

KAJIAN SELULOSA BAKTERI (*ACETOBACTER XYLLINUM*) TERMODIFIKASI PVA SEBAGAI BIOMEMBRAN FILTRASI LIMBAH PEWARNA BATIK

Narindra Maulina Yonar, Anang Takwanto, Arief Rahmatulloh

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

2141420054@student.polinema.ac.id ; [anang.takwanto@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Batik merupakan salah satu komoditas tekstil yang produktivitas mengalami peningkatan. Disisi lain, proses produksi batik menghasilkan limbah cair yang membahayakan masyarakat dan lingkungan. Salah satu inovasi untuk mengatasi masalah tersebut adalah filtrasi limbah dengan membran selulosa produk bakteri *Acetobacter xylinum* dengan media limbah kulit nanas yang *biodegradable*, terjangkau, dan memiliki sifat abrasi yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menelaah pembuatan biomembran yang efektif dan ramah lingkungan berasal dari limbah kulit nanas. Pembuatan membran menggunakan jus kulit nanas yang diinkubasi dengan *Acetobacter xylinum* dan diperoleh *nata de pina* dengan tebal 0,4 mm yang selanjutnya diimpregnasi polivinil alkohol (PVA). Pengujian secara fisik menunjukkan semakin tinggi perendaman biomembran dalam larutan PVA semakin rendah nilai rejeksi dan porositasnya. Hasil pengujian mengenai kemampuan filtrasi menunjukkan biomembran dengan PVA 2,5% mampu menurunkan BOD, COD, TSS, dan pH secara optimal sebesar 42,37%, 48,76%, 51,44%, dan 33,10%. Hasil tersebut memenuhi standar baku mutu limbah tekstil Republik Indonesia. Sementara itu, biomembran dengan PVA 2% memiliki nilai tensile strength paling optimal sebesar 23,8 Mpa. Hasil FTIR menunjukkan pergeseran sulus bilangan gelombang dengan rantai O-H, C-H, dan C=C yang merupakan tanda keberadaan selulosa. Dengan demikian, biomembran *nata de pina* dengan impregnasi PVA berpotensi dikembangkan sebagai agen filtrasi limbah cair pada pembuatan batik.

Kata kunci: *Acetobacter xylinum*, biomembran, filtrasi, kulit nanas, limbah cair

ABSTRACT

Batik is one of typical textile commodities whose productivity has increased. On other hand, the production process of batik produces liquid waste which is harmful to society and environment. An innovation to solve this problem is waste filtration using a cellulose membrane produced by Acetobacter xylinum using pineapple peel waste media which is biodegradable, affordable and has low abrasion properties. The research aims to examine the making process of effective and environment friendly biomembrane from pineapple peel waste. The membrane was made using pineapple peel juice which was incubated with Acetobacter xylinum and obtained nata de pina with a thickness of 0.4 mm which was then impregnated with polyvinyl alcohol (PVA). Physical testing shows that the higher the immersion of the biomembrane in the PVA solution, the lower the rejection and porosity values. Test results regarding filtration capabilities show that biomembrane with 2.5% PVA are able to optimally reduce BOD, COD, TSS and pH by 42.37%, 48.76%, 51.44% and 33.10%. These results meet the quality standards for textile waste of the Republic of Indonesia. Meanwhile, biomembrane with 2% PVA has the most optimal tensile strength value of 23.8 Mpa. FTIR results show wavenumber tendril shifts with chains O-H, C-H, and C=C which are signs of the presence of cellulose. In conclusion, nata de pina biomembrane with PVA impregnation has the potential to be developed as a liquid waste filtration agent in batik making.

