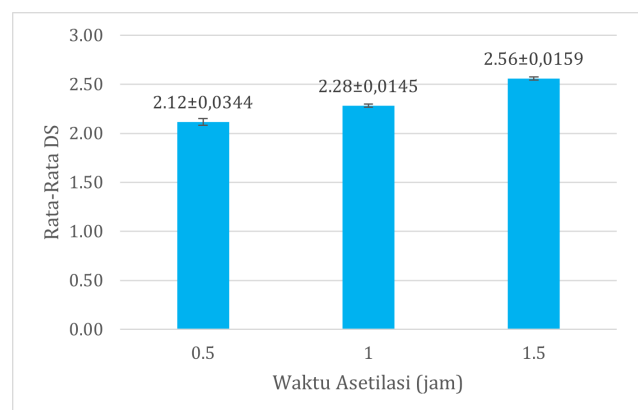
Dalam pengamatan mengenai pengaruh rasio anhidrida asetat dengan selulosa terhadap *yield* selulosa asetat (Table 3, terdapat dua hipotesis yang diuji:

1. H0 (hipotesis nol): Tidak ada pengaruh rasio anhidrida asetat dengan selulosa terhadap *yield* selulosa asetat.
2. H1 (hipotesis alternatif): Ada pengaruh rasio anhidrida asetat dengan selulosa terhadap *yield* selulosa asetat.

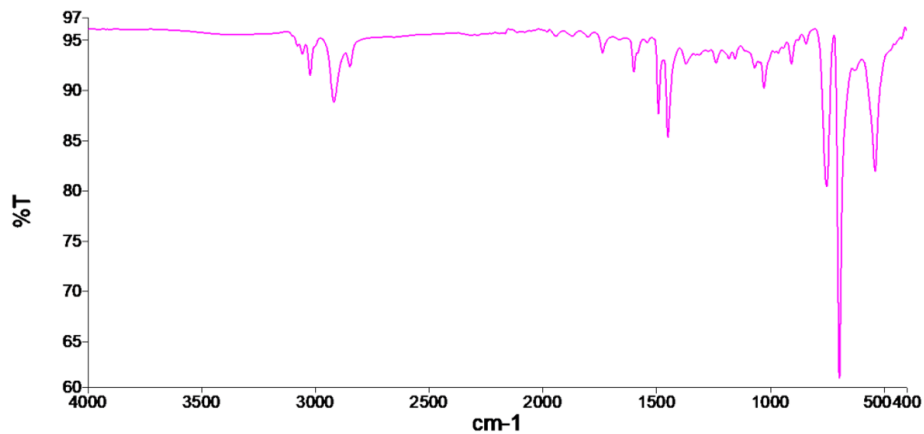
Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa nilai F hitung (273) lebih besar daripada nilai F kritis (9,5521). Berdasarkan kriteria ANOVA, jika F hitung > F kritis, maka H0 ditolak dan



GAMBAR 10. Hubungan Waktu Asetilasi dengan Yield.



GAMBAR 12. Hubungan waktu asetilasi dengan DS.



GAMBAR 13. Spektrum hasil FTIR.

H1 diterima. Dengan demikian, hasil ANOVA menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan dari rasio anhidrida asetat dengan selulosa terhadap *yield* selulosa asetat.

Selanjutnya, dilakukan analisis korelasi antara rasio anhidrida asetat dengan selulosa dan *yield* selulosa asetat. Hal ini bertujuan untuk mengetahui besar perbandingan antarvariabel anhidrida asetat pada *yield* selulosa asetat yang dihasilkan. Analisis korelasi dilakukan dengan memplotkan data pada grafik batang dan garis (Gambar 7)

