Peningkatan Kinerja Membran Polietersulfon (PES) dengan Modifikasi Menggunakan Aditif Hidrofilik

Mustabsyirah¹, Ardhila Shinta², Mirna Rahmah Lubis³, Sofyana⁴, Mukramah⁵, Mukhriza⁶,
Wahyu Rinaldi⁷, Umi Fathanah^{8*}

^{1,2,3,4,5,6,7,8}Jurusan Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

*Koresponden email: umifathanah@unsyiah.ac.id

Diterima: 6 Desember 2021

Disetujui: 3 Januari 2022

Abstract

Membrane technology has been the methods in the management of clean water, one of polymer that used as membrane materials is polyethersulfone (PES). However, PES is easy to fouling because it is hydrophobic. Fouling will cause a decrease in membrane performance. In this study, PES membrane was modified using hydrophilic additives, namely an alloy of $Mg(OH)_2$ and chitosan. This research study the effect of additives on the performance and anti-fouling properties of the membrane. The membrane preparation was carried out using polymer blending method. The dope solution was made by mixing 18% PES with additives in the form of an alloy of $Mg(OH)_2$ and chitosan with varying compositions of 1% and 5%, with N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) as a solvent, and a mixture of ethanol and water as a non-solvent. The membrane characterization was evaluated by analyzing the functional groups. Membrane performance was carried out by measuring the flux and permeability of pure water, selectivity or rejection, as well as membrane anti-fouling tests. From the results of the study, the largest permeability value in PES/NMP membrane with the addition of 5% additive (membrane N5) was 12.9 L/m².h.bar, rejection was 33.54% with good anti-fouling properties.

Keywords: *polyethersulfone (PES), membrane, chitosan, $Mg(OH)_2$, modification*

Abstrak

Dalam beberapa dekade, teknologi membran merupakan salah satu metode alternatif dalam pengelolaan air bersih. Beberapa polimer telah banyak digunakan sebagai material pembuatan membran, salah satunya adalah *polietersulfon* (PES). PES sering digunakan dalam industri membran karena beberapa keunggulan yang dimiliki seperti memiliki stabilitas termal dan kimia yang baik. Namun PES memiliki kekurangan yaitu bersifat hidrofobik sehingga mudah mengalami *fouling*. *Fouling* akan menyebabkan penurunan kinerja membran. Pada penelitian dilakukan modifikasi membran PES menggunakan aditif hidrofilik yaitu paduan $Mg(OH)_2$ dan kitosan. Tujuan penelitian adalah untuk mempelajari pengaruh penambahan aditif terhadap kinerja serta sifat *antifouling* membran. Proses preparasi membran dilakukan dengan metode inversi fasa, secara *blending* polimer. Pembuatan larutan *dope* dilakukan dengan mencampurkan 18% PES dengan aditif berupa paduan $Mg(OH)_2$ dan kitosan dengan variasi komposisi 1% dan 5%, dengan *N-methyl-2-pyrrolidone* (NMP) sebagai pelarut, serta campuran etanol dan air sebagai non pelarut. Karakterisasi membran dievaluasi dengan menganalisa gugus fungsi. Kinerja membran dilakukan dengan pengukuran fluks dan permeabilitas air murni, selektivitas atau rejeksi, serta uji anti *fouling* membran. Dari hasil penelitian diperoleh nilai permeabilitas terbesar pada Membran PES/NMP dengan penambahan aditif 5% (membran N5) yaitu sebesar 12,9 L/m².jam.bar, rejeksi sebesar 33,5 % dengan sifat anti *fouling* yang baik.

Kata Kunci: *polietersulfon (PES), membran, kitosan, $Mg(OH)_2$, modifikasi*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara keempat dengan luas lahan gambut terluas didunia. Namun air gambut yang tersedia tidak dapat dimanfaatkan sebagai sumber air bersih. Hal ini dikarenakan senyawa asam humus yang terkandung didalam air gambut yaitu asam humus menyebabkan air gambut berwarna cokelat, selain itu air gambut juga mengandung senyawa organik dan logam dengan kadar yang cukup tinggi, bersifat asam dan juga korosif. Air gambut yang digunakan untuk keperluan sehari-hari dapat menimbulkan efek samping seperti meninggalkan noda pada pakaian dan menyebabkan korosi pada peralatan rumah tangga yang terbuat dari logam. Oleh karena itu sangat penting untuk mengurangi kadar asam humus yang terkandung dalam air gambut, sehingga air gambut dapat dimanfaatkan untuk sumber air bersih [1].