Keywords: *Acetobacter xylinum*, biomembrane, filtration, liquid waste, pineapple peel

Corresponding author: Anang Takwanto

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: anang.takwanto@polinema.ac.id



1. PENDAHULUAN

Batik Malangan merupakan produk UMKM khas Kota Malang yang diproduksi dari skala rumahan hingga industri menengah yang menjadi salah satu produk tumpuan pariwisata dan ekonomi kreatif yang dikenal hingga mancanegara. Pada kuartal kedua 2023, peminat batik Malangan mengalami peningkatan penjualan cukup signifikan mencapai 40% dibandingkan periode sebelumnya dikarenakan batik ini memiliki motif yang khas seperti topeng Bapang dan tugu Malang [1]. Hal ini memberikan dampak positif pada ekonomi masyarakat sekitar namun berdampak buruk pada lingkungan. Menurut Nurroisah [2] produksi batik skala UMKM dapat menghasilkan limbah cair sebesar 15 hingga 20 liter per harinya. Salah satu jenis limbah yang dihasilkan selama proses produksi batik adalah limbah zat warna yang mengandung garam diazonium, NaOH, asam sulfat, senyawa organik, serta logam berat [3]. Hal berbahaya lainnya adalah akumulasi senyawa organik dan/atau logam berat dengan kadar tinggi dalam siklus rantai makanan akan menyebabkan penyakit bagi makhluk hidup yang terlibat [4]. Oleh karena itu, diperlukan cara pengolahan hasil buangan limbah cair batik yang akan dibuang agar dari limbah tersebut sesuai dengan kadar baku mutu yang ditetapkan dan aman bagi lingkungan.

Indonesia merupakan salah satu negara tropis dengan biodiversitas flora dan fauna yang tinggi, salah satu komoditas flora yang menjadi primadona yaitu nanas [5]. Menurut Badan Pusat Statistik (2022) produktivitas nanas di Jawa Timur dapat mencapai 357.505 ton per tahunnya. Hal ini berbanding terbalik dengan pemanfaatan bagian buah nanas pada masyarakat [6]. Pada umumnya, masyarakat mengonsumsi daging buah nanas sedangkan kulit buah nanas dibuang sia-sia. Padahal, dalam kulit nanas terkandung 20,87% serat kasar, 17,53% karbohidrat, serta 13,65% gula reduksi [7]. Gula yang terkandung pada kulit nanas terdiri dari arabinosa, xilosa, manosa, galaktosa, non-cellulosic glukosa, cellulosic glukosa, asam uronat dan lignin [8]. Kandungan serat dan gula yang dimiliki oleh kulit buah nanas mengindikasikan adanya potensi kulit nanas menjadi media starter bagi bakteri *Acetobacter xylinum* untuk menjadi *bacterial cellulose* [9]. Penelitian yang dilakukan oleh cellulose dari limbah kulit nanas dapat dimanfaatkan sebagai membran mikrofiltrasi yang biodegradable, murah, terbarukan, sifat abrasif rendah, dan sifat spesifik yang menarik. Oleh karena itu, penelitian yang berfokus dalam mengeksplorasi pemanfaatan limbah kulit nanas sebagai membran filtrasi untuk permasalahan limbah cair batik.

Dalam pembuatan membran komposit yang solid diperlukan matriks yang digunakan untuk melengkapi filling seperti polivinil alkohol (PVA) dan kitosan. PVA memiliki polaritas yang menyerupai dengan kitosan dengan harga yang lebih murah dan lebih ramah lingkungan karena sifatnya yang biodegradable. Selain itu, PVA juga mampu menyempurnakan konduktivitas proton sehingga dapat 3 meningkatkan hidrofilitas dan anti-fouling [10]. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan pembuatan biomembran nata de pina sebagai media filtrasi yang ter-impregnasi PVA yang dilanjutkan dengan beberapa pengujian kualitas membran dan efektivitas filtrasi sehingga produk yang dihasilkan diharapkan dapat diproduksi dan menjadi solusi yang berlandaskan ekonomi hijau sirkuler yang berkelanjutan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Riset dilaksanakan secara luring di Laboratorium Riset 1, Laboratorium Kimia Dasar, Laboratorium Kimia Analis dan Instrumentasi, Laboratorium Pengolahan Limbah Jurusan

Teknik Kimia Politeknik Negeri Malang dan Laboratorium Uji Material, Universitas Negeri Malang dalam rentang waktu Juli–September 2023.