Dapat dilihat dari gambar grafik 7 bahwa *yield* selulosa asetat dengan 10 mL anhidrida asetat memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan anhidrida asetat yang lebih banyak. Hasil *yield* mengalami penurunan yang drastis pada penggunaan variabel rasio anhidrida asetat dengan selulosa yang lebih besar yaitu 2,7:1, namun hasil pada rasio 3,4:1 tidak menunjukkan perubahan yang mencolok dari variabel sebelumnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa *yield* selulosa asetat tertinggi, sekitar 84,1%, diperoleh pada rasio anhidrida asetat dengan selulosa 2:1 dan waktu operasi 1 jam. Penggunaan reaktan anhidrida asetat yang lebih banyak akan mengurangi *yield* selulosa asetat. Hal ini bisa dikarenakan dua faktor menurut Gaol dkk. (2013) yaitu semakin banyaknya gugus hidroksil yang terganti oleh gugus asetil dalam satu molekul selulosa atau adanya degradasi gugus asetil akibat kondisi yang sudah jenuh, akan memperpendek rantai senyawa selulosa asetat sehingga *yield* selulosa asetat semakin sedikit.

Kemudian, hasil analisis kadar asetil dan DS dengan variabel rasio anhidrida asetat dengan selulosa ditunjukkan di dalam Tabel 4.

Kadar asetil dan derajat substitusi (DS) selulosa asetat dihitung menggunakan rumus perhitungan masing-masing. Metode perhitungan kadar asetil dan derajat substitusi yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada Asparingga dkk. (2018) dan Nedjma dkk. (2013) yang telah dijelaskan pada bagian metode penelitian. Dari hasil perhitungan, diperoleh kadar asetil dalam kisaran 30,75–38,70%. Nilai kadar asetil ini kemudian digunakan untuk menghitung nilai DS dan diperoleh nilai DS yang berkisar antara 1,66–2,34. Dengan mengetahui nilai DS, selulosa asetat dapat diklasifikasikan. Menurut Fengel dan Wegener (Gaol dkk. 2013), selulosa asetat dengan penggunaan 10 mL anhidrida asetat termasuk dalam klasifikasi selulosa monoasetat karena memiliki DS dalam rentang 0–2,0. Sementara itu, selulosa asetat dengan rasio anhidrida asetat terhadap selulosa 2,7:1 dan 3,4:1 termasuk dalam jenis

selulosa diasetat dengan DS 2,0–2,8.

Selanjutnya, dilakukan analisis variasi terhadap kadar asetil yang telah diperoleh untuk mengetahui apakah penggunaan variasi rasio anhidrida asetat dengan selulosa memberikan pengaruh yang signifikan. Berdasarkan hasil ANOVA, diperoleh nilai F hitung sebesar 316,33 yang lebih besar dari nilai F kritis sebesar 9,5521. Hal ini menunjukkan bahwa variasi rasio anhidrida asetat dengan selulosa secara nyata memberikan variasi yang signifikan terhadap kadar asetil pada produk selulosa asetat.

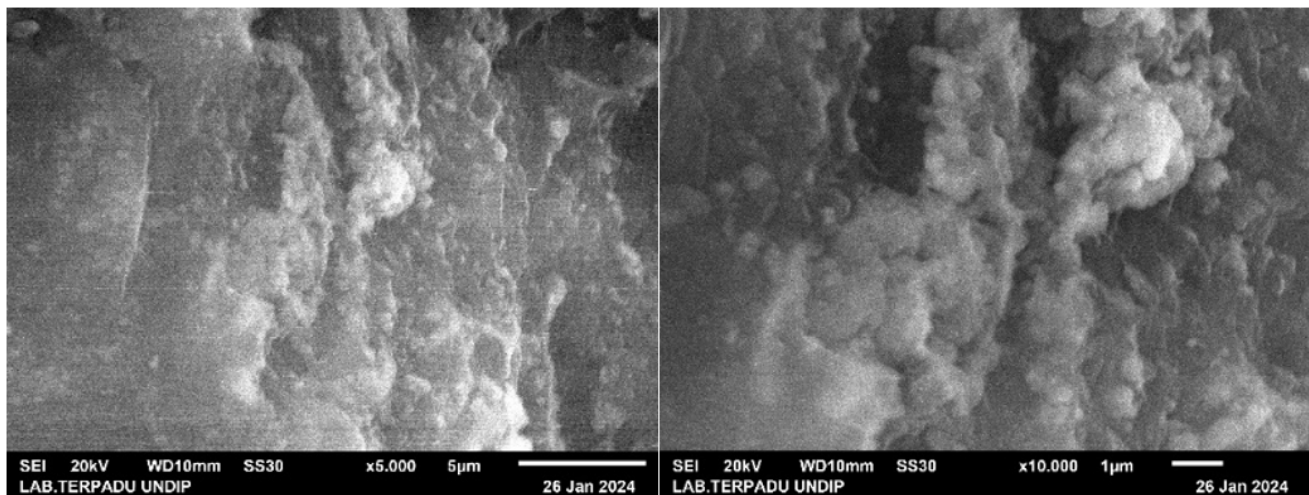
Penelitian kemudian dilanjutkan dengan analisis korelasi menggunakan grafik batang yang ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.

