



Kajian Modifikasi Permukaan Membran Mikrofiltrasi *Polyvinylidene Fluoride* Menggunakan *Polyvinyl Alcohol*¹

Microfiltration Membrane Modification of Polyvinylidene Fluoride Using Polyvinyl Alcohol

Firda Lutfiatul Fitria^{a,2}, Novita Febianti^a, Salsabila Nanda Pradita^a, Noven Pramitasari^a

^a Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jalan Kalimantan 37, Jember, 68121, Indonesia

ABSTRAK

Populasi manusia dan industri yang meningkat dapat mengakibatkan berbagai jenis pencemaran air dan meningkatkan kebutuhan air. Teknologi membran menjadi teknologi populer dengan tingkat pemisahan efisiensi tinggi serta harga yang relative murah untuk pemurnian air. Salah satu teknologi membran yang diterapkan secara luas di industri adalah membran mikrofiltrasi. Membran mikrofiltrasi dapat beroperasi pada tekanan dengan rentang 0,02 sampai 0,5 MPa, sehingga memungkinkan pemisahan senyawa dengan berat molekul besar bertekanan rendah. Material membran mikrofiltrasi *polyvinylidene fluoride* (PVDF) merupakan material dengan stabilitas termal, ketahanan terhadap bahan kimia yang baik, serta mudahnya kemampuan pembentukan membran. Namun PVDF merupakan polimer yang memiliki struktur hidrofobik yang membuat membran rentan terhadap fluks rendah. Inovasi peningkatan hidrofilik permukaan membran pada material PVDF merupakan salah satu cara efektif meningkatkan fluks pada membran. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan hidrofilitas permukaan membrane PVDF yang berpengaruh terhadap nilai fluks. Modifikasi permukaan membran pada penelitian ini menggunakan *Polyvinyl Alcohol* (PVA) karena PVA bersifat hidrofilik yang dapat meningkatkan kemampuan membran menarik air. Penambahan 0,1% kadar PVA nilai fluks mencapai 65,7 Lm⁻²h⁻¹. PVA meningkatkan sifat hidrofilik membrane PVDF dapat menjadi salah satu agen modifikasi untu pengolahan atau pemurnian air.

Kata kunci: Fluks, Modifikasi Permukaan Membran, PVDF, PVA.

ABSTRACT

Increasing industrial and human populations potentially lead to various types of water contamination and increasing water demand. Membrane technology is a popular technology that is highly efficient in separation processes and is cost-effective for water purification. One membrane technology that is widely applied in industry is microfiltration membranes. Microfiltration membranes can operate at pressures in the range of 0.02 to 0.5 MPa, thus enabling the separation of high molecular weight compounds at low pressure. Polyvinylidene fluoride (PVDF) is a commonly used microfiltration membrane material known for its excellent thermal stability, chemical resistance, and ease of membrane formation. However, PVDF has a hydrophobic structure that has low water flux. The hydrophilicity of the PVDF membrane surface modification is an effective strategy to enhance water flux. This experiment aims to increase the hydrophilicity of the membrane using polyvinyl alcohol (PVA). In this study, surface modification of the PVDF membrane is performed using polyvinyl alcohol (PVA), a hydrophilic substance that enhances the membrane's ability to attract water. The addition of 0.1% PVA yielded the average flux value, achieving 65,7 Lm⁻²·h⁻¹. PVA increases hydrophilic properties for PVDF membrane and could be a modification agent for water treatment or purification.

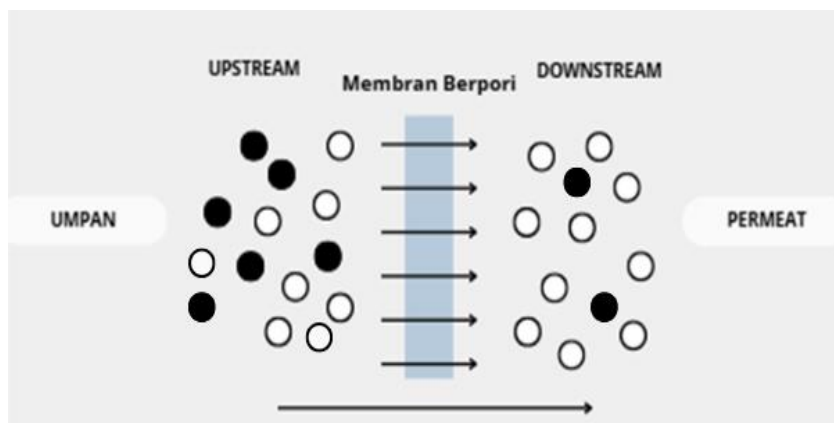
Keywords: Flux, Membran Surface Modification, PVDF, PVA

¹ Info Artikel: Received: 25 Desember 2024, Accepted: 30 Desember 2024

² Corresponding Author: Firda Lutfiatul Fitria, firdafitria@mail.unej.ac.id

PENDAHULUAN

Peningkatan populasi manusia dan peningkatan industri menyebabkan berbagai pencemaran lingkungan salah satunya yaitu pencemaran air. Pengolahan air merupakan cara yang efektif untuk mengatasi kelangkaan air bersih. Salah satu teknologi untuk mengatasi permasalahan ini adalah pengolahan air menggunakan membran. Teknologi membran menjadi teknologi populer dan masuk kedalam *clean technology* karena pemisahan dengan efisiensi tinggi, desain yang ringkas dan simpel, otomatisasi tingkat tinggi, serta memiliki harga yang cukup murah untuk pemurnian air (Ambarwati *et al.* , 2024). Sistem pada membran menggunakan semi permeabel yang memungkinkan pemindahan air bersih dan menghambat partikel zat yang tidak diinginkan. Kekuatan pendorong yang beroperasi dalam mekanisme difusi adalah tekanan yang mengarah pada pemisahan air menjadi dua aliran yang dikenal dengan permeat dan *retentate*. Kelebihan dari proses membran adalah tingginya selektivitas dan optimalitas, rendahnya penggunaan bahan kimia, serta memiliki kemampuan untuk memisahkan berbagai kontaminan organik tersuspensi, patogen dan virus (Jaspal *et al.* , 2023). Membran mikrofiltrasi merupakan salah satu jenis membran yang menggunakan gaya dorong bertekanan rendah dan sering digunakan untuk pengolahan air limbah di industri yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Mekanisme Membran Filtrasi

