

## Sintesis Membran Selulosa Asetat-Silika sebagai Media Penyaring Mikroplastik

Eunike Sharon Br Barus<sup>1</sup>, Ni Putu Sri Ayuni<sup>2</sup>, Ni Luh Putu Ananda Saraswati<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Kimia, Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja, Bali, Indonesia  
e-mail: [eunike@student.undiksha.ac.id](mailto:eunike@student.undiksha.ac.id)

### Abstrak

Mikroplastik merupakan partikel plastik berukuran kurang dari lima milimeter yang bersifat persisten, sulit terdegradasi, dan berpotensi mencemari berbagai kompartemen lingkungan. Keberadaan mikroplastik di perairan menjadi perhatian serius karena dapat terakumulasi dalam rantai makanan dan menimbulkan dampak negatif terhadap organisme serta kesehatan manusia. Teknologi membran menjadi salah satu metode yang efektif untuk mengurangi kontaminasi mikroplastik karena memiliki selektivitas tinggi, proses operasi yang relatif sederhana, dan efisiensi penyaringan yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi membran komposit selulosa asetat-silika serta mengevaluasi kinerjanya sebagai media penyaring mikroplastik. Selulosa asetat disintesis melalui reaksi asetilasi  $\alpha$ -selulosa, kemudian digunakan sebagai matriks membran dengan variasi konsentrasi silika sebesar 0, 5, 10, dan 15%. Membran dibuat menggunakan metode solution casting dan dikarakterisasi melalui analisis gugus fungsi menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), uji ketahanan pH, uji swelling, dan pengukuran fluks. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selulosa asetat berhasil disintesis dengan derajat substitusi sebesar 2,3. Analisis FTIR mengonfirmasi keberadaan gugus karbonil ester ( $C=O$ ) pada sekitar  $1730\text{ cm}^{-1}$  sebagai indikator keberhasilan proses asetilasi. Nilai swelling tertinggi diperoleh pada membran dengan konsentrasi silika 5%, sedangkan nilai fluks menurun seiring peningkatan konsentrasi silika. Seluruh membran menunjukkan stabilitas yang baik pada kondisi asam, netral, dan basa serta mampu menahan partikel mikroplastik secara visual. Penambahan silika terbukti memengaruhi karakteristik dan kinerja membran sehingga berpotensi meningkatkan aplikasi membran selulosa asetat dalam proses filtrasi mikroplastik.

**Kata Kunci:** Filtrasi; Membran Komposit; Mikroplastik; Selulosa Asetat; Silika.

### Abstract

Microplastics are plastic particles smaller than five millimeters that are persistent, difficult to degrade, and capable of contaminating various environmental compartments. Their presence in aquatic environments has become a major concern because they can accumulate in the

food chain and pose adverse effects on living organisms as well as human health. Membrane technology has emerged as an effective approach for microplastic removal due to its high selectivity, relatively simple operation, and efficient filtration performance. This study aimed to synthesize and characterize cellulose acetate–silica composite membranes and evaluate their performance as microplastic filtration media. Cellulose acetate was synthesized from  $\alpha$ -cellulose through an acetylation process and subsequently used as the membrane matrix with silica concentrations of 0, 5, 10, and 15%. The membranes were prepared using the solution-casting method and characterized by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), pH resistance testing, swelling analysis, and flux measurements. The results demonstrated that cellulose acetate was successfully synthesized with a degree of substitution of 2.3. FTIR analysis confirmed the presence of ester carbonyl (C=O) groups at approximately  $1730\text{ cm}^{-1}$ , indicating successful acetylation of cellulose. The highest swelling value was obtained for the membrane containing 5% silica, while flux values decreased with increasing silica concentration. All membrane variations exhibited good stability under acidic, neutral, and alkaline conditions and were able to visually retain microplastic particles during filtration. These findings indicate that silica incorporation significantly influences membrane characteristics and performance, highlighting the potential application of cellulose acetate–silica composite membranes for microplastic filtration in water treatment systems.

**Keywords :** Cellulose Acetate; Composite Membrane; Filtration; Microplastic; Silica.

## LATAR BELAKANG

Peningkatan produksi dan konsumsi plastik secara global telah menyebabkan akumulasi limbah plastik di lingkungan yang dapat terdegradasi menjadi mikroplastik berukuran 5 mm. Mikroplastik telah terdeteksi pada berbagai kompartemen lingkungan seperti perairan, sedimen, tanah, dan atmosfer karena sifatnya yang persisten dan sulit terurai secara alami (Xiang et al., 2023). Keberadaan mikroplastik menimbulkan dampak ekologis dan kesehatan, termasuk gangguan fisiologis pada organisme akuatik serta potensi perpindahan kontaminan beracun melalui rantai makanan (Benson et al., 2022). Bahkan, mikroplastik telah ditemukan pada air minum, makanan laut, dan jaringan manusia (Leslie et al., 2022).

Mikroplastik dapat berasal dari berbagai sumber, baik primer maupun sekunder. Mikroplastik primer merupakan partikel yang sengaja diproduksi dalam ukuran kecil untuk digunakan pada produk tertentu seperti kosmetik, bahan pembersih, dan produk industri, sedangkan mikroplastik sekunder terbentuk akibat degradasi plastik berukuran besar melalui proses fisik, kimia, maupun biologis di lingkungan (Sulaiman & Khairi, 2026). Keberadaan mikroplastik yang semakin meluas menunjukkan bahwa pencemaran plastik tidak lagi terbatas pada wilayah tertentu, melainkan telah menjadi permasalahan lingkungan global yang memerlukan penanganan serius dan berkelanjutan.