Dari Gambar 8 dan Gambar 9 yang disajikan, terlihat bahwa kadar asetil dan DS pada selulosa asetat cenderung meningkat seiring dengan peningkatan rasio anhidrida asetat dengan selulosa yang digunakan. Kadar asetil dan DS terendah diperoleh pada rasio anhidrida asetat terhadap selulosa 2:1, kemudian meningkat secara signifikan pada rasio 2,7:1. Hasil pengamatan ini sesuai dengan hasil pengamatan Asparingga dkk. (2018) di mana semakin banyak anhidrida asetat yang digunakan untuk asetilasi, maka semakin banyak pula kadar asetil dan DS pada produk selulosa asetat.

Namun, untuk variabel rasio 3,4:1, kadar asetil tidak menunjukkan perubahan yang terlalu besar dibandingkan dengan variabel sebelumnya. Dapat disimpulkan bahwa untuk waktu operasi 1 jam, kadar asetil maksimum adalah sekitar 38–39% dengan rasio anhidrida asetat terhadap selulosa minimum 2,7:1 dan jenis senyawa yang dihasilkan adalah selulosa diasetat.

3.4 Pengaruh waktu reaksi asetilasi terhadap selulosa asetat dari daun nanas

Dalam pengamatan Gambar 5 pengaruh waktu asetilasi terhadap *yield* selulosa asetat, juga terdapat dua hipotesis yang diuji yaitu tidak ada variasi pada hasil *yield* dinyatakan dengan H_0 dan jika ada variasi *yield* akibat pengaruh faktor waktu dinyatakan dengan H_1 . Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa nilai F hitung (828,57) jauh lebih besar daripada nilai F kritis (9,5521). Berdasarkan kriteria ANOVA, jika F hitung > F kritis, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Dengan demikian, hasil ANOVA menunjukkan adanya pengaruh yang sangat signifikan dari waktu asetilasi terhadap *yield* selulosa asetat.



GAMBAR 14. Perbesaran 5.000X (kiri) dan 10.000X SEM (kanan).

Selanjutnya, dilakukan analisis korelasi antara waktu asetilasi dan *yield* selulosa asetat dengan memplotkan data pada grafik batang dan garis dalam Gambar 10.

Dari Gambar 10, terlihat kecenderungan grafik meningkat dari satu variabel waktu ke variabel berikutnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin lama reaksi asetilasi selulosa dengan reaktan anhidrida asetat tersebut, semakin tinggi *yield* terbentuknya selulosa asetat. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Amraini dkk. (2020) di mana *yield* yang dihitung juga meningkat seiring penambahan waktu asetilasi. Menurut Darmawan dkk. (2018), peningkatan *yield* selulosa asetat disebabkan oleh semakin lamanya proses esterifikasi selulosa, sehingga memberikan waktu yang lebih lama untuk pembentukan selulosa asetat yang lebih banyak. Selanjutnya, hasil analisis kadar asetil dan DS dengan variabel waktu asetilasi disajikan dalam Tabel 6.