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi kadar asam humus dalam air gambut adalah metode filtrasi membran. Proses membran adalah metode pemisahan menggunakan membran dengan adanya bantuan gaya dorong tekanan, dimana komponen yang memiliki ukuran molekul yang lebih kecil dari diameter pori akan melewati membran sedangkan ukuran molekul yang lebih besar dari diameter pori akan tertahan pada permukaan membran. Media filtrasi berupa membran memiliki keunggulan hemat energi, pengoperasian yang sederhana, mudah di-*scale up*, serta ramah lingkungan [2].

Biasanya membran dibuat dari material yang berasal dari bahan alam ataupun dari polimer. Polimer yang umumnya banyak dipakai dalam pembuatan membran adalah *polietersulfon* (PES). Membran *polietersulfon* merupakan membran dengan stabilitas kimia dan termal yang sangat baik, namun membran PES bersifat hidrofobik, sehingga membran rentan terhadap *fouling* [3]. Oleh karena itu diperlukan adanya modifikasi membran untuk mencegah terjadinya *fouling*. *Fouling* adalah tertahannya suatu senyawa pada permukaan membran karena ketidakmampuan untuk melewati membran hidrofobik sehingga permeabilitas membran menjadi rendah dan kinerja membran berkurang [4]. Beberapa cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja membran adalah dengan modifikasi membran. Modifikasi membran dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu modifikasi permukaan membran (*surface modification*), *chemichal grafting*, dan *polymer blending* atau pencampuran polimer dengan beberapa senyawa [5]. Modifikasi membran *polymer blending* dilakukan dengan penambahan aditif sebagai pembentuk pori untuk meningkatkan kinerja dan hidrofilisitas membran. Aditif yang biasa digunakan sebagai modifikasi membran adalah *polyvinyl pyrrolidone* [6], *polyurethane* [7], *tetronic 1307*, dan *cellulose acetate* [8].

Pada penelitian ini digunakan aditif hidrofilik yaitu paduan $Mg(OH)_2$ dan kitosan. $Mg(OH)_2$ merupakan senyawa anorganik yang memiliki gugus hidroksil (-OH) yang signifikan yang dapat digunakan sebagai aditif pada pembuatan membran. Beberapa penelitian sebelumnya terkait penggunaan $Mg(OH)_2$ sebagai aditif dilaporkan dapat meningkatkan sifat pori, ketahanan anti bakteri yang baik, serta meningkatkan hidrofilisitas membran [9]. Sedangkan kitosan merupakan senyawa polisakarida yang memiliki sifat hidrofilik, *biodegradable*, tidak beracun, dan bersifat anti bakteri. Studi penelitian telah dilakukan untuk menilai kemampuan kitosan sebagai aditif dalam menghilangkan kontaminan dari air seperti pewarna dan logam [10].

N-methyl-2 pyrrolidone (NMP) merupakan salah satu pelarut polimer yang baik. Semakin mudah suatu polimer dilarutkan, maka akan semakin cepat pula pembentukan konfigurasi polimer yang terdistribusi secara seragam dalam larutan cetak [11]. NMP memiliki massa jenis sebesar 1.03 g/cm^3 . Pelarut NMP banyak digunakan dalam bidang industri sebagai pelarut hal ini disebabkan NMP memiliki kelebihan yaitu kemampuan yang sangat baik dalam melarutkan berbagai jenis bahan kimia. NMP memiliki sifat fisik berupa suatu cairan yang bening dengan rumus kimia (C_4H_9NO) serta mudah larut dalam air [12]. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh penambahan aditif paduan $Mg(OH)_2$ dan kitosan terhadap kinerja serta sifat antifouling membran yang dihasilkan.

2. Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan *magnetic stirrer*, motor pengaduk (Hotplate Pengaduk, IKA, C-MAG HS 7), timbangan digital, gunting, gelas ukur 100 mL, labu ukur 500 mL, beaker glass 200 mL, pipet tetes, *aluminium foil*, spatula, plat kaca, aplikator (*casting knife*), modul membran. Bahan yang digunakan polimer PES (*polietersulfon*), NMP (*N-Methyl Pyrrolidone*), kitosan, $Mg(OH)_2$, asam asetat (CH_3COOH), dan etanol (semua bahan diperoleh dari *Chemical Pro Analysis Sigma Aldrich*) dan aquades.

