

# ANALISA PERFORMA BIOMEMBRAN FILTRASI LIMBAH CAIR BATIK BERBASIS *BACTERIAL CELLULOSE* LIMBAH KULIT NANAS TERIMPREGNASI PVA

Fikri Ardiansyah dan Rucita Ramadhana

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia  
fikriardiansyah357@gmail.com; [rucitaramadhana@polinema.ac.id]

## ABSTRAK

Batik merupakan salah satu komoditas tekstil dengan produktivitas tinggi, namun proses produksinya menghasilkan limbah cair yang mengandung bahan kimia berbahaya. Untuk mengatasi permasalahan ini, dikembangkan biomembran filtrasi berbasis *bacterial cellulose* dari limbah kulit nanas menggunakan *Acetobacter xylinum*. Biomembran ini diperkuat dengan polivinil alkohol (PVA) untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanisnya. Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi serta menganalisis performa biomembran pada filtrasi limbah cair batik. Tahapan penelitian terdiri dari tiga tahap: (1) fabrikasi *bacterial cellulose* dari limbah kulit nanas, (2) impregnasi PVA dengan variasi konsentrasi (1; 1,5; 2; dan 2,5% m/v dalam 100 mL akuades), dan (3) karakterisasi performa membran. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi PVA menurunkan porositas dan fluks membran, mengindikasikan perubahan sifat permeabilitasnya. Analisis FTIR mengonfirmasi keberadaan selulosa melalui pergeseran bilangan gelombang pada gugus -OH, C-H, dan C-O-C akibat impregnasi PVA. Dengan demikian, biomembran berbasis limbah kulit nanas dengan impregnasi PVA memiliki potensi sebagai media filtrasi limbah cair dalam industri batik.

**Kata kunci:** *bacterial cellulose*, PVA, kulit nanas, filtrasi, limbah cair batik

## ABSTRACT

Batik is a high-productivity textile commodity; however, its production generates wastewater containing hazardous chemicals. To address this issue, a filtration biomembrane was developed using bacterial cellulose derived from pineapple peel waste through *Acetobacter xylinum* fermentation. The biomembrane was reinforced with polyvinyl alcohol (PVA) to enhance its physical and mechanical properties. This study aims to fabricate and analyze the performance of a bacterial cellulose-based biomembrane for batik wastewater filtration. The research was conducted in three stages: (1) bacterial cellulose fabrication from pineapple peel waste, (2) PVA impregnation at varying concentrations (1; 1.5; 2; and 2.5% m/v in 100 mL of distilled water), and (3) biomembrane performance characterization. Results showed that increasing PVA concentration reduced porosity and flux, indicating changes in permeability properties. FTIR analysis confirmed the presence of cellulose through peak shifts in the -OH, C-H, and C-O-C functional groups as the effect of PVA impregnation. Therefore, the bacterial cellulose-based biomembrane with PVA impregnation has promising potential as a filtration medium for batik wastewater treatment.

**Keywords:** *bacterial cellulose*, PVA, pineapple peel, filtration, batik wastewater

## 1. PENDAHULUAN

Peningkatan riset biomaterial yang terbarukan dan berkelanjutan terus meningkat beberapa dekade terakhir khususnya terkait permasalahan lingkungan [1]. Biomaterial dengan



lemurian tinggi, kemampuan fisik yang stabil, dan kemampuan penghalang impuritas menjadi salah satu topik luas yang dibahas oleh komunitas riset untuk mengembangkan sistem yang ramah lingkungan [2]. Diantara seluruh pengembangan bahan biomaterial, *bacterial cellulose* merupakan salah satu biopolimer yang dapat diproduksi secara melimpah dan diperoleh dengan mudah dari tumbuhan [3]. Fabrikasi *bacterial cellulose* dari tumbuhan menunjukkan beberapa kelemahan antara lain rendahnya kemurnian dan kristalinitas, sehingga diperlukan bahan tambahan untuk memperkuat formasi dari *bacterial cellulose* yang didapatkan. Pada tahun 1886, Brown memulai penelitian *bacterial cellulose* yang diproduksi dengan bakteri *Acetobacter xylinum* dan menunjukkan bahwa secara kimiawi identik terhadap produk selulosa dari tanaman [4]. Di masa kini, *bacterial cellulose* mendapatkan beberapa perhatian khusus dalam produksi membran karena kemurniannya, tingginya luas permukaan spesifik, kristalinitas, stabilitas fisik, kapasitas penyerapain fluida, struktur serat tiga dimensi, biokompabilitas, dan juga biodegradabilitas [5,6].