Penelitian Sudarman. (2023) menunjukkan bahwa mikroplastik dan nanoplastik telah ditemukan pada berbagai organ tubuh manusia, termasuk saluran pencernaan, paru-paru, darah, dan jaringan lainnya. Temuan tersebut menimbulkan kekhawatiran mengenai potensi

dampak jangka panjang terhadap kesehatan manusia karena partikel mikroplastik dapat membawa berbagai senyawa berbahaya yang teradsorpsi pada permukaannya. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Budiarti. (2021) menunjukkan bahwa mikroplastik telah banyak teridentifikasi pada berbagai jenis pangan dan air minum yang dikonsumsi manusia sehari-hari.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengatasi mikroplastik, seperti koagulasi-flokulasi, adsorpsi, dan filtrasi, namun masing-masing memiliki keterbatasan seperti penggunaan bahan kimia tambahan dan efisiensi penyisihan partikel berukuran kecil (Pan et al., 2023). Teknologi membran menjadi alternatif yang menjanjikan karena memiliki selektivitas tinggi dan kemampuan menyaring partikel mikro hingga submikro (Rahman et al., 2020).

Perkembangan teknologi pengolahan air dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan bahwa proses berbasis membran memiliki keunggulan dalam menghasilkan kualitas permeat yang tinggi, kebutuhan ruang yang relatif kecil, serta kemampuan pemisahan yang lebih efektif dibandingkan beberapa metode konvensional (Fitri., 2025). Mekanisme penyaringan pada membran memungkinkan partikel mikroplastik tertahan berdasarkan ukuran partikel dan karakteristik permukaan membran sehingga berpotensi menjadi solusi yang efektif untuk mengurangi kontaminasi mikroplastik pada lingkungan perairan.

Selulosa asetat banyak digunakan sebagai material membran karena bersifat ramah lingkungan dan mudah diproses, namun memiliki keterbatasan berupa permeabilitas rendah dan stabilitas pori yang kurang optimal (Rahman et al., 2020). Penambahan nanopartikel silika dilaporkan dapat meningkatkan hidrofilisitas dan struktur pori membran (Vahid Vatanpour et al., 2022) tetapi pengaruh variasi konsentrasinya terhadap kinerja filtrasi mikroplastik masih terbatas dikaji.

Nanopartikel silika ( $\text{SiO}_2$ ) banyak digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) pada membran polimer karena memiliki luas permukaan yang tinggi, stabilitas kimia yang baik, serta mampu meningkatkan sifat hidrofilik membran. Penambahan silika ke dalam matriks polimer dilaporkan dapat memperbaiki karakteristik pori, meningkatkan interaksi antarmuka, serta meningkatkan performa pemisahan pada berbagai aplikasi pengolahan air (Kusumastuti et al., 2021). Meskipun demikian, penelitian mengenai pengaruh variasi konsentrasi silika terhadap karakteristik membran selulosa asetat dan kemampuannya dalam menyaring mikroplastik masih relatif terbatas sehingga memerlukan kajian lebih lanjut.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi membran komposit selulosa asetat–silika dengan variasi konsentrasi silika serta mengevaluasi kinerjanya dalam penyaringan mikroplastik.

## METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi membran komposit selulosa asetat–silika sebagai media penyaring mikroplastik. Bahan yang digunakan meliputi bubuk  $\alpha$ -selulosa p.a. (Merck), asam asetat glasial ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), anhidrida asetat ( $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$ ), asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) p.a. (Merck), aseton

p.a. (Merck), dimethylformamide (DMF) p.a. (Merck), dichloromethane (DCM) p.a. (Merck), asam klorida (HCl), natrium hidroksida (NaOH), akuades, nanopartikel silika (CV. Inovasi Teknologi Nano, NRE Lab), serta larutan mikroplastik berbasis glitter berukuran 0,2 mm. Peralatan yang digunakan meliputi cawan petri, *magnetic stirrer*, oven, *glass plate*, timbangan analitik, pH meter, dan peralatan gelas laboratorium. Karakterisasi dilakukan menggunakan spektrofotometer FTIR (Shimadzu A12596280396).

Sintesis selulosa asetat dilakukan melalui reaksi asetilasi  $\alpha$ -selulosa menggunakan anhidrida asetat dengan katalis asam sulfat mengacu pada metode yang dilaporkan oleh Souhoka dan Latupeirissa (2018). Produk yang diperoleh dicuci menggunakan akuades hingga mencapai pH netral, kemudian dikeringkan sebelum digunakan sebagai bahan dasar pembuatan membran. Selulosa asetat hasil sintesis selanjutnya dikarakterisasi melalui analisis gugus fungsi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) pada rentang bilangan gelombang  $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$  dengan resolusi  $4\text{ cm}^{-1}$  dan 32 kali pemindaian. Derajat substitusi (*degree of substitution*, DS) ditentukan menggunakan metode titrasi saponifikasi dengan mereaksikan sampel terhadap larutan NaOH berlebih dalam etanol, kemudian sisa basa dititrasi menggunakan HCl standar. Uji kelarutan dilakukan dalam pelarut aseton, DCM, dan DMF untuk mengetahui karakteristik pelarutan selulosa asetat hasil sintesis. Pendekatan karakterisasi menggunakan FTIR dan pengukuran derajat substitusi merupakan metode yang umum digunakan untuk mengonfirmasi keberhasilan proses asetilasi serta mengevaluasi perubahan struktur kimia selulosa menjadi selulosa asetat (Cahyani & Kusuma, 2025).