2.1. Pembuatan Nata de Pina

Kulit nanas yang telah dibersihkan sebanyak 400 gram dihaluskan menggunakan blender dengan menambahkan 800 mL akuades. Campuran tersebut kemudian disaring hingga selanjutnya dipanaskan dengan satu set alat pemanas dan ditambahkan 120 gram gula, 2 gram NPK, 4 gram ZA, dan 4 mL asam asetat. Setelah dingin, starter bakteri *Acetobacter xylinum* dimasukkan sebanyak 215 mL ditempatkan pada wadah berukuran 20 x 20 cm yang sudah disemprotkan alkohol 70%. Selanjutnya, campuran yang sudah dituang ditutup dengan aluminium foil dan diinkubasi selama 7 hari dengan suhu ruang. Setelah itu, bacterial cellulose yang sudah terbentuk direndam dengan menggunakan NaOH 1% selama 24 jam dan dicuci dengan menggunakan akuades lalu dikeringkan dengan menggunakan oven dengan suhu 40°C selama 20 menit.

2.2. Pembuatan Biomembran dan Impregnasi PVA

Bacterial cellulose yang sudah kering dilakukan pemotongan sebesar 10 cm x 10 cm. Kemudian ditimbang kebutuhan PVA (1%, 1,5%, 2%, dan 2,5%) dengan basis 100 mL akuades menggunakan neraca analitis. Bacterial cellulose yang sudah dipotong kemudian direndam dalam larutan PVA selama 24 jam dengan suhu 37°C. Setelah 24 jam, biomembran perlakuan diangkat dan di-blooting permukaannya dengan tisu lalu di-oven selama 40°C selama 20 menit [11].

2.3. Uji Kualitas Membran

a. Uji Porositas Biomembran

Amiyati (2017) memaparkan bahwa porositas dapat dihitung dengan menentukan perbandingan antara volume pori terhadap volume total membran (seperti rumus 1) [12]. Densitas membrane dapat dicari menggunakan piknometer [13].

$$P(\%) = \frac{w_1 - w_2}{\rho_w \cdot V_t} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan

W_1 = berat basah membran (g)

W_2 = berat kering membran (g)

ρ_w = densitas air (g/cm³)

$V_t = \frac{w_1 - w_2}{\rho_w} + \frac{w_2}{\rho_{md}}$ = volume membrane basah (cm³)

P_{md} = densitas membran

b. Uji Fluks Biomembran

Membran dipotong berbentuk lingkaran dengan diameter 7 cm kemudian diletakkan pada perangkat filtrasi dan dialiri air sebanyak 20 mL selanjutnya diukur waktu yang diperlukan air untuk dapat melalui membran. Film yang diperoleh kemudian dipotong berbentuk lingkaran dengan lebar 7 cm yang disesuaikan dengan corong. Setelah itu, dilakukan proses filtrasi secara vakum. Penentuan fluks air diperoleh dengan mengukur banyaknya volume air yang melewati tiap satuan luas permukaan membran per satuan waktu [14]. Perhitungan dapat dilakukan dengan rumus (2).

$$Jv = \frac{V}{A.t} \quad (2)$$

Keterangan

- J_v = fluks air (L/Jam.m²)
 V = volume air (L)
 A = luas permukaan (m²)
 t = waktu (jam)

2.4. Uji Kemampuan Filtrasi

a. Uji Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Analisis kadar COD dilakukan menggunakan metode titrasi dikromat menggunakan larutan standar ferro-ammonium sulfat. Langkah pertama ditambahkan 0,4 gram HgSO₄ dan 20 mL akuades ke dalam erlenmeyer lalu dihomogenkan. Setelah itu ditambahkan 10 mL larutan standar K₂CrO₇ dan 30 mL H₂SO₄ yang mengandung Ag₂SO₄ lalu dilanjutkan proses reflus selama 2 jam. Kemudian ditambahkan 2-3 tetes indikator ferroin dalam titrasi dikromat menggunakan larutan standar ferro-ammonium sulfat.