Keunikan sifat fisik dari *bacterial cellulose* yang dihasilkan oleh *Acetobacter xylinum* menjadikannya material potensial untuk berbagai aplikasi termasuk di bidang lingkungan [7]. Berdasarkan penelitian terbaru telah berhasil mendemonstrasikan bahwa membran *bacterial cellulose Acetobacter xylinum* memiliki permeabilitas dan selektifitas yang tinggi [8,9]. Apabila dibandingkan dengan membran polimer, membran *bacterial cellulose* memiliki biaya produksi yang rendah dan relatif aman untuk lingkungan. Membran *bacterial cellulose* karena dapat terurai secara hayati dan tidak menggunakan pelarut berbahaya layaknya N-metil-2-pirrolidin (NMP), tetrahidrofur (THF), N-N-dimethylformamide (DMF) [10].

Limbah kulit nanas merupakan salah satu medium yang potensial dimanfaatkan sebagai bahan sintesis biomembran berbasis *bacterial cellulose*. Kulit nanas mengandung 5,78% protein, 4,10% serat kasar, dan karbohidrat sebesar 75,68% [11]. Selain itu, kulit nanas juga mengandung gula layaknya arabinosa, xilosa, manosa, galaktosa, *non-cellulosic* glukosa, *cellulosic* glukosa, asam uronat dan lignin [12,13]. Kandungan serat dan gula dalam kulit buah nanas menunjukkan potensinya sebagai media *starter* bagi bakteri *Acetobacter xylinum* untuk memproduksi *bacterial cellulose* [14]. Terlebih lagi Sulaiman (2017) memaparkan bahwa biomembran dari limbah kulit nanas sangat cocok untuk dimanfaatkan sebagai membran mikrofiltrasi daripada bahan lain layaknya air buah nanas dan air kelapa [15]. Untuk meningkatkan karakteristik fisiknya, Polivinil Alkohol (PVA) cocok digunakan sebagai *filler* dalam biomembran ini karena murah, *biodegradable*, dan mampu menyempurnakan konduktivitas proton sehingga dapat meningkatkan hidrofilitas serta kemampuan *anti-fouling* dalam proses filtrasi [16]. Salah satu bahan yang berpotensi untuk difiltrasi dengan biomembran ini adalah limbah cair batik.

Limbah cair batik merupakan produk samping pembuatan batik yang memiliki beberapa bahan kimia berupa zat warna yang mengandung garam diazonium, NaOH, asam sulfat, senyawa organik, serta logam berat [17]. Akumulasi senyawa organik hingga logam berat dengan kadar tinggi dalam limbah cair batik akan menyebabkan penyakit apabila terpapar dalam siklus rantai makanan dalam jangka panjang [18]. Oleh karena itu, tujuan riset ini untuk pengolahan hasil limbah cair batik yang akan dibuang ke lingkungan agar sesuai dengan kadar baku mutu dan aman apabila dilepaskan secara langsung ke lingkungan melalui biomembran filtrasi berbasis *bacterial cellulose* dari limbah kulit nanas (*Ananas comosus*) dengan bantuan bakteri *Acetobacter xylinum*.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental untuk mengetahui pengaruh persentase impregnasi PVA (Polivinil Alkohol) terhadap *bacterial cellulose* limbah kulit nenas dan pengaruhnya terhadap performansi kemampuan filtrasi limbah cair batik. Pengujian performansi dilakukan melalui analisis porositas, fluks, *tensile strenght*, dan FTIR dari membran.