Prosedur Penelitian

Larutan aditif paduan $Mg(OH)_2$ dan kitosan dibuat dengan melarutkan kitosan dan $Mg(OH)_2$ masing-masing sebanyak 1 gram dalam 100 ml larutan asam asetat 1%. Selanjutnya campuran diaduk sambil dipanaskan pada suhu 50°C hingga diperoleh larutan yang homogen [9]. Larutan ini selanjutnya digunakan sebagai larutan aditif. Larutan *dope* dipersiapkan dengan melarutkan polimer PES 18% dari berat larutan *dope* dengan menambahkan larutan aditif dengan konsentrasi sebanyak 1% dan 5% berat larutan *dope*, dimana campuran ini dilarutkan ke dalam NMP sebagai pelarut. Kemudian larutan *dope* diaduk menggunakan *stirrer* hingga homogen. Tahapan selanjutnya merupakan tahapan proses *casting* larutan *dope* dengan menuangkan larutan tersebut di atas sebuah plat kaca, kemudian larutan tersebut diratakan dengan menggunakan *casting knife* hingga merata ke seluruh permukaan plat kaca dengan ketebalan 300 μm . Tahap selanjutnya yaitu proses pencelupan plat kaca ke dalam bak koagulasi yang

telah diisi larutan *non solvent* (non pelarut) yaitu campuran etanol-air dengan perbandingan 2:8. Langkah selanjutnya membran disimpan dalam aquades sebelum digunakan untuk uji filtrasi dan karakterisasi membran. Komposisi larutan dope yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Komposisi larutan *dope* membran

Kode Membran	PES (gram)	Aditif Mg(OH) ₂ dan Kitosan (gram)	Pelarut NMP (gram)
N0		-	82
N1	18	1	81
N5		5	77

Sumber : Hasil pengujian penelitian, (2020)

3. Hasil dan Pembahasan

Analisa Gugus Fungsi pada Membran

Evaluasi gugus fungsi pada membran PES yang dimodifikasi dan membran tanpa modifikasi yang bertujuan untuk mengetahui adanya gugus fungsi dari polimer polietersulfon (PES) menggunakan instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR), yang dapat diketahui dengan adanya gugus karbonil maupun gugus sulfonat (SO₂). Hasil pengujian gugus fungsi pada beberapa jenis membran yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Gambar 1. Gugus fungsi pada berbagai jenis membran PES/NMP

Sumber: Hasil pengujian penelitian, (2020)

Berdasarkan **Gambar 1** spektrum yang dihasilkan dari uji FTIR terlihat bahwa semua membran memiliki spektrum yang hampir sama antara satu membran dengan membran yang lain. Selain itu, hasil uji FTIR menunjukkan bahwa terdapat gugus aromatik (C-H) pada panjang gelombang gugus 867 cm⁻¹, gugus sulfon (O=S=O) pada panjang gelombang 1153 cm⁻¹, gugus cincin aromatik (C=C-C) pada panjang gelombang 1483 cm⁻¹ dan gugus eter aromatik (C-O-C) dengan panjang gelombang 1242 cm⁻¹. Nilai rentang panjang gelombang hasil spektrum uji FTIR pada membran PES yang dihasilkan sesuai dengan bilangan gelombang pada literatur, bahwa untuk gugus C-H aromatik pada rentang panjang gelombang 900 – 670 cm⁻¹, gugus sulfon pada rentang panjang gelombang 1200 – 1100 cm⁻¹, gugus eter aromatik pada rentang panjang gelombang 1270 – 1230 cm⁻¹ dan gugus cincin aromatik terdapat pada rentang panjang gelombang 1510 – 1450 cm⁻¹ [13]. Selanjutnya pada penambahan 5% paduan Mg(OH)₂ dan kitosan menunjukkan adanya gugus hidroksil (-OH) yang muncul pada panjang gelombang 3150 cm⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa ada terjadinya interaksi antara aditif paduan Mg(OH)₂ dan kitosan dengan polimer PES, yang mengidentifikasi bahwa aditif berhasil di-*blending* dalam polimer PES.

Fluks Air Murni

Uji fluks air murni dilakukan untuk mengetahui kinerja membran. Fluks merupakan jumlah volume permeat yang melewati permukaan luas membran dengan waktu tertentu dan dengan adanya gaya dorong [14]. Nilai fluks sangat bergantung pada ukuran pori, porositas membran, dan sifat permukaan membran. Fluks air akan stabil bila operasi sistem telah mengalami kondisi konstan.