Membran komposit selulosa asetat–silika dibuat menggunakan metode *solution casting*. Selulosa asetat dicampurkan dengan nanopartikel silika pada variasi konsentrasi 0, 5, 10, dan 15% (b/b terhadap total padatan) dalam pelarut aseton hingga terbentuk campuran homogen. Larutan kemudian dituangkan ke dalam cetakan silikon dan dikeringkan pada suhu ruang hingga membentuk lembaran membran. Metode *solution casting* dipilih karena mampu menghasilkan membran dengan distribusi bahan pengisi yang relatif merata serta banyak digunakan dalam fabrikasi membran komposit berbasis selulosa asetat (Vatanpour et al., 2022). Membran yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi penyusunnya. Analisis dilakukan pada rentang bilangan gelombang  $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ , dengan keberhasilan pembentukan membran komposit ditunjukkan oleh keberadaan pita serapan khas selulosa asetat dan silika. Stabilitas kimia membran diuji melalui perendaman selama 24 jam dalam media asam, netral, dan basa. Sifat hidrofilisitas membran dievaluasi melalui uji *swelling* dengan membandingkan massa membran sebelum dan sesudah perendaman dalam akuades selama 24 jam, sedangkan permeabilitas membran ditentukan berdasarkan nilai fluks menggunakan akuades sebagai larutan umpan filtrasi. Pengujian *swelling* dan fluks digunakan untuk mengevaluasi kemampuan penyerapan air serta permeabilitas membran yang merupakan parameter penting dalam penentuan kinerja membran untuk aplikasi filtrasi air (Aziz et al., 2024).

Pengujian kemampuan penyaringan mikroplastik dilakukan dengan menempatkan membran pada corong Büchner yang dihubungkan dengan sistem vakum. Larutan mikroplastik berbasis glitter kemudian dialirkan melalui membran dan waktu filtrasi dicatat hingga seluruh sampel terfiltrasi. Permeat yang dihasilkan diamati secara visual untuk

mengevaluasi kejernihan larutan, sedangkan permukaan membran diamati untuk mengidentifikasi partikel mikroplastik yang tertahan sebagai indikator kemampuan penyaringan mikroplastik. Data hasil karakterisasi dianalisis secara deskriptif.

Hasil uji ketahanan pH, uji gugus fungsi dengan FTIR, uji morfologi dengan SEM digunakan untuk mengkarakterisasi membran selulosa asetat-SiO secara deskriptif.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung kadar asetil ditunjukkan pada persamaan 1.

$$\%A = \frac{(V_b - V_s) \times N \times 4,305}{W} \dots \dots \dots (1)$$

%A: Kadar Asetil

$V_b$ : volume HCl blanko

$V_s$ : Volume HCl sampel

N: Konsentrasi HCl

4,305: faktor konversi gugus asetil

W: Massa sampel

Persamaan yang digunakan untuk menghitung derajat substitusi (DS) dihitung menggunakan persamaan 2.

$$DS = \frac{162 \times \%Asetil}{4.300 - (42 \times \%Asetil)} \dots \dots \dots (2)$$

162: massa molekul unit unhidroglukosa (  $C_6H_{10}O_5$  )

%Asetil: persen massa gugus asetil dalam selulosa asetat

42: massa gugus asetil setelah kehilangan H (g/mol)

4300: konstanta untuk konversi persentase menjadi DS dalam satuan standar

Untuk uji Kadar air suatu membran dapat dihitung menggunakan persamaan 3.

$$swelling(\%) = \frac{W_{basah} - W_{kering}}{W_{kering}} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

Untuk Uji permeabilitas (Fluks) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.

$$J = \frac{V}{A \times \Delta t} \dots \dots \dots (4)$$

J = Fluks (L/m<sup>2</sup>. Jam)

V = volume air (L)

A = luas permukaan membran (m<sup>2</sup>)

$\Delta t$  = waktu (jam)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sintesis Selulosa Asetat

Hasil sintesis diperoleh dalam bentuk padatan berwarna putih yang kemudian dikeringkan sebelum dilakukan karakterisasi lebih lanjut. Sintesis tersebut menghasilkan 7,5 gram Selulosa Asetat. Hasil sintesis membran selulosa asetat dapat dilihat pada Gambar 1

**Gambar 1. Hasil Sintesis Selulosa Asetat**



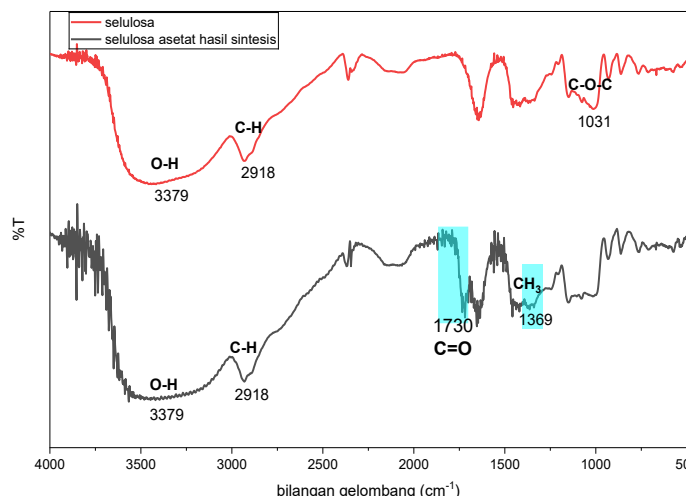
Sintesis selulosa asetat berhasil menghasilkan produk berupa serbuk berwarna putih kekuningan yang diperoleh melalui reaksi asetilasi  $\alpha$ -selulosa menggunakan anhidrida asetat dengan katalis asam sulfat. Terbentuknya selulosa asetat menunjukkan bahwa gugus hidroksil pada rantai selulosa telah mengalami substitusi oleh gugus asetil selama proses reaksi. Reaksi asetilasi berlangsung melalui mekanisme substitusi nukleofilik, di mana gugus hidroksil selulosa bereaksi dengan anhidrida asetat sehingga menghasilkan gugus ester asetat pada struktur polimer. Keberhasilan proses asetilasi didukung oleh hasil karakterisasi FTIR yang menunjukkan munculnya pita serapan karakteristik gugus karbonil ester ( $C=O$ ) pada sekitar  $1730\text{ cm}^{-1}$  dan pita vibrasi gugus metil asetil pada sekitar  $1369\text{ cm}^{-1}$ . Munculnya gugus fungsi tersebut menunjukkan bahwa proses substitusi telah berlangsung dan menghasilkan turunan selulosa berupa selulosa asetat. Selain itu, pita serapan pada sekitar  $1031\text{ cm}^{-1}$  yang berkaitan dengan vibrasi  $C-O$  masih teramati, mengindikasikan bahwa kerangka utama selulosa tetap dipertahankan setelah proses asetilasi.