Membran mikrofiltrasi dapat menolak partikel dengan ukuran 0,1-5 μm , sehingga dapat menolak protozoa dan bakteri (Gul *et al.* , 2021). Membran mikrofiltrasi dapat beroperasi pada tekanan dengan rentang 0,02 sampai 0,5 MPa, sehingga memungkinkan pemisahan senyawa dengan berat molekul besar bertekanan rendah (Zioui *et al.* , 2023). Mekanisme pemisahan membran mikrofiltrasi didasarkan pada ukuran partikel yang akan dipisahkan (*size exclusion*) atau mekanisme transport. Membran mikrofiltrasi dapat dibedakan berdasarkan ukuran pori membran. Membran berpori sekitar 1–10 μm dapat disebut dengan membran berpori simetrik (*symmetric porous membrane*) dan ukuran 0,1–1 μm dapat disebut membran berpori asimetrik (*asymmetric porous membrane*) (Shalahuddin, 2019). Pemilihan membran mikrofiltrasi berdasarkan ukuran pori sangat penting untuk menghambat partikel atau zat yang tidak diinginkan pada proses pemisahan.

Polimer merupakan material organik yang banyak digunakan untuk menyusun membran dan polimer sering dipilih karena selain harga relatif lebih murah juga memiliki permeabilitas yang tinggi karena memungkinkan proses pemisahan yang lebih baik. Polimer yang umum digunakan dalam penyusunan membran adalah *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF),

Polytetrafluoroethylene (PTFE), *Polysulfone* (PSF), dan *Polyacrylonitrile* (PAN). PVDF dipilih dalam penelitian ini karena memiliki ketahanan kimia, stabilitas termal dan mekanik yang baik pada suhu tinggi (Suryandari, 2019). PVDF memiliki sifat hidrofobik yang dapat menyebabkan nilai fluks rendah dan dapat menyebabkan terjadinya *fouling* (penumpukan bahan organik, kotoran, mikroorganisme pada permukaan membran). Oleh karena itu, perlu adanya modifikasi permukaan membran PVDF untuk meningkatkan hidrofilitas dan mengurangi atau mencegah terjadinya *fouling* sehingga dapat meningkatkan *water flux* dalam jangka panjang. Terdapat beberapa langkah modifikasi untuk meningkatkan sifat hidrofilik membran seperti *treatment* plasma, radiasi, dan penggunaan *wet chemistry* (Wang *et al.* , 2024). Namun, penggunaan metode tersebut memiliki kelemahan seperti dapat menyebabkan pencemaran lingkungan lanjutan, biaya yang mahal, dan dapat menurunkan kinerja dari PVDF. Penggunaan *coating* polimer hidrofilik menjadi salah satu cara efektif untuk meningkatkan hidrofilitas permukaan membran dan permeabilitas membran (Lee *et al.* , 2013). Modifikasi permukaan membran dengan cara *coating* dapat menjadi metode yang *cost-effective* dan mudah.

Modifikasi permukaan membran pada penelitian ini menggunakan *Polyvinyl Alcohol* (PVA) karena PVA bersifat hidrofilik yang dapat meningkatkan kemampuan membran menarik air (Torre-Celeizabal *et al.* , 2022). PVA merupakan polimer sintesis berbentuk bubuk seperti kristal yang memiliki warna keputihan, tidak memiliki rasa dan bau, serta tidak beracun (Aslam *et al.* , 2018). Selain itu, PVA memiliki sifat mudah larut dalam air, pembentukan filmnya yang sangat baik, stabilitas termal dan kimia yang tinggi, fleksibilitas, dan ramah lingkungan (Ngo *et al.* , 2022). Sifat hidrofilik PVA menjadi inovasi untuk meningkatkan hidrofilitas membran PVDF. Ikatan yang terjadi pada PVDF dengan PVA adalah *crosslink solid-vapor interfacial* yang dapat meningkatkan resistensi membran yang signifikan (Sun *et al.* , 2023). Selama terjadi *crosslink*, terjadi pencegahan difusi dan menyebabkan penurunan kepadatan pada lapisan permukaan membran. Sifat dari kedua polimer tersebut dapat digabungkan sehingga dapat meningkatkan hidrofilitas PVDF dan meningkatkan kinerja fluks pada membran (Fitradi, 2015). Proses *dead-end filtration* ini yaitu mendorong aliran air umpan pada membrane sehingga zat yang tersaring akan terakumulasi pada permukaan membran (Ragetisvara, 2021). *Dead-end filtration* ini merupakan sistem aliran operasi yang umumnya sering digunakan pada membran mikrofiltrasi. Penelitian modifikasi PVDF dan PVA telah dilakukan menggunakan metode *non solvent induced phase separation* (NIPS) atau metode lainnya menghasilkan sifat hidrofilik pada PVDF (Zheng *et al.* , 2018). Penelitian ini berbeda dari penelitian sebelumnya karena bertujuan untuk mengkaji penambahan PVA pada membran mikrofiltrasi PVDF dengan metode *dip-coating* dengan cara yang sederhana dan mudah diterapkan.