### 2.1 Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya blender, *hotplate*, termometer, *vacuum filter*, pompa, buret, klem, statif, desikator, oven, piknometer, timbangan merek Mettler Toledo, dan alat uji tarik ASD MCT-2150. Sementara itu bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya yaitu kulit nenas, *starter Acetobacter xylinum*, pupuk ZA, pupuk NA, asam asetat, akuades, PVA (Polivinil Alkohol), dan alkohol 70%.

### 2.2 Preparasi *Bacterial Cellulose* Limbah Kulit Nenas

Metode pembuatan *bacterial cellulose* limbah kulit nenas dilakukan dengan fermentasi, dimana 400 gram kulit nenas bersih dihaluskan dengan menggunakan blender dan ditambahkan 800 ml akuades. Campuran disaring dengan kain saring hingga diperoleh filtrat dan residu. Sebanyak 120 gram gula pasir, 4 gram ZA (*Zwavelzure Ammoniak*), dan 4 mL asam asetat ditambahkan ke dalam filtrat. Campuran dipanaskan hingga mendidih kemudian dipindahkan pada wadah aluminium steril (200x200x50 mm) dan ditambahkan 215 mL *starter Acetobacter xylinum* saat suhu 30-35°C. Wadah ditutup dengan menggunakan kertas steril dan diinkubasi selama 7 hari.

### 2.3 Pemanenan dan Pemurnian *bacterial cellulose*

*Bacterial cellulose* yang telah dihasilkan dinetralisasi dengan direndam dalam NaOH 1% selama 24 jam kemudian dicuci dengan menggunakan akuades hingga pH mencapai angka 7. *Bacterial cellulose* yang telah dicuci kemudian di-*blotting* dengan cara mengusap permukaan spesimen dengan menggunakan tisu kering secara perlahan untuk menghilangkan air berlebih secara lokal [19].

### 2.4 Impregnasi PVA

Metode impregnasi PVA dilakukan dengan metode impregnasi basah [20], dimana bubuk PVA ( $M_w$  31,000-50,000; 98-99% hydrolyze, Merck) ditambahkan dalam akuades dengan konsentrasi 1% (w/v) dan dihomogenkan dengan *magnetic stirrer* pada suhu 80°C selama 30 menit. *Bacterial cellulose* limbah kulit nenas yang dihasilkan direndam dalam larutan PVA dalam *beaker glass*. Proses homogenisasi menggunakan bantuan *waterbath* dengan suhu 80°C selama 2 jam. Selanjutnya proses perendaman dalam larutan PVA pada suhu ruang selama 24 jam. Spesimen BC-PVA dipindahkan ke dalam akuades dan direndam selama 30 menit untuk menghilangkan PVA berlebih. Kemudian, spesimen dikeringkan dengan menggunakan oven selama 12 jam hingga didapatkan berat BC-PVA konstan. Langkah diulangi untuk konsentrasi PVA 1,5; 2; dan 2,5%.

### 2.5 Analisis Porositas Biomembran

Dalam analisis porositas, dapat dihitung antara volume pori terhadap volume total membran dengan menggunakan bantuan piknometer untuk mengetahui densitas membran [21].

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

Keterangan:

$w_1$  = berat basah biomembran (gram)

$w_2$  = berat kering biomembran (gram)

$\rho_w$  = densitas air (g/cm<sup>3</sup>)

$V_t$  =  $\frac{w_1 - w_2}{\rho_w} + \frac{w_2}{\rho_b}$  = volume membran basah (cm<sup>3</sup>)

$\rho_b$  = densitas biomembran (g/cm<sup>3</sup>)

## 2.6 Analisis Fluks Biomembran

Analisis *fluks* dilakukan untuk mengetahui kemampuan membran untuk melewatkan suatu cairan. Biomembran dibentuk lingkaran dengan diameter 7 cm dan diletakkan didalam corong *vacuum filter*. Alat *vacuum* dinyalakan dan 20 mL sampel limbah cair dilewatkan serta dihitung waktunya [22].

$$J_v = \frac{V}{A \times t} \quad (2)$$

$J_v$  = Fluks air (L/jam.m<sup>2</sup>)

$V$  = Volume air (L)

$A$  = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

$t$  = Waktu (jam)

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pelaksanaan penelitian yang dilakukan, maka didapatkan data performansi fisik biomembran berbasis *bacterial cellulose* limbah kulit nanas terimpregnasi PVA sebagai berikut.