Nilai derajat substitusi yang diperoleh sebesar 2,3 menunjukkan bahwa asetilasi berlangsung pada tingkat substitusi sedang. Nilai ini mengindikasikan bahwa sebagian gugus hidroksil pada unit anhidroglukosa telah digantikan oleh gugus asetil, namun belum mencapai substitusi penuh. Derajat substitusi tersebut berada dalam rentang yang umum digunakan untuk aplikasi membran karena masih mempertahankan sifat hidrofilik tertentu sekaligus meningkatkan kelarutan dalam pelarut organik. Hasil uji kelarutan yang menunjukkan bahwa produk dapat larut dalam aseton, diklorometana, dan dimetilformamida semakin mendukung keberhasilan sintesis selulosa asetat.

## Karakterisasi hasil sintesis selulosa asetat

### a) Uji gugus fungsi FTIR

Spektrum FTIR selulosa asetat menunjukkan pita serapan pada bilangan gelombang sekitar  $1730\text{ cm}^{-1}$ ,  $1369\text{ cm}^{-1}$ , dan  $1031\text{ cm}^{-1}$ . Pita serapan pada  $1730\text{ cm}^{-1}$  merupakan puncak dengan intensitas yang jelas, sedangkan pita pada  $1369\text{ cm}^{-1}$  dan  $1031\text{ cm}^{-1}$  juga terdeteksi pada spektrum hasil sintesis. Nilai derajat substitusi (DS) yang dihitung berdasarkan data spektrum FTIR diperoleh sebesar 2,3. Spektrum FTIR hasil sintesis selulosa asetat ditunjukkan pada gambar 2



**Gambar 2 Hasil Spektrum FTIR Sintesis**

Perbandingan spektrum FTIR selulosa dan selulosa asetat pada Gambar 2 menunjukkan terjadinya perubahan gugus fungsi setelah proses asetilasi. Keberhasilan sintesis selulosa asetat ditunjukkan oleh munculnya pita serapan pada bilangan gelombang sekitar  $1730\text{ cm}^{-1}$  yang berkaitan dengan vibrasi gugus karbonil ester ( $\text{C}=\text{O}$ ). Pita ini tidak ditemukan pada spektrum selulosa sehingga menunjukkan terbentuknya gugus ester akibat reaksi antara gugus hidroksil selulosa dan anhidrida asetat.

Selain itu, muncul pita serapan pada sekitar  $1369\text{ cm}^{-1}$  yang berhubungan dengan vibrasi gugus metil ( $\text{CH}_3$ ) dari gugus asetil. Keberadaan pita ini semakin memperkuat bahwa gugus asetil telah terikat pada struktur selulosa. Munculnya kedua pita karakteristik tersebut menunjukkan bahwa proses asetilasi berlangsung dengan baik dan menghasilkan selulosa asetat.

Pita serapan O-H pada daerah sekitar  $3379\text{ cm}^{-1}$  masih terdeteksi pada spektrum selulosa asetat, yang menunjukkan bahwa tidak seluruh gugus hidroksil mengalami substitusi. Hal ini mengindikasikan bahwa asetilasi berlangsung secara parsial, yang sejalan dengan nilai derajat substitusi yang diperoleh.

### b) Penentuan Derajat Substitusi (DS) melalui Spektroskopi

Nilai DS sebesar 2,30 menunjukkan bahwa sebagian besar gugus hidroksil pada unit anhidroglukosa telah tergantikan oleh gugus asetil. Nilai ini berada pada kategori

selulosa asetat dengan tingkat substitusi tinggi dan mendekati rentang selulosa diasetat (DS 2,0–2,5). Tingginya nilai DS mengindikasikan bahwa reaksi asetilasi berlangsung secara efektif sehingga jumlah gugus asetil yang terikat pada rantai selulosa meningkat. Peningkatan jumlah gugus asetil menyebabkan berkurangnya gugus hidroksil bebas yang bersifat hidrofilik dan meningkatkan sifat organofilik selulosa asetat. Kondisi ini sejalan dengan hasil uji kelarutan yang menunjukkan bahwa selulosa asetat hasil sintesis dapat larut dalam aseton, DCM, dan DMF. Selain itu, nilai DS yang tinggi juga mendukung pembentukan membran yang lebih stabil karena interaksi antarrantai polimer didominasi oleh gugus asetil yang telah terbentuk selama proses asetilasi.

#### c) Uji kelarutan

Karakterisasi selulosa asetat hasil sintesis dilakukan melalui uji kelarutan menggunakan pelarut aseton, diklorometana (DCM), dan imetilformamida (DMF). Pengujian dilakukan dengan melarutkan 0,3 gram sampel dalam masing masing 10ml pelarut, kemudian diamati perubahan yang terjadi. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa selulosa asetat larut dalam ketiga pelarut dan membentuk larutan yang homogen. Perubahan ini menyebabkan berkurangnya jumlah ikatan hidrogen antar rantai selulosa yang sebelumnya sangat kuat, sehingga struktur menjadi lebih longgar dan kurang kristalin. Penurunan ikatan hidrogen tersebut membuat rantai polimer lebih mudah dipisahkan oleh molekul pelarut. Selain itu, gugus karbonil ( $C=O$ ) pada selulosa asetat dapat berinteraksi dengan molekul pelarut melalui gaya tarik-menarik lemah, sehingga pelarut lebih mudah masuk kedalam struktur polimer dan membantu proses pelarutan. Dengan demikian, selulosa asetat menjadi lebih mudah larut dalam pelarut organik seperti aseton, diklorometana (DCM), dan dimetilformamida (DMF) karena perubahan struktur kimia akibat proses asetilasi.