b. Uji Kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Analisis kadar BOD dilakukan dengan menetralkan hasil filtrasi limbah cair batik hingga pH 7 dengan menambahkan larutan asam/basa. Setelah itu, ditambahkan 2 mL MnSO₄.H₂O dan 2 mL alkali-iodida lalu dihomogenkan. Setelah diendapkan selama 10 menit, pisahkan larutan jernih ke erlenmeyer, lalu ditambahkan 2 mL H₂SO₄ pekat. Dilakukan titrasi iodin dengan larutan tiosulfat 0,025 N dengan indikator berupa 1-2 mL kanji.

c. Uji Kadar *Total Suspended Solid* (TSS)

Analisis kadar TSS dimulai dengan menyiapkan biomembran mikron dan diletakkan dalam cawan porselen. Langkah dilanjutkan dengan membilas 5 biomembran dengan akuades dan di-oven pada suhu 105°C selama 1 jam lalu didinginkan dalam desikator selama 10 menit dan ditimbang. Setelah itu, kertas saring diletakkan dalam corong dan dilakukan penyaringan 100 mL sampel limbah cair batik. Hasil penyaringan dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C selama 1 jam lalu didinginkan dalam desikator selama 10 menit dan ditimbang.

d. Uji pH

Analisa kadar pH dilakukan menggunakan indikator pH universal, kertas pH dicelupkan ke dalam setiap sampel kemudian dilakukan analisa dengan petunjuk yang sudah tertera. Analisa kadar pH dilakukan sebelum dan sesudah uji kemampuan filtrasi.

2.5. Uji Disintegrasi Biomembran

Analisis uji fisik biomembran dilakukan dengan penyiapan spesimen biomembran kering yang telah diberikan perlakuan tanpa PVA, 1%, 1,5%, 2%, dan 2,5% untuk dibentuk dengan panjang 10 cm dan lebar 1 cm. Kemudian alat ASD MCT-2150 dan PC pembacaan dinyalakan, lalu spesimen yang sudah disiapkan ditempatkan pada ruang uji. Setelah itu pada PC dilakukan starting pengujian dan diperoleh data untuk dianalisis.

2.6. Uji FTIR Biomembran

Pengujian FTIR dilakukan dengan menyiapkan nata yang berbentuk lembaran dipotong dengan ukuran 2x2 cm. Setelah itu, nata dimasukkan ke dalam tempat sampel untuk selanjutnya dimasukkan ke dalam instrumen FTIR Spectrophotometer

8400S/Shimadzu dalam suhu 20°C. Dengan menggunakan bilangan gelombang 450-4500 cm⁻¹ selanjutnya lampu dinyalakan tepat mengenai sampel [15].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pembahasan Nata de Pina

Bahan uji yang digunakan adalah limbah kulit nanas dengan waktu pembuangan kurang lebih 1 hari dengan jenis *Ananas comosus*. Pembuatan nata dilakukan dengan inkubasi selama 14 hari dengan bantuan starter *Acetobacter xylinum* dan booster pupuk NPK, ZA, serta asam asetat dan dihasilkan nata de pina dengan spesifikasi ketebalan 0,4 mm (Gambar 1a)



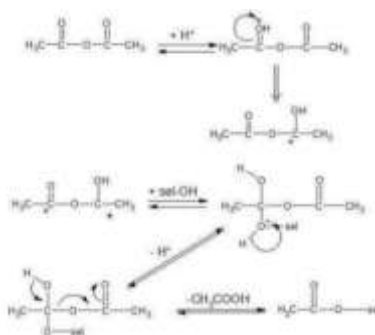
(a)



(b)

Gambar 1. Selulosa bakteri limbah kulit nanas hasil inkubasi (a) Sebelum pengeringan (b) Setelah pengeringan