Hubungan antara nilai fluks terhadap tekanan pada beberapa jenis membran dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Gambar 2. Fluks air murni (J) pada membran PES/NMP
Sumber : Hasil pengujian penelitian, (2020)

Berdasarkan **Gambar 2** dapat dilihat bahwa besarnya tekanan berbanding lurus dengan nilai fluks yang dihasilkan pada jenis membran yang sama. Terlihat bahwa nilai fluks pada membran yang mengalami modifikasi dengan penambahan aditif, memiliki nilai fluks yang lebih tinggi dibandingkan dengan fluks pada membran yang tidak dimodifikasi. Hal ini disebabkan karena diduga penambahan aditif paduan $Mg(OH)_2$ dan kitosan mengakibatkan terbentuknya pori-pori pada penampang membran, sehingga fluks yang melewati membran akan lebih tinggi [14]. Peningkatan nilai fluks ini disebabkan karena dengan adanya penambahan zat aditif membuat permukaan membran menjadi bersifat hidrofilik sehingga lebih mudah menyerap molekul air, dan berakibat pada peningkatan jumlah air yang lolos dari membran [4].

Permeabilitas Air Murni

Permeabilitas (L_p) merupakan suatu kemampuan untuk melewatkan air murni yang dimiliki oleh membran pada tekanan operasi membran. Nilai permeabilitas diperoleh dari kemiringan (*slope*) grafik fluks terhadap tekanan operasi. Kemampuan membran dalam melewatkan zat terlarut akan semakin baik jika nilai dari koefisien permeabilitas semakin tinggi [5]. Hasil permeabilitas air murni membran PES dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Gambar 3. Permeabilitas air murni pada membran PES/NMP
Sumber : Hasil pengujian penelitian, (2020)

Berdasarkan **Gambar 3**, dapat dilihat bahwa nilai permeabilitas terbesar terdapat pada membran PES/NMP dengan konsentrasi aditif 5% yaitu sebesar 12,9 $L/m^2.jam.bar$, meningkat lebih tinggi dibandingkan dengan membran PES sebelum dimodifikasi yaitu sebesar 0,5 $L/m^2.jam.bar$. Hal ini dikarenakan aditif yang ditambahkan ke dalam larutan *dope* akan meningkatkan hidrofilisitas pada

membran sehingga dapat meningkatkan interaksi membran dengan air [5]. Membran PES/NMP dengan konsentrasi aditif 5% diduga juga memiliki pori-pori yang lebih besar di permukaan sehingga semakin mudah solut untuk melewati permukaan membran dan akan menghasilkan nilai permeabilitas yang tinggi sehingga nilai fluks yang dihasilkan juga semakin tinggi [14].

Rejeksi Membran

Koefisien rejeksi adalah suatu nilai konsentrasi zat terlarut yang tertahan pada permukaan dan pori membran sehingga tidak mampu melewati membran. Koefisien rejeksi dapat ditentukan dengan menggunakan instrumen berupa spektrofotometer visibel yang dilakukan terhadap larutan sampel yang akan diuji. Larutan asam humus merupakan larutan uji yang digunakan untuk menentukan koefisien rejeksi membran sebagai model untuk senyawa organik yang terkandung dalam air. Koefisien rejeksi partikel asam humus pada beberapa membran dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Gambar 4. Koefisien rejeksi partikel asam humus pada berbagai jenis membran
Sumber : Hasil pengujian penelitian, (2020)

Berdasarkan **Gambar 4** didapatkan bahwa membran PES/NMP memiliki rejeksi yang tinggi. Koefisien rejeksi tertinggi diperoleh pada membran tanpa penambahan aditif dengan nilai koefisien rejeksi sebesar 56,01%. Diduga kondisi morfologi membran tanpa modifikasi (membran N-0), memiliki susunan kerapatan pori-pori yang lebih tinggi (*dense*) daripada membran PES/NMP dengan penambahan aditif 1% dan 5%. Hal ini menyebabkan asam humus akan banyak tertahan di permukaan membran dan menyebabkan proses pemisahan menjadi lebih bagus, karena permeat yang keluar memiliki konsentrasi yang lebih rendah dibandingkan umpan masuk [14]. Namun pada membran dengan konsentrasi aditif 5% (N5) terjadi penurunan nilai koefisien rejeksi hingga 33,5%, hal ini disebabkan karena penambahan aditif dapat mengubah sifat membran dari hidrofobik menjadi hidrofilik. Perubahan sifat hidrofilik menyebabkan membran cenderung menarik air dan meninggalkan partikel diatasnya [15].