#### Pembuatan membran Selulosa Asetat-Silika

Pembuatan membran selulosa asetat-silika berhasil menghasilkan empat variasi membran, yaitu membran tanpa penambahan silika (0%) serta membran komposit dengan konsentrasi silika 5, 10, dan 15%. Seluruh membran yang dihasilkan berbentuk lembaran film padat dengan permukaan yang utuh setelah proses pengeringan. Membran yang diperoleh kemudian diberi kode CA-SiO<sub>2</sub> 0, CA-SiO<sub>2</sub> 5, CA-SiO<sub>2</sub> 10, dan CA-SiO<sub>2</sub> 15% untuk memudahkan proses karakterisasi dan pengujian selanjutnya. Terbentuknya membran dalam bentuk film padat menunjukkan bahwa proses evaporasi pelarut berlangsung dengan baik, di mana aseton sebagai pelarut utama menguap secara bertahap sehingga memungkinkan terbentuknya jaringan polimer selulosa asetat. Pada sistem komposit, keberadaan nanosilika (SiO<sub>2</sub>) berperan sebagai pengisi (filler) yang terdispersi dalam matriks polimer dan berpotensi memengaruhi struktur mikro membran yang terbentuk. Peningkatan konsentrasi SiO<sub>2</sub> dapat meningkatkan interaksi antara partikel anorganik dengan rantai polimer selulosa asetat, sehingga berkontribusi terhadap kestabilan struktur membran setelah proses pengeringan.

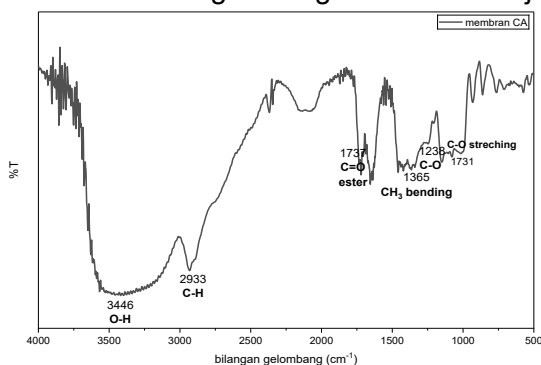
## Karakterisasi membran Selulosa Asetat-Silika

### a) Uji ketahanan pH

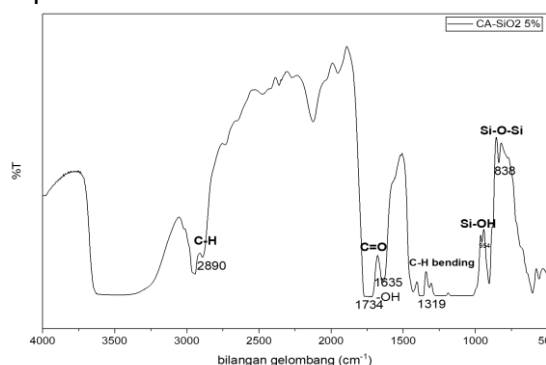
Hasil uji ketahanan pH menunjukkan bahwa seluruh membran CA-SiO<sub>2</sub> (0, 5, 10, dan 15%) masih mampu mempertahankan bentuk dasarnya setelah perendaman selama 24 jam dalam media asam (HCl 0,1 M), netral (akuades), dan basa (NaOH 0,1 M). Pada media netral, seluruh membran tetap utuh tanpa perubahan fisik yang signifikan. Pada media asam, membran mengalami sedikit peningkatan kelunakan, namun tidak menunjukkan kerusakan struktur yang terlihat secara visual. Sementara itu, pada media basa terjadi peningkatan kelunakan dan penurunan kekuatan mekanik yang lebih jelas dibandingkan media asam dan netral. Meskipun demikian, seluruh membran tetap mempertahankan bentuk utamanya tanpa mengalami kerusakan atau disintegrasi selama proses perendaman.

### b) Analisa Gugus Fungsi FTIR

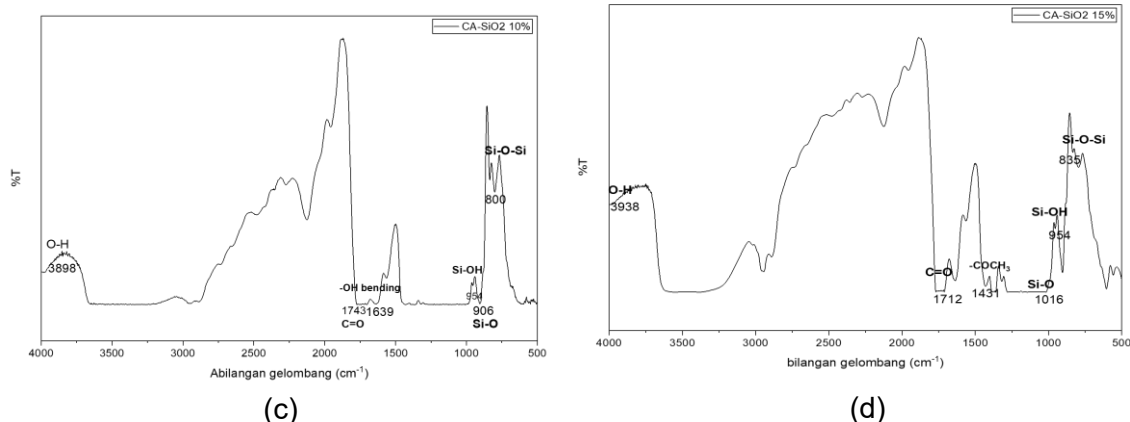
Hasil karakterisasi FTIR membran CA-SiO<sub>2</sub> menunjukkan adanya beberapa pita serapan utama pada seluruh variasi membran. Pita serapan teramati pada daerah sekitar 3400 cm<sup>-1</sup>, 1730 cm<sup>-1</sup>, 1369 cm<sup>-1</sup>, serta 1030–1100 cm<sup>-1</sup>. Selain itu, pada membran dengan penambahan SiO<sub>2</sub> muncul pita serapan pada daerah 800–950 cm<sup>-1</sup> yang intensitasnya meningkat seiring kenaikan konsentrasi SiO<sub>2</sub>. Spektrum FTIR masing-masing membran disajikan pada Gambar 3.