Nata de pina kemudian dinetralkan dan dikeringkan (Gambar 1b) karena kandungan air pada selulosa akan bereaksi dengan anhidrida asetat membentuk asam asetat ketika proses asetilasi. Sintesis selulosa asetat melalui tiga tahap yaitu aktivasi selulosa, asetilasi, dan hidrolisis. Aktivasi selulosa menggunakan asam asetat glasial bertujuan untuk menarik air yang masih tersisa di dalam selulosa dan menyebabkan *swelling* pada serat-serat selulosa sehingga dapat membantu peningkatan reaktivitas selulosa terhadap reaksi asetilasi [16]. Asetilasi dilakukan dengan mereaksikan selulosa teraktivasi dengan anhidrida asetat dan asam sulfat pekat sebagai katalis. Mekanisme reaksi asetilasi (Gambar 2) diawali dengan protonasi asetat anhidrida oleh asam sulfat. Selanjutnya, gugus hidroksil dari selulosa yang bersifat nukleofil akan menyerang anhidrida asetat, yang kemudian terurai menjadi selulosa asetat dan asam asetat [16].



Gambar 2. Mekanisme reaksi asetilasi.

3.2. Uji Kualitas Biomembran

Uji kualitas biomembran dilakukan dengan dua cara yakni uji porositas dan uji fluks, Nilai fluks dan rejeksi merupakan parameter utama dalam menilai kinerja membran [17]. Uji porositas dihitung dengan menentukan perbandingan antara volume pori terhadap volume total membran [13]. Hasil uji porositas membran divisualisasikan dalam Tabel 1 dan Grafik 1 didapatkan hasil persentase porositas membran sebesar 52,345% sedangkan untuk porositas membran ter-impregnasi relatif menurun seiring penambahan persentase konsentrasi PVA. Hal ini mengindikasikan bahwasanya semakin tinggi konsentrasi impregnasi PVA yang digunakan maka semakin lama kontak antara membran dan permeate yang digunakan. Hasil data yang didapatkan telah sesuai dengan penelitian Sugita dkk. (2018) yang memaparkan bahwa semakin tinggi semakin tinggi porositas suatu membran maka semakin banyak jumlah permukaan yang berpori pada membran tersebut sehingga jumlah permeate yang mampu dilewatkan dalam satu waktu juga semakin besar [17].

Tabel 1. Karakterisasi hasil perbandingan porositas

Perlakuan Variabel Impregnasi PVA pada Biomembran					
	0%	1%	1,5%	2%	2,5%
Porositas (%)	52,345	52,045	51,595	50,995	50,245

Sementara itu, penentuan fluks diperoleh dengan mengukur jumlah volume permeate berupa air yang melewati membran per satuan luas permukaan per satuan waktu [13]. Visualisasi data yang didapatkan dari nilai fluks air ditunjukkan pada Tabel 2 dan Grafik 2, dimana fluks membran awal sebesar 127,356 L/jam.m² dan menunjukkan penurunan nilai fluks setiap adanya perlakuan variabel impregnasi PVA. Hal ini selaras dengan penelitian Rusmaningsih, dkk. (2018), dimana fluks berbanding lurus dengan nilai porositas yang dihasilkan [17]. Apabila porositas semakin kecil akan memberikan nilai fluks yang semakin rendah karena pori yang ada pada membran semakin rapat memungkinkan molekul air sulit menembus membran hal ini terjadi karena adanya fouling berupa zat-zat pengotor pada membran sehingga lama kelamaan pori-pori membran akan tersumbat dan menurunkan tingkat fluks [18].

Tabel 2. Karakterisasi hasil perbandingan porositas

Perlakuan Variabel Impregnasi PVA pada Biomembran					
	0%	1%	1,5%	2%	2,5%
Fluks (L/h)	127,356	118,326	115,673	114,693	109,890

3.3. Uji Kemampuan Filtrasi

Hasil biomembran yang sudah diberikan perlakuan digunakan untuk pengujian karakteristik limbah cair batik. Uji filtrasi secara vakum dianalisis dengan cara perbandingan data-data yang sudah didapatkan. Berikut hasil dari nilai besaran BOD, COD, TSS, dan juga pH (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil karakterisasi limbah batik cair