### 3.1 Analisis Porositas *Biomembran*

Tabel 1. Data hasil pengamatan kemampuan porositas biomembran

Respon	Perlakuan impregnasi PVA ( <i>Poli Vinyl Alcohol</i> ) (%)				
	0	1	1,5	2	2,5
Porositas (%)	52,345	52,045	51,595	50,995	50,245

Hasil analisis porositas pada pengujian fisik biomembran dari limbah kulit nanas terimpregnasi PVA disajikan pada Tabel 1. Nilai porositas merupakan persentase dari perbandingan antara volume pori terhadap volume total membran [23]. Berdasarkan riset yang telah dilakukan, porositas tertinggi diperoleh pada biomembran dengan perlakuan impregnasi PVA 0% atau tanpa impregnasi apapun.

Berdasarkan Tabel 1, diperoleh bahwa impregnasi PVA mempengaruhi persentase kemampuan porositas dari biomembran limbah kulit nanas yang dihasilkan, dimana kemampuan porositas relatif turun seiring meningkatnya persentase PVA yang diembankan. Hal ini menandakan bahwa luas permukaan yang berpori pada membran tersebut semakin sedikit seiring bertambahnya impregnan PVA. Hal ini selaras dengan penelitian Zulfi dkk. (2014) bahwa semakin tinggi nilai porositas suatu membran maka akan

semakin banyak jumlah permukaan yang berpori pada membran tersebut sehingga *permeate* yang mampu dilewatkan pada satu waktu akan semakin besar [24].

Akan tetapi terdapat perbedaan pada hasil riset yang telah dilakukan, sebab secara teori impregnasi PVA dalam membran akan meningkatkan porositasnya, sebab gugus hidrofil -OH dari PVA mengakibatkan sifat biomembran menjadi hidrofil, sehingga selama proses inversi fasa dalam media air, membran mampu berinteraksi dengan air melalui ikatan hidrogen intermolekuler dan saat molekul air lepas dari permukaan maka terbentuklah pori-pori pada permukaan membran yang akan meningkatkan porositasnya [25]. Pada data yang diperoleh, nilai porositas semakin menurun disebabkan kurangnya waktu dalam perendaman akuades pasca impregnasi terlebih lagi dengan tingginya kadar impregnasi PVA yang diberikan sehingga reaksi antara gugus hidrofil -OH tidak mampu membentuk pori secara maksimal.

### 3.2 Analisis Fluks Biomembran

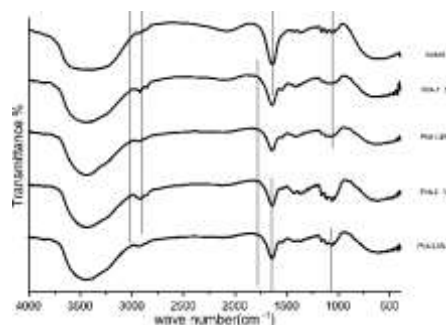
**Tabel 2.** Data hasil pengamatan kemampuan *fluks biomembran*

Respon	Perlakuan impregnasi PVA ( <i>Poli Vinyl Alcohol</i> ) (%)				
	0	1	1,5	2	2,5
Porositas (%)	127,356	118,326	115,673	114,693	109,890

Penentuan nilai persentase fluks dari biomembran limbah kulit nanas terimpregnasi PVA disajikan pada Tabel 2. Fluks merupakan persentase air yang mampu dilewatkan pada permukaan membran per luas permukaan per satuan waktu [26]. Berdasarkan hasil riset yang dilakukan, nilai fluks terbaik saat biomembran mengalami perlakuan 0% impregnasi PVA atau tanpa perlakuan impregnasi apapun.