(a)



(b)

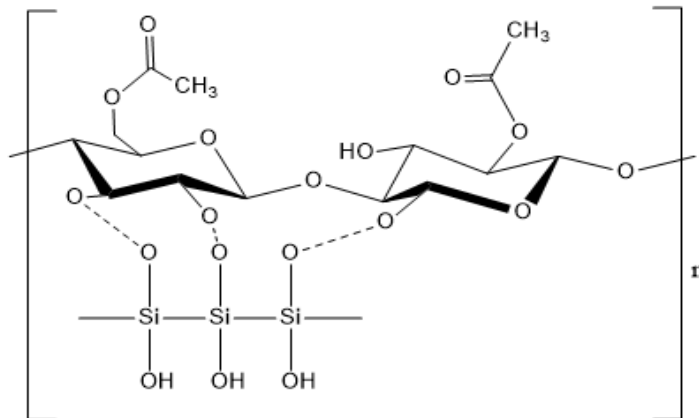


**Gambar 3. Hasil Spektrum FTIR (a) Membran kontrol (b) membran variasi CA-SiO<sub>2</sub> 5% (c) membran variasi CA-SiO<sub>2</sub> 10% (d) membran variasi CA-SiO<sub>2</sub> 15**

Hasil karakterisasi FTIR pada membran CA-SiO<sub>2</sub> menunjukkan keberadaan gugus fungsi khas selulosa asetat dan silika pada seluruh variasi konsentrasi. Pada membran kontrol (0%), teramati pita serapan pada sekitar 3400 cm<sup>-1</sup> (–OH), 2920 cm<sup>-1</sup> (C–H), 1730 cm<sup>-1</sup> (C=O ester), serta 1030–1100 cm<sup>-1</sup> (C–O), yang mengonfirmasi struktur khas selulosa asetat. Pada membran komposit CA-SiO<sub>2</sub> (5–15%), muncul pita serapan tambahan pada daerah sekitar 950–800 cm<sup>-1</sup> yang berkaitan dengan vibrasi Si–O–Si dan Si–OH. Intensitas pita ini cenderung meningkat seiring bertambahnya konsentrasi SiO<sub>2</sub>, menunjukkan keberhasilan integrasi silika ke dalam matriks membran.

Selain itu, pita utama selulosa asetat tetap teramati pada seluruh variasi tanpa munculnya gugus baru yang signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa interaksi antara selulosa asetat dan SiO<sub>2</sub> terjadi melalui interaksi fisik, seperti ikatan hidrogen, tanpa mengubah struktur kimia utama polimer. Keberadaan SiO<sub>2</sub> dalam matriks membran berpotensi meningkatkan sifat hidrofilisitas serta memodifikasi karakteristik permukaan membran.

Hasil menunjukkan bahwa SiO<sub>2</sub> terdispersi dalam matriks selulosa asetat tanpa mengubah struktur kimia utama polimer. Berdasarkan hasil tersebut, diusulkan model interaksi antara gugus oksigen pada selulosa asetat dan permukaan SiO<sub>2</sub> sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



#### Gambar 4. Model interaksi antara gugus oksigen pada selulosa asetat dan permukaan $\text{SiO}_2$

##### d) Uji Kadar Air Swelling

Hasil uji swelling menunjukkan adanya peningkatan masa membran setelah perendaman dalam aquades selama 24 jam. Nilai swelling membran dihitung berdasarkan perubahan massa sebelum dan sesudah perendaman. Data hasil pengujian swelling dapat dilihat dari Tabel 1 berikut

**Tabel 1. Data Hasil Pengujian Swelling**

| Konsentrasi (%) | Berat kering | Berat basah | Swelling (%) |
|-----------------|--------------|-------------|--------------|
| 0               | 0.0064       | 0.0091      | 42.19        |
| 5               | 0.0066       | 0.0097      | 46.97        |
| 10              | 0.0045       | 0.0065      | 44.44        |
| 15              | 0.0045       | 0.0059      | 31.11        |

Hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan nilai swelling pada setiap variasi konsentrasi  $\text{SiO}_2$ , dengan membran kontrol (0%) sebesar 42,19%, sedangkan membran CA- $\text{SiO}_2$  5, 10, dan 15% masing-masing sebesar 46,97, 44,44, dan 31,11%.

Secara umum, penambahan  $\text{SiO}_2$  memengaruhi kemampuan penyerapan air membran. Peningkatan swelling pada konsentrasi 5% menunjukkan bahwa distribusi  $\text{SiO}_2$  yang relatif homogen dapat menciptakan struktur membran yang masih terbuka, sehingga air lebih mudah berdifusi ke dalam matriks polimer. Pada konsentrasi 10%, terjadi penurunan nilai swelling yang mengindikasikan mulai terbentuknya struktur yang lebih rapat, namun keseimbangan antara sifat hidrofilik dan kestabilan membran masih terjaga.

Penurunan swelling yang signifikan pada konsentrasi 15% diduga disebabkan oleh peningkatan kerapatan struktur membran serta kemungkinan terjadinya aglomerasi partikel  $\text{SiO}_2$ . Kondisi ini mengurangi ruang kosong (free volume) dalam matriks membran sehingga difusi air menjadi lebih terbatas. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa variasi konsentrasi  $\text{SiO}_2$  berpengaruh terhadap struktur mikro membran yang pada akhirnya memengaruhi sifat hidrofilisitas dan kemampuan penyerapan air.