Analisis selanjutnya adalah analisis hasil pengamatan kadar asetil dan DS dengan variabel bebas waktu asetilasi yang ditampilkan pada tabel. Berdasarkan data yang ada, diperoleh kadar asetil dalam rentang 36,01–40,96%. Nilai kadar asetil tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai DS, yang ditemukan berada dalam kisaran 2,09–2,57. Menurut Fengel dan Wegener (Gaol dkk. 2013), rentang nilai DS 2,0–2,8 menunjukkan bahwa produk yang dihasilkan adalah selulosa diasetat.

Analisis *varians* juga dilakukan pada hasil kadar asetil untuk mengetahui apakah waktu asetilasi berpengaruh nyata terhadap variasi kadar asetil selulosa asetat. Dari hasil ANOVA, diperoleh nilai F hitung sebesar 166,94 yang lebih besar dari nilai F kritis sebesar 9,5521. Hal ini menunjukkan bahwa variabel waktu asetilasi secara nyata memberikan variasi kadar asetil pada selulosa asetat.

Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan bahwa kadar asetil dan DS cenderung meningkat seiring penambahan waktu reaksi asetilasi. Kadar asetil dan DS terendah dihasilkan dari waktu asetilasi 0,5 jam, sedangkan yang tertinggi diperoleh pada waktu asetilasi 1,5 jam. Dapat disimpulkan bahwa pada penggunaan 13,5 mL anhidrida asetat, waktu asetilasi optimum adalah 1,5 jam. Hasil ini sesuai dengan temuan Gaol dkk. (2013) dan Souhoka dan Latupeirissa (2018) yang menunjukkan bahwa semakin lama waktu asetilasi, semakin

tinggi kadar asetil dan DS pada selulosa asetat.

3.5 Karakterisasi filter selulosa asetat dari daun nanas

Analisis selanjutnya adalah analisis hasil pengamatan kadar asetil dan DS dengan variabel bebas waktu asetilasi yang ditampilkan pada tabel. Berdasarkan data yang ada, diperoleh kadar asetil dalam rentang 36,01–40,96%. Nilai kadar asetil tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai DS, yang ditemukan berada dalam kisaran 2,09–2,57. Menurut Fengel dan Wegener (Gaol dkk. 2013), rentang nilai DS 2,0–2,8 menunjukkan bahwa produk yang dihasilkan adalah selulosa diasetat.

Setelah mendapat selulosa asetat yang terbaik, polimer tersebut dijadikan membran filter selulosa asetat dan dikarakterisasi dengan FTIR dan SEM. Karakterisasi ini dilakukan untuk mengonfirmasi adanya gugus-gugus fungsi yang berkaitan dengan selulosa asetat oleh spektroskopi FTIR dan mengetahui morfologi hasil membran yang didapatkan dengan alat SEM (Mahdiyah 2022). Hasil FTIR pada filter selulosa asetat yang didapat disajikan dalam Gambar 13.

Menurut data yang terbaca dari hasil FTIR (Gambar 13, membran filter ini mengandung gugus O-H, C-H, C=O, dan C-O yang merupakan gugus penyusun selulosa diasetat (Egot dan Alguno 2018). Gugus O-H ditemukan pada bilangan gelombang 3500–3100 cm^{-1} dengan intensitas yang rendah. Gugus C-H terserap pada bilangan gelombang 3024,95 cm^{-1} dan 2929,91 cm^{-1} . Gugus C=O terserap pada bilangan gelombang 1737,59 cm^{-1} . Sementara gugus C-O terserap pada bilangan gelombang 1238,04 cm^{-1} ; 1154,04 cm^{-1} ; 1067,68 cm^{-1} ; dan 1026,91 cm^{-1} . Gambar 14 adalah hasil perbesaran SEM pada penampakan permukaan filter selulosa asetat.