Impregnasi PVA memengaruhi persentase fluks dari biomembran limbah kulit nanas yang dihasilkan, dimana kemampuan fluks cenderung turun seiring meningkatnya perlakuan PVA yang diimbangkan pada biomembran. Hal ini menandakan terdapat hubungan antara volume pori luas permukaan biomembran dengan fluks. Hal ini selaras dengan penelitian Amiyati dkk, dimana fluks berbanding lurus dengan nilai porositas yang dihasilkan. 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 [23,27].

### 3.3 Analisis Gugus Fungsi *Biomembran*



**Gambar 1.** Spektra FTIR Biomembran

Spektra FTIR yang ditampilkan pada Gambar 1 menunjukkan perubahan karakteristik kimia pada biomembran bacterial cellulose limbah kulit nanas akibat adanya perlakuan impregnasi dengan menggunakan PVA (Poli Vinil Alkohol) dengan berbagai konsentrasi. Sampel biomembran bacterial cellulose limbah kulit nanas tanpa perlakuan impregnasi PVA menunjukkan pita serapan gugus hidroksil (-OH) pada sekitar  $3300\text{ cm}^{-1}$ , gugus C-H alifatik pada  $2900\text{ cm}^{-1}$ , dan ikatan C-O serta C-O-C pada pita  $1000\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ . Dengan meningkatnya konsentrasi PVA, terlihat peningkatan intensitas pita -OH pada daerah sekitar  $3300\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini mengindikasikan adanya pembentukan ikatan hidrogen antara gugus -OH pada PVA dan *bacterial cellulose* yang mengindikasikan peningkatan interaksi antar molekul dalam struktur membran. Pergeseran pita juga terjadi pada gugus C-H alifatik di sekitar  $2900\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan peningkatan intensitas, sesuai dengan kontribusi gugus metilen (-CH<sub>2</sub>-) dari PVA. Munculnya pita serapan lemah pada sekitar  $1730\text{ cm}^{-1}$  yang diasosiasikan dengan gugus karbonil (C=O) juga menguatkan dugaan adanya modifikasi minor akibat interaksi kimia atau fisik antara PVA dan BC. Di rentang  $1000\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ , intensitas pita C-O dan C-O-C juga mengalami perubahan, menandakan modifikasi struktur eter dan alkohol dalam matriks BC.

### 3.4 Analisis *Biological Oxygen Demand* (BOD) Limbah Cair Batik

**Tabel 2.** Data hasil pengamatan *Biological Oxygen Demand* (BOD) biomembran

Respon	Limbah cair batik awal	Perlakuan impregnasi PVA ( <i>Poli Vinyl Alcohol</i> ) (%)				
		0	1	1,5	2	2,5
COD (mg/L)	201,3	188	180	168	128	116

Permukaan bacterial cellulose dari limbah kulit nanas memiliki pori sedangkan zat warna mempunyai ukuran molekul yang besar sehingga memungkinkan suatu molekul zat pengotor tertahan di permukaan membran bacterial cellulose sehingga kadar *biological oxygen demand* (BOD) menjadi berkurang setelah dilewatkan pada membran [28]. Berdasarkan hasil pengujian BOD yang dilakukan nilai penurunan BOD terbaik ditunjukkan dengan proses filtrasi menggunakan biomembran *bacterial cellulose* dengan konsentrasi impregnan PVA sebesar 2,5%. Nilai BOD filtrat limbah cair batik dengan biomembran terimpregnasi PVA 2,5% sebesar 116 ppm telah sesuai dengan baku mutu limbah tekstil yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (PERMEN LHK) No. 16 Tahun 2019, dimana ambang batas maksimal nilai BOD limbah cair batik adalah 150 ppm.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini mengembangkan biomembran selulosa asetat dari limbah kulit nanas dengan impregnasi PVA untuk filtrasi limbah cair batik. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan PVA menurunkan porositas dan fluks, mempengaruhi permeabilitas membran. Analisis FTIR mengonfirmasi keberadaan selulosa, menandakan keberhasilan sintesis dan modifikasi biomembran.