Perlakuan Variabel Impregnasi PVA pada Biomembran						
	Limbah Batik Cair Awal	0%	1%	1,5%	2%	2,5%
COD (mg/L)	201,3	188	180	168	128	116
BOD (mg/L)	91,35	93	82	68	52,1	46,8
TSS (mg/L)	86,5	79	75,3	62,5	48	42
pH	4,6	4,9	5,4	5,8	6,2	6,7

Permukaan membran selulosa asetat dari kulit nanas memiliki pori sedangkan zat warna mempunyai ukuran molekul yang besar sehingga memungkinkan suatu molekul zat warna tersebut tertahan di permukaan membran sehingga kadar COD, BOD, TDS, TSS, Turbiditas dan pH-nya menjadi berkurang setelah melewati membran [19]. Data didapatkan hasil nilai COD, BOD, dan TSS biomembran nata de pina memiliki hasil uji penurunan terbaik pada perlakuan perendaman pada PVA 2,5%. Pada baku mutu limbah tekstil Indonesia sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 16 Tahun 2019 dipaparkan bahwa ambang batas maksimal COD, BOD, dan TSS berturut-turut sebesar 150 ppm, 60 ppm, dan 50 ppm. Sehingga, biomembran nata de pina yang diperoleh memenuhi persyaratan sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia.

3.4 Uji Disintegrasi

Biomembran juga diberikan perlakuan uji disintegrasi untuk mengetahui kualitas fisik produk yang telah digunakan. Uji disintegrasi dilakukan dengan menggunakan alat uji tarik AND MCT-2150. Masing-masing biomembran akan dibentuk dengan ukuran panjang 10 cm dan lebar 1 cm, spesimen tersebut akan diletakkan pada tempat capit uji tarik. Berikut merupakan data hasil uji disintegrasi yang sudah dilakukan sesuai Tabel 4.

Tabel 4. Karakterisasi hasil perbandingan porositas

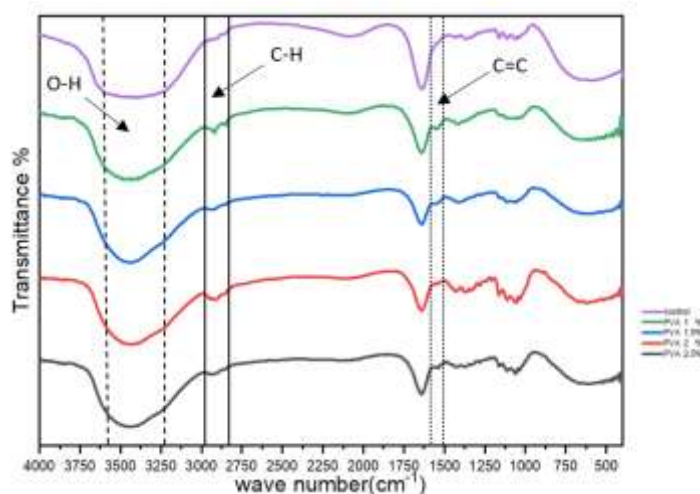
Perlakuan Variabel Impregnasi PVA pada Biomembran					
	0%	1%	1,5%	2%	2,5%
Tensile Strength (MPa)	24,61	25,13	25,55	26,8	25,36

Data didapatkan rata-rata tensile strength dari nata de pina berada di atas 25,49 Mpa dengan nilai tertinggi pada perlakuan variabel PVA 2,5% dan kembali turun pada hasil impregnasi 2,5%. Hal ini terjadi karena pada perlakuan impregnasi 2% memiliki interaksi antar molekul yang baik [13]. Hingga saat ini masih belum ada standar nasional yang memaparkan besaran *tensile strenght*.