##### e) Uji Permeabilitas Fluks

Hasil pengujian fluks menunjukkan bahwa setiap variasi membrane CA- $\text{SiO}_2$  memiliki kemampuan aliran air yang berbeda. Pengujian dilakukan menggunakan aquades sebagai larutan umpan dengan volume filtrasi sebesar 50 ml dan diameter membran 7cm.

Nilai fluks diperoleh berdasarkan volume permeat yang melewati membrane terhadap luas membrane dan waktu filtrasi. Data hasil fluks dapat dilihat pada Tabel 2

**Tabel 2. Data Hasil Pengujian Fluks**

| Konsentrasi (%) | SiO <sub>2</sub> | Volum Permeat (mL) | Waktu filtrasi (Jam) | Nilai fluks (L/m <sup>2</sup> ·jam) | Hasil |
|-----------------|------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|-------|
| 0               |                  | 50                 | 0.086                | 230,2                               |       |
| 5               |                  | 48.0               | 0.0528               | 236,1                               |       |
| 10              |                  | 46.3               | 0.0847               | 141,8                               |       |
| 15              |                  | 47.7               | 0.1189               | 104,1                               |       |

menunjukkan bahwa membran CA murni memiliki nilai fluks tertinggi, yaitu 236,1 L/m<sup>2</sup>·jam, sedangkan membran CA–SiO<sub>2</sub> 0, 10, dan 15% masing-masing sebesar 230,2, 142, dan 104 L/m<sup>2</sup>·jam. Terlihat adanya penurunan fluks seiring meningkatnya konsentrasi SiO<sub>2</sub> dalam matriks membran.

Penurunan ini mengindikasikan bahwa penambahan SiO<sub>2</sub> memengaruhi struktur internal membran, terutama melalui peningkatan kerapatan matriks. Partikel SiO<sub>2</sub> diduga berinteraksi dengan gugus hidroksil selulosa asetat melalui ikatan hidrogen, sehingga memperkuat jaringan polimer dan mengurangi free volume. Akibatnya, ukuran pori efektif menjadi lebih kecil dan laju transport air menurun.

Tren penurunan fluks ini konsisten dengan hasil uji swelling, di mana kemampuan penyerapan air juga menurun pada konsentrasi SiO<sub>2</sub> yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kandungan SiO<sub>2</sub> menyebabkan struktur membran menjadi lebih kompak, sehingga permeabilitas terhadap air berkurang.

Meskipun demikian, struktur yang lebih rapat pada membran dengan kandungan SiO<sub>2</sub> tinggi berpotensi meningkatkan selektivitas filtrasi, khususnya dalam menahan partikel mikroplastik yang berukuran lebih besar dibandingkan ukuran pori membran.

Dengan

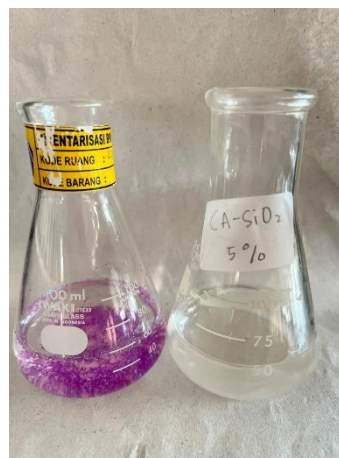
demikian, terjadi trade-off antara fluks dan kemampuan selektivitas membran.

### Filtrasi Mikroplastik

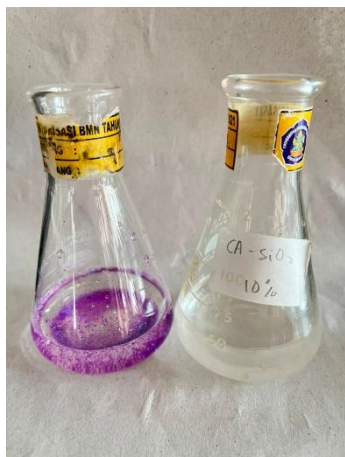
Hasil uji filtrasi mikroplastik menunjukkan bahwa seluruh variasi membrane selulosa asetat-SiO<sub>2</sub> dapat menahan partikel glitter secara visual sehingga tidak ditemukan partikel glitter pada permeat hasil filtrasi. Hasil filtrasi dapat dilihat pada Gambar 4



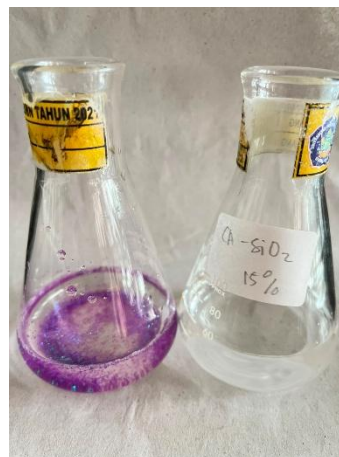
(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 4. Hasil Filtrasi Mikroplastik (a) Membran kontrol (b) membran variasi CA-SiO<sub>2</sub> 5% (c) membran variasi CA-SiO<sub>2</sub> 10% (d) membran variasi CA-SiO<sub>2</sub> 15**

Namun, waktu filtrasi menunjukkan adanya perbedaan pada masing-masing variasi membran. Membran dengan konsentrasi SiO<sub>2</sub> 5 dan 10% menunjukkan proses filtrasi yang lebih cepat dibandingkan dengan membran konsentrasi SiO<sub>2</sub> 15%. Data hasil filtrasi mikroplastik dapat ditampilkan pada tabel 3 berikut.