Antifouling Membran

Fouling merupakan masalah yang sering ditemukan dalam proses membran. *Fouling* pada membran dapat menurunkan nilai laju produk dari air yang dihasilkan dan perubahan terhadap selektivitas membran yang digunakan. Adanya *fouling* juga dapat merusak membran karena membran akan semakin sering untuk dicuci sehingga mempengaruhi usia pakai membran. Pengujian sifat *antifouling* membran PES/NMP dengan berbagai konsentrasi aditif dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Gambar 5. Hubungan waktu filtrasi terhadap ketahanan *fouling* berdasarkan jenis membran.
Sumber : Hasil pengujian penelitian, (2020)

Pengotoran membran dapat diamati dari penurunan fluks air selama proses filtrasi. **Gambar 5** menunjukkan kinerja fluks dari membran yang dilakukan dalam satu putaran percobaan filtrasi tiga tahap. Pada tahap pertama, semua membran menghasilkan fluks air murni yang tinggi (J_{w1}), tahap kedua ketika umpan air murni diganti dengan larutan asam humus fluks yang dihasilkan mengalami penurunan. Penurunan ini disebabkan oleh pengotoran membran akibat akumulasi partikel asam humus pada permukaan (pembentukan *cake*) hingga terjadinya penurunan fluks dalam beberapa menit pertama operasi. Untuk menghilangkan kotoran asam humus yang terakumulasi dalam membran, perlu dilakukan proses *backwash* (pembersihan) dengan memfiltrasi kembali air murni pada membran. Efektivitas pembersihan dapat ditentukan berdasarkan profil fluks air setelah *backwash* (J_{w2}). Semakin dekat nilai fluks J_{w2} dengan nilai fluks pada J_{w1} , maka semakin mudah pembersihan membran, yang mencerminkan sifat anti *fouling* yang lebih baik [16].

Peningkatan fluks membran disebabkan oleh semakin banyak dan besarnya pori membran yang terbentuk setelah ditambahkan aditif kitosan. Dari hasil uji fluks, membran dengan penambahan aditif paduan $Mg(OH)_2$ dan kitosan 5% diketahui memiliki nilai fluks yang paling tinggi dalam permeasi air murni, bahkan setelah mengalami *backwash* membran masih dapat melewati air dengan nilai fluks yang hampir sama dengan fluks air murni semula. Ditinjau dari profil fluks yang ditampilkan pada Gambar 5, maka membran dapat digunakan untuk proses filtrasi seperti semula, hal ini dapat dilihat dari penanganan membran ketika dilakukan *backwash* yang menaikkan nilai fluks membran setelah dilewatkannya asam humus. Meskipun fluks air tidak mencapai seperti semula, namun nilai fluks tetap mendekati nilai fluks awal, yang menunjukkan bahwa membran modifikasi memiliki sifat anti *fouling* yang baik.

4. Kesimpulan

Pembuatan membran dengan penambahan aditif paduan $Mg(OH)_2$ dan kitosan dengan *blending* polimer secara inversi fase telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara gugus hidroksil (-OH) dari aditif pada matrik polimer PES yang dikonfirmasi dari analisa gugus fungsi menggunakan FTIR. Adanya penambahan gugus hidroksil pada membran PES menyebabkan sifat hidrofilik membran menjadi meningkat. Kinerja membran terbaik diperoleh pada membran yang dimodifikasi dengan penambahan aditif paduan $Mg(OH)_2$ dan kitosan 5% menghasilkan permeabilitas sebesar 12,9 L/m².jam.bar, dengan rejeksi asam humus 33,5% serta sifat *antifouling* yang baik.

5. Referensi

- [1] E. T. Suryandari, "Sintesis membran komposit pvdf-zeolit untuk penghilangan metilen biru," *J. Ilmu Kimia & Terapan*, Vol. 6, No. 2, Hal. 58-66, 2019.
- [2] L. Chen, Y. Li, L. Chen, N. Li, C. Dong, Q. Chen, B. Liu, Q. Ai, P. Si, J. Feng, L. Zhang, J. Suhr, J. Lou, and L. Ci, "Standing graphene oxide multilayer membrane with high stability for nanofiltration applications," *Chemical Engineering J.*, Vol. 345, pp. 536-544, 2018.