3.5 Uji FTIR

Pada daerah gelombang 2850-2970 cm⁻¹ yang mana merupakan milik gugus C-H (alkana) yang merupakan milik selulosa [20] di mana pergeseran ini dibuktikan dengan bilangan gelombang yang awalnya 2916,47 cm⁻¹ pada variabel tanpa perlakuan menjadi 2850,88 cm⁻¹ (variabel 1%), 2922,25 cm⁻¹ (variabel 1,5%), dan 2916,47 cm⁻¹ (variabel 2%),

serta 2920,32 cm^{-1} (variabel 2,5%). Kemudian pada daerah gelombang 1500-1600 cm^{-1} milik cincin aromatik C=C yang menunjukkan pergeseran dan hilangnya peak. Pada sampel 1% terjadi pergeseran yang awalnya tidak ada menjadi 1548,89 cm^{-1} . Pada sampel 1,5% bertambah menjadi 1550,82 cm^{-1} dan peak C=C hilang ketika pada sampel 2%. Kemudian bertambah pada sampel 2,5% menjadi 1543,1 cm^{-1} . Berkurang dan hilangnya peak menunjukkan bahwa berkurangnya intensitas lignin pada sampel. Disisi lain, pada hasil spektrum FTIR selulosa terdapat puncak pada gelombang 3200-3600 cm^{-1} yang menunjukkan keberadaan gugus OH dimana gugus tersebut termasuk gugus fungsi utama selulosa [21] Dan didapatkan pergeseran gelombang terbesar yaitu 3446,91 cm^{-1} pada sampel 2,5%.



Gambar 2. Spektrum FTIR Selulosa bakteri *Acetobacter xylinum* limbah kulit nanas.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, selulosa bakteri dari limbah kulit nanas yang diimpregnasi PVA terbukti berpotensi digunakan sebagai membran mikrofiltrasi untuk pengolahan limbah cair batik. Peningkatan konsentrasi PVA meningkatkan kemampuan membran dalam menyaring zat pengotor. Membran dengan konsentrasi PVA 2,5% menunjukkan hasil filtrasi paling optimal, dengan persentase penurunan BOD, COD, TSS, dan pH masing-masing sebesar 42,37%, 48,76%, 51,44%, dan 33,10%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa membran selulosa bakteri terimpregnasi PVA dapat digunakan sebagai alternatif pengolahan limbah cair batik dan memenuhi baku mutu limbah tekstil berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 16 Tahun 2019.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengkaji variasi konsentrasi PVA yang lebih luas serta kondisi impregnasi dan proses filtrasi yang lebih optimal untuk memperoleh kinerja membran yang lebih baik. Selain itu, perlu dilakukan pengujian terhadap parameter kualitas limbah lainnya serta karakterisasi membran, seperti ketebalan, porositas, permeabilitas, dan ketahanan mekanik, sehingga dapat diketahui hubungan antara karakteristik membran dengan efektivitas penyisihan polutan.