**Tabel 3. Data Hasil Filtrasi Mikroplastik**

| Konsentrasi<br>SiO <sub>2</sub><br>(%) | Waktu<br>filtrasi |
|----------------------------------------|-------------------|
| 0                                      | 165               |
| 5                                      | 190               |
| 10                                     | 258               |
| 15                                     | 375               |

Perbedaan waktu filtrasi menunjukkan bahwa konsentrasi SiO<sub>2</sub> berpengaruh terhadap permeabilitas membran. Membran dengan konsentrasi SiO<sub>2</sub> 5% dan 10% memiliki waktu filtrasi lebih singkat dibandingkan 15%, yang mengindikasikan laju aliran air lebih baik pada konsentrasi rendah hingga sedang. Performa yang lebih baik pada konsentrasi 5–10% diduga disebabkan oleh distribusi SiO<sub>2</sub> yang lebih homogen dalam matriks membran, sehingga meningkatkan sifat hidrofilik dan mendukung terbentuknya struktur pori yang lebih optimal untuk transport air. Sebaliknya, pada konsentrasi 15% terjadi peningkatan waktu filtrasi yang menunjukkan penurunan permeabilitas membran. Hal ini diduga akibat aglomerasi nanopartikel SiO<sub>2</sub> yang menyebabkan struktur membran menjadi lebih rapat atau sebagian pori tertutup, sehingga hambatan aliran air meningkat. Meskipun demikian, seluruh membran tetap menunjukkan kemampuan yang baik dalam menahan partikel mikroplastik (glitter) selama proses filtrasi.

### **SIMPULAN**

Penelitian membran selulosa asetat (CA) dengan penambahan SiO<sub>2</sub> berhasil disintesis melalui metode solution casting dengan variasi konsentrasi SiO<sub>2</sub>. FTIR menunjukkan keberadaan gugus Si–O–Si dan Si–OH yang meningkat seiring kenaikan SiO<sub>2</sub>, sementara gugus utama CA tetap terjaga, menandakan tidak adanya perubahan struktur kimia utama dan hanya interaksi fisik. Uji swelling menunjukkan bahwa penambahan SiO<sub>2</sub> memengaruhi kemampuan penyerapan air akibat perubahan struktur jaringan, densitas, dan distribusi partikel dalam membran. Secara keseluruhan, variasi SiO<sub>2</sub> berperan dalam memodifikasi sifat fisik membran, terutama porositas dan interaksi permukaan, sehingga dapat digunakan untuk mengatur karakteristik membran sesuai kebutuhan aplikasi.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi selama proses penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Organik dan BioKimia Universitas Pendidikan Ganesha atas fasilitas dan dukungan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini

**DAFTAR PUSTAKA**

- Aziz, S., Mazhar, A. R., Ubaid, A., Riaz, Y., Talha, T., & Jung, D. W. (2024). A Comprehensive Review Of Membrane-Based Water Filtration Techniques. *Applied Water Science*, 14, 223.
- Benson, N. U., Agboola, O. D., & Fred-Ahmadu, O. H. (2022). Micro(Nano)Plastics Prevalence, Food Web Interactions, And Toxicity Assessment In Aquatic Organisms: A Review. *Frontiers In Marine Science*, 9, 851281. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.851281>
- Budiarti, E. C. (2021). Identifikasi Mikroplastik Pada Feses Manusia. *Environmental Pollution Journal*, 1(2).
- Cahyani, A. S., & Kusuma, S. B. W. (2025). Synthesis Of Cellulose Acetate Based On Coconut Coir (*Cocos Nucifera* L.) And Its Application On Bioplastic Fabrication. *Indonesian Journal Of Chemical Science*, 14(1), 55–67.
- Fitri, R. F. (2025). Tinjauan Komprehensif Berbagai Teknologi Pengolahan Air Terproduksi Pada Industri Migas. *Journal Of Sciencetech Research And Development*, 7(2), 191–218.
- Kusumastuti, E., Susilaningsih, E., Sulistyani, M., Mu'Tazam, M., Fadzillah, A. M., & Atmaja, L. (2021). Karakteristik Material Hibrida Kitosan-Geopolimer Dan Potensinya Dalam Aplikasi Membran Polimer Elektrolit. Dalam *Pemanfaatan Sumber Daya Alam Indonesia: Ketahanan Pangan, Energi Dan Material Maju* (Hlm. 65–94).
- Leslie, H. A., Van Velzen, M. J. M., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J., & Lamoree, M. H. (2022). Discovery And Quantification Of Plastic Particle Pollution In Human Blood. *Environment International*, 163, 107199. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
- Pan, Y., Gao, S., Ge, C., Gao, Q., Huang, S., & Wang, A. (2023). Removing Microplastics From Aquatic Environments: A Critical Review. *Environmental Science And Ecotechnology*, 13, 100222. <https://doi.org/10.1016/j.esec.2022.100222>
- Rahman, A., Sarkar, A., Yadav, O. P., Achari, G., & Slobodnik, J. (2021). Occurrence, Fate And Remediation Of Microplastic Contamination In The Environment: A Review. *Science Of The Total Environment*, 143872. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143872>
- Souhoka, F. A., & Latupeirissa, J. (2018). Sintesis Dan Karakterisasi Selulosa Asetat (CA). *Molluca Journal Of Chemistry Education*, 5(2), 58–62.
- Sudarman, N. F. (2023). *Analisis Risiko Pajanan Mikroplastik (Polyethylene) Melalui Konsumsi Kerang Darah (Anadara Granosa) Pada Masyarakat Di Kawasan Pesisir Desa Pao Kecamatan Tarawang Kabupaten Jeneponto Tahun 2023* (Doctoral Dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Sulaiman, I., & Khairi, I. (2026). *Rekam Jejak Mikroplastik*. USK Press.
- Vatanpour, V., Pasaoglu, M. E., Barzegar, H., Teber, O. O., Kaya, R., Bastug, M., Khataee, A., & Koyuncu, I. (2022). Cellulose Acetate In Fabrication Of Polymeric Membranes: A Review. *Chemosphere*, 295, 133914. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133914>

Xiang, P., Zhang, T., Wu, Q., & Li, Q. (2023). Systematic Review Of Degradation Processes For Microplastics: Progress And Prospects. *Environmental Science And Ecotechnology*, 13, 100222.