- [3] J. Lin, R. Zhang, W. Ye, N. Jullok, A. Sotto, and B. Vr. Bruggen, "Nano-WS₂ embedded PES membrane with improved fouling and perm selectivity," *J. of Colloid and Interface Science*, Vol. 396, pp. 120-128, 2013.
- [4] W. Zhang, F. K. Yang, Y. Han, R. Gaikwad, Z. Leonenko, B. Zhao, "Surface and tribological behaviours of the bioinspired polydopamine thin under dry and wet conditions," *Biomacromolecules*, 14, 394-405, 2013.
- [5] U. Fathanah, M. R. Lubis, Z. Mahyuddin, S. Muchtar, M. Yusuf, C. M. Rosnelly, S. Mulyati, R. Hazliani, D. Rahmanda, S. Kamaruzzaman, dan M. Busthan, "Sintesis, Karakterisasi dan Kinerja Membran Hidrofobik Menggunakan Poluvinyl Pyrrolidone (PVP) sebagai Aditif," *ALCHEMY J. Penelitian Kimia*, Vol. 17, No. 2, Hal. 140-150, 2021.
- [6] J. A. Prince, S. Bhuvana, K. V. K. Boodhoo, V. Anbharasi, and G. Singh, "Synthesis and characterization of PEG – Ag immobilized PES hollow fiber ultrafiltration membranes with long lasting antifouling properties," *J. of Membrane Science*, Vol. 454, pp. 538 – 548, 2014.
- [7] S. Saedi, S. S. Madaeni, K. Hassanzadeh, A. A. Shamsabadi, and S. Laki, "The effect of polyurethane on the structure and performance of PES membrane for separation of carbondioxide from methane," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 20, pp. 1916 – 1929, 2014.
- [8] I. Syahbanu, B. Piluharto, S. Khairi, and Sudarko. "Effect of evaporation time on separation performance of polysulfone/cellulose acetate (PSF/CA) membrane," *International Conference on Chemistry and Material Science (IC2MS)*, 1-10, 2018.
- [9] U. Fathanah, I. Machdar, M. Riza, N. Arahman, M. Yusuf, S. Muchtar, M. R. Bilad, and N. A. H. Md. Nordin "Enhancement of antifouling of ultrafiltration polyethersulfone membrane with hybrid Mg(OH)₂/chitosan by polymer blending," *J. Membrane Science & Research*, Vol. 6, pp. 375-382, 2020.
- [10] N. Ghaemi, P. Daraei, and F. S. Akhlaghi, "Polyethersulfone nanofiltration membrane embedded by chitosan nanoparticles: Fabrication, characterization and performance in nitrate removal from water," *Carbohydrate Polymers*, Vol. 191, pp. 142–151, 2018.
- [11] T. Margiyani, M. S. Basukiwar, M. Kusumawati, dan Nita "Pengaruh Komposisi Larutan Cetak (PVD/NMP/PEG) dan Non Pelarut (H₂O/CH₃OH) Terhadap Kinerja Membran PVDF dalam Pemisahan Pewarna," *UNESA J. of Chemistry*, Vol 3, No. 3, 2014.
- [12] P.T.P. Aryanti, Khoiruddin, and I. Wenten, "Influence of Additives on Polysulfone-Based Ultrafiltration Membrane Performance during Peat Water Filtration," *Journal of Water Sustainability*, Vol. 3, No. 2, pp. 85-96, 2013.
- [13] U. Fathanah, I. Machdar, M. Riza, N. Arahman, M.R. Lubis, "Pembuatan dan Karakterisasi Membran Polyetersulfone (PES) – Kitosan Secara *Blending Polymer*. *Prosiding Seminar Nasional*. 3(1), 2019.
- [14] S. Mulyati, F. Razi, dan Zuhra. "Karakteristik membran asimetris polietersufone (PES) dengan pelarut dimetil formamide dan N-Metil-2 pyrrolidone," *Biopropal Industri*, Vol. 8, No.1, Hal. 55-62, 2017.
- [15] A. K. Wardani, "Pengaruh Aditif pada Pembuatan Membran Ultrafiltrasi Berbasis Polisulfon untuk Pemurnian Air Gambut," Skripsi, Institut Teknologi Bandung, 2013.
- [16] S. Mulyati, S. Muchtar, M. Yusuf, N. Arahman, S. Sofyana, C. Rosnelly, U. Fathanah, R. Takagi, H. Matsuyama, N. Shamsuddin, and M. Bilad, "Production of high flux Poly(Ether Sulfone) membrane using silica additive extracted from natural resource," *Membranes (Basel)*, vol. 10, no. 1, p. 17, 2020, doi: 10.3390/membranes10010017.