Secara keseluruhan, biomembran bacterial cellulose limbah kulit nanas terimpregnasi PVA berpotensi sebagai media filtrasi limbah batik. Meski meningkatkan kekuatan mekanik,

impregnasi PVA menurunkan efisiensi filtrasi. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengoptimalkan keseimbangan antara sifat mekanik dan permeabilitas membran.

## REFERENSI

- [1] A. Fatima, P. Ortiz-Albo, L. A. Neves, F. X. Nascimento, dan J. G. Crespo, "Biosynthesis and characterization of bacterial cellulose membranes presenting relevant characteristics for air/gas filtration," *Journal of Membrane Science*, vol. 674, hal. 121059, 2023.
- [2] F. Galiano, K. Briceño, T. Marino, A. Molino, K. V. Christensen, dan A. Figoli, "Advances in biopolymer-based membrane preparation and applications," *Journal of Membrane Science*, vol. 564, hal. 562–586, 2018.
- [3] D. Reis, A. Pereira, G. Scheidt, dan D. Pereira, "Plant and Bacterial Cellulose: Production, Chemical Structure, Derivatives and Applications," *Orbital: The Electronic Journal of Chemistry*, vol. 11, hal. 17807, 2019.
- [4] A. J. Brown, "XLIII.—On an acetic ferment which forms cellulose," *Journal of The Chemical Society, Transactions*, vol. 49, hal. 432–439, 1886.
- [5] R. Naomi, R. B. H. Idrus, dan M. B. Fauzi, "Plant-vs. Bacterial-derived cellulose for wound healing: A review," *International journal of environmental research and public health*, vol. 17, hal. 6803, 2020.
- [6] J. Wang, J. Tavakoli, dan Y. Tang, "Bacterial cellulose production, properties and applications with different culture methods – A review," *Carbohydrate Polymers*, vol. 219, hal. 63–76, 2019.
- [7] Y. Hu, M. Yue, F. Yuan, L. Yang, C. Chen, dan D. Sun, "Bio-inspired fabrication of highly permeable and anti-fouling ultrafiltration membranes based on bacterial cellulose for efficient removal of soluble dyes and insoluble oils," *Journal of Membrane Science*, vol. 621, hal. 118982, 2021.
- [8] C. J. S. Galdino dkk., "Use of a bacterial cellulose filter for the removal of oil from wastewater," *Process Biochemistry*, vol. 91, hal. 288–296, 2020.
- [9] A. Fatima, P. Ortiz-Albo, L. A. Neves, F. X. Nascimento, dan J. G. Crespo, "Biosynthesis and characterization of bacterial cellulose membranes presenting relevant characteristics for air/gas filtration," *Journal of Membrane Science*, vol. 674, 2023.
- [10] A. Figoli dkk., "Towards Non-toxic Solvents for Membrane Preparation: A Review," *ChemInform*, vol. 45, hal. 1039, 2014.
- [11] T. Owoeye, A. Kehinde, O. O. Ajayi, A. Afolalu, J. Popoola, dan O. Ajani, "Phytochemical constituents and proximate analysis of dry pineapple peels," *IOP Conference Series Earth and Environment Science*, vol. 993, hal. 12027, 2022.
- [12] X. Hu, M. Zhao, G. Song, dan H. Huang, "Modification of pineapple peel fibre with succinic anhydride for  $\text{Cu}_2^+$ ,  $\text{Cd}_2^+$  and  $\text{Pb}_2^+$  removal from aqueous solutions," *Environmental Technology*, vol. 32, no. 7, hal. 739–746, 2011.
- [13] L. Meena, A. S. Sengar, R. Neog, dan C. K. Sunil, "Pineapple processing waste (PPW): bioactive compounds, their extraction, and utilisation: a review," *Journal of Food Science Technology*, vol. 59, no. 11, hal. 4152–4164, 2022.