Pada perbesaran 5.000X, gambar SEM memperlihatkan sebagian permukaan filter tampak halus dan sebagian yang lain cukup bertekstur. Tekstur pada filter ini merupakan bentuk dari molekul polimer selulosa yang telah terasetilasi karena bentuknya serupa dengan penampakan selulosa asetat pada penelitian Egot dan Alguno (2018). Lalu, dapat dilihat dari gambar perbesaran 10.000X bahwa celah pada filter ini sekitar 1 μm dan matriks filter cukup kompleks. Maka, lembar membran selulosa asetat hasil percobaan merupakan filter berpori yang bisa dijadikan penyaring masker penutup mulut dan hidung (Amraini dkk. 2020; Hidayat 2014).

4. KESIMPULAN

Modifikasi serat limbah daun nanas menggunakan pelarut DES (*deep eutectic solvent*) ChCl-OA (*choline chloride-oxalic acid*) dapat secara efektif dan efisien mengisolasi selulosa. Isolat selulosa yang diperoleh dari daun nanas yang dimodifikasi dengan DES ChCl-OA mencapai 57,38% dari total selulosa dalam serat daun nanas. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya tentang isolasi selulosa menggunakan DES ChCl-OA dan menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan DES ChCl dengan bahan pelarut lain. Isolat selulosa tersebut diasetilasi menggunakan anhidrida asetat dengan beberapa variasi percobaan. Kondisi terbaik yang menghasilkan selulosa asetat sebagai bahan filter adalah dengan menggunakan 17,5 mL anhidrida asetat selama 1,5 jam dengan *yield* 79,6–80,6%, kadar asetil 40,74–40,96%, dan DS (*degree of substitution*) 2,56. Semakin lama waktu reaksi asetilasi dengan anhidrida asetat, semakin tinggi *yield* selulosa asetat yang terbentuk selama jumlah gugus hidroksil dalam satu molekul selulosa yang tergantikan oleh gugus asetil masih sama. Selain itu, semakin lama waktu dan semakin banyak anhidrida asetat yang digunakan, maka kadar asetil dan DS pada produk selulosa asetat juga akan semakin tinggi. Selulosa asetat hasil penelitian yang dibuat menjadi membran ini merupakan filter berpori yang bisa dijadikan penyaring masker penutup mulut dan hidung.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing atas segala arahan dan bimbingan yang diberikan dan kepada civitas Laboratorium TRKI Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro atas kemudahan akses fasilitasnya sehingga penelitian ini dapat selesai dan berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Amraini SZ, Bahrudin, Zahrina I, Susanto R, Wulandari R. 2020. Potensi limbah daun nanas dalam pembuatan selulosa asetat sebagai bahan filter masker kain. Seminar Nasional kahuripan. p. 275. <https://conference.kahuripan.ac.id/index.php/SNapan/article/download/66/65/262>.
- 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/jkkmipa/article/view/25178>.
- Darmawan MT, 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. doi:10.20527/jukung.v4i1.4658.
- Egot MP, Alguno AC. 2018. Preparation and characterization of cellulose acetate from pineapple (*Ananas comosus*) leaves. *Key Engineering Materials*. 772(July):8–12. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.772.8.
- Faizal M. 2022. Sintesis dan karakterisasi selulosa asetat dari tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan baku bioplastik. *KINETIKA*. 13(2):17–23. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/article/view/4911/2083>.
- Gaol MRL, Sitorus R, S Y, Surya I, Manurung R. 2013. Pembuatan selulosa asetat dari α -selulosa tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 2(3):33–39. doi:10.32734/jtk.v2i3.1447.