REFERENSI

- [1] Mahmudan, "Ramadan, Penjualan Batik Khas Malang Meningkat 40 Persen," Malang, 2023.
- [2] E. Nurroisah, S. Indarjo, dan A. S. Wahyuningsih, "Keefektifan Aerasi Sistem Tray Dan Filtrasi Sebagai Penurun Chemical Oxygen Demand Dan Padatan Tersuspensi Pada Limbah Cair Batik," *Unnes Journal of Public Health*, 2014.
- [3] H. R. Fidiastuti dan A. S. Lathifah, "Uji Karakteristik Limbah Cair Industri Batik Tulungagung: Penelitian Pendahuluan," hal. 296–300, 2018.
- [4] E. Enrico, "Dampak Limbah Cair Industri Tekstil Terhadap Lingkungan Dan Aplikasi Tehnik Eco Printing Sebagai Usaha Mengurangi Limbah," *Moda*, vol. 1, no. 1, hal. 1–9, 2019.
- [5] A. Setiawan, "Keanekaragaman Hayati Indonesia: Masalah dan Upaya Konservasinya," 2022.
- [6] Badan Pusat Statistik (BPS), "Produksi Tanaman Buah-Buahan 2022." 2022.
- [7] F. N. Tari dan P. I. Kanny, "Effect Of Liquid Organic Fertilizer From Pineapple Skin And Moringa Leaves On Growth And Production Of Cayenne Pepper Plants (*Capsicum frutescens* L.) Under Automated Drip Irrigation," *Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 9, no. 1, hal. 117–131, 2025.
- [8] F. Salafia, A. Ferracane, dan A. Tropea, "Pineapple Waste Cell Wall Sugar Fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* for Second Generation Bioethanol Production," *Fermentation*, vol. 8, no. 3, hal. 100, 2022.
- [9] A. Urbaninggar, dan S. Fatimah, "Pengaruh Penambahan Ekstrak Kulit Nanas dan Gula pada Karakteristik Nata de Soya dari Limbah Cair Tahu," *Indonesian Journal of Chemical Analysis*, vol. 4, no. 2, hal. 82–91, 2021.
- [10] I. P. I. Azusano, R. A. C. Memije, dan L. L. Tayo, "Characterization of Bacterial Cellulose (Nata De Coco)/PVA Composite for Drug Delivery Application," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 8, no. 5, 2019.
- [11] W. Ding, Y. Li, M. Bao, J. Zhang, C. Zhang, dan J. Lu, "Highly permeable and stable forward osmosis (FO) membrane based on the incorporation of Al_2O_3 nanoparticles into both substrate and polyamide active layer," *Royal Society of Chemistry Advanced*, vol. 7, no. 64, hal. 40311–40320, 2017.
- [12] D. Alvianto, F. A. A. Nurhadi, A. W. Putranto, B. D. Argo, M. B. Hermanto, dan Y. Wibisono, "Sintesis dan Karakterisasi Membran Selulosa Asetat dengan Penambahan Antibiofouling Alami Ekstrak Bawang Putih," *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, vol. 18, no. 2, hal. 193, 2022.
- [13] L. M. Anovitz dan D. R. Cole, "Characterization and Analysis of Porosity and Pore Structures," *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, vol. 80, no. 1, hal. 61–164, 2018.
- [14] M. Pavel, C. Anastasescu, R.-N. State, A. Vasile, F. Papa, dan I. Balint, "Photocatalytic Degradation of Organic and Inorganic Pollutants to Harmless End Products: Assessment of Practical Application Potential for Water and Air Cleaning," *Catalysts*, vol. 13, no. 2, hal. 380, 2023.
- [15] R. Raturandang, D. R. Wenas, S. Mongan, dan C. Bujung, "Analisis Spektroskopi Ftir Untuk Karakterisasi Kimia Fisik Fluida Mata Air Panas Di Kawasan Wisata Hutan Pinus Tomohon Sulawesi Utara," *Jurnal Fisika dan Terapannya*, vol. 3, no. 1, hal. 28–33, 2022.

- [16] M. D. Islam, F. J. Uddin, T. U. Rashid, dan M. Shahruzzaman, “Cellulose acetate-based membrane for wastewater treatment—A state-of-the-art review,” *Advanced Functional Material*, vol. 4, no. 18, hal. 4054–4102, 2023.
- [17] I. K. Sugita, M. Mara, I. G. N. Priambadi, dan I. M. Nuarsa, “Pengaruh variasi ketebalan saluran dan temperatur tuang terhadap fluiditas dan porositas hasil pengecoran kuningan pada pengecoran evaporatif,” *Dinamika Teknik Mesin*, vol. 13, no. 1, hal. 84, 2023.
- [18] O. Sulaeman, “Desain Pengolahan Air Menggunakan Membran Ultrafiltrasi Kapasitas 50m³/Hari,” *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, vol. 11, no. 1, 2018.
- [19] I. M. Firdaus, F. Febiyanto, T. Fitriany, L. Z. Zulhidayah, D. A. Septiarini, dan O. D. Wibowo, “Synthesis of Cellulose Acetate-Polystyrene Membrane Composites from Pineapple Peel Wastes for Methylene Blue Removal,” *Al-Kimia*, vol. 7, no. 2, 2019.
- [20] J. Workman, “A Review of the Latest Research Applications Using FT-IR Spectroscopy,” *Journal of AOAC International*, vol. 39, no. 8, hal. 22–28, 2024.
- [21] R. Rachmawaty, M. Meriyani, dan I. S. Priyanto, “Sintesis Selulosa Diasetat Dari Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Dan Potensinya Untuk Pembuatan Membran,” 2013.