- [14] 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.
- [15] N. Fuadi, P. Sulaiman, A. Purwadana, B. Wahyudi, dan N. H. Fithriyah, "Studi Literatur Pemanfaatan Selulosa Asetat Limbah Kulit Nanas Sebagai Bahan Baku Pembuatan Membran Untuk Desalinasi," 2022.
- [16] V. Vatanpour, O. O. Teber, M. Mehrabi, dan I. Koyuncu, "Polyvinyl alcohol-based separation membranes: a comprehensive review on fabrication techniques, applications and future prospective," *Materials Today Chemistry*, vol. 28, hal. 101381, 2023.
- [17] H. R. Fidiastuti dan A. S. Lathifah, "Uji Karakteristik Limbah Cair Industri Batik Tulungagung: Penelitian Pendahuluan," 2018.
- [18] R. Al-Tohamy dkk., "A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: Ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety," *Ecotoxicol Environment Safety*, vol. 231, hal. 113160, 2022.
- [19] X. Gong, Y. Wang, H. Zeng, M. Betti, dan L. Chen, "Highly porous, hydrophobic, and compressible cellulose nanocrystals/PVA aerogels as recyclable absorbents for oil-water separation," *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, vol. 7, hal. 1021, 2019.
- [20] K. Qiu dan A. N. Netravali, "Bacterial cellulose-based membrane-like biodegradable composites using cross-linked and noncross-linked polyvinyl alcohol," *Journal of Material Science*, vol. 47, no. 16, hal. 6066–6075, 2012.
- [21] U. Fathanah dkk., "Modifikasi Membran Polyethersulfone dengan Penambahan Nanopartikel Mg(OH)<sub>2</sub> dalam Pelarut Dimethyl Sulfoxide," *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, vol. 18, no. 2, hal. 165, 2022.
- [22] S. R. Panda, M. Mukherjee, dan S. De, "Preparation, characterization and humic acid removal capacity of chitosan coated iron-oxide- polyacrylonitrile mixed matrix membrane," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 6, hal. 93–104, 2015.
- [23] D. Amiyati, D. Indarti, dan Y. Muflihah, "Pengaruh Variasi Waktu Penguapan Terhadap Kinerja Membran Selulosa Asetat pada Proses Ultrafiltrasi," *BERKALA SAINSTEK*, vol. 5, hal. 7-10, 2017.
- [24] F. Zulfi, "Karakteristik Fluks Membran dalam Proses Filtrasi Limbah Cair Industri Pelapisan Logam," *Jurnal Biofisika*, vol. 10, hal. 19-29, 2014.
- [25] T. N. Ikhsan, K. Khabibi, dan R. A. Lusiana, "Sintesis Membran Kitosan Tertaut Silang Tripolifosfat dengan Paduan Polivinil Alkohol untuk Permeasi Kreatinin," *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, vol. 4, no. 1, pp. 25 - 31, 2024.
- [26] A. Rusmaningsih, I. Syahbanu, dan L. Destiarti, "Uji Fluks Membran Polisulfon/Polietilen Glikol/Selulosa Asetat Dari Nata De Coco," vol. 7, no. 3, hal. 84–90, 2018.
- [27] O. Sulaeman, "Desain Pengolahan Air Menggunakan Membran Ultrafiltrasi Kapasitas 50m<sup>3</sup>/Hari," *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, vol. 11, hal. 37-44, 2018.

- [28] M. Khasanah, B. Yusuf, dan Am. S. Panggabean, "Membran Selulosa Asetat Dari Mahkota Buah Nanas (Ananas Comocus) Sebagai Filter Dalam Tahapan Pengolahan Air Limbah Sarung Tenun Samarinda," in *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, hal. 23,2017.