- Hidayat MF. 2014. Penurunan kandungan zat warna pada limbah songket menggunakan membran komposit berbasis kitosan-pva secara ultrafiltrasi. [[Doctoral thesis]].
- Hidayat P. 2008. Teknologi pemanfaatan serat daun nanas sebagai alternatif bahan baku tekstil. *Teknoin*. 13(2):31–35. doi:10.20885/teknoin.vol13.iss2.art7.
- Jiang J, Carrillo-Enríquez NC, Oguzlu H, Han X, Bi R, Saddler JN, Sun RC, Jiang F. 2020. Acidic deep eutectic solvent assisted isolation of lignin containing nanocellulose from thermomechanical pulp. *Carbohydrate Polymers*. 247(May):116727. doi:10.1016/j.carbpol.2020.116727.
- Kirk BE, Othmer DF. 2000. *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*. New York: Wiley. doi:10.1002/0471238961.
- Lim WL, Chew KW, Show PL, Ling TC. 2022. Green extraction and characterization of nanocellulose from pineapple leaf biomass. *Carbohydrate Polymers*. 276.
- Liu Y, Chen W, Xia Q, Guo B, Wang Q, Liu S, Liu Y, Li J, Yu H. 2017. Efficient cleavage of lignin-carbohydrate complexes and ultrafast extraction of lignin oligomers from wood biomass by microwave-assisted treatment with deep eutectic solvent. *ChemSusChem*. 10(8):1692–1700. doi:10.1002/cssc.201601795.
- Mahdiyah RZ. 2022. Sintesis dan karakterisasi membran selulosa asetat dengan agen pembentuk pori nonilfenol etoksilat termodifikasi silika. [[Doctoral thesis]].
- Makhijani K, Kumar R, Sharma SK. 2022. Green extraction of cellulose from pineapple leaf waste using deep eutectic solvents. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 25.
- Mohammed A, Abdullah A. 2018. Scanning electron microscopy (sem): a Review. *International Conference on Hydraulics and Pneumatics*. (January):77–85. <http://hervex.ro/hervex-2018-proc-toc/>.
- Mood SH, Golfeshan AH, Tabatabaei M, Jouzani GS, Najafi GH, Gholami M, Ardjmand M. 2013. Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 27:77–93. doi:10.1016/j.rser.2013.06.033.
- Muliawati EC. 2012. Pembuatan dan karakterisasi membran nanofiltrasi untuk pengolahan air. *Nano Material*:1–12.
- Nedjma S, Djidjelli H, Boukerrou A, Benachour D, Chibani N. 2013. Deinked and acetylated fiber of newspapers. *Journal of Applied Polymer Science*. 127(6):4795–4801. doi:10.1002/app.38048.
- Purwanto S, Salim M, Yunasfi. 2018. Magnetic properties α -Fe₂O₃ Filled MWNT/PolyVinyl Alcohol Composites Film. *Journal of Physics: Conference Series*. 1091(Cm):012022. doi:10.1088/1742-6596/1091/1/012022.
- Rahayu AS, Fauzi AM, Yulianto ME, Roesyadi A, Danarto YC. 2021. Isolation of cellulose from pineapple leaves using environmentally friendly deep eutectic solvents. *Carbohydrate Polymers*. 252.
- Saha P, Chowdhury S, Banerjee S, Saha B. 2023. Microwave-assisted extraction of cellulose nanocrystals from pineapple leaf fibers. *Industrial Crops and Products*. 191.
- Souhoka FA, Latupeirissa J. 2018. Sintesis dan karakterisasi selulosa asetat (CA). *Indo. J. Chem. Res.* 5(2):58–62. doi:10.30598/ijcr.2018.5-fen.

Sumiati T, Suryadi H, Harmita, Sutriyo. 2021. Comparison of the deep eutectic solvent (des) solvent for extracting lignin from the lignocellulosic material of pineapple leaves. *Pharmacognosy Journal*. 13(6):1702–1709. doi:[10.5530/pj.2021.13.219](https://doi.org/10.5530/pj.2021.13.219).

Zargar S, Jiang J, Jiang F, Tu Q. 2021. Isolation of lignin-

containing cellulose nanocrystals: life-cycle environmental impacts and opportunities for improvement. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 16(1):68–80. doi:[10.1002/bbb.2261](https://doi.org/10.1002/bbb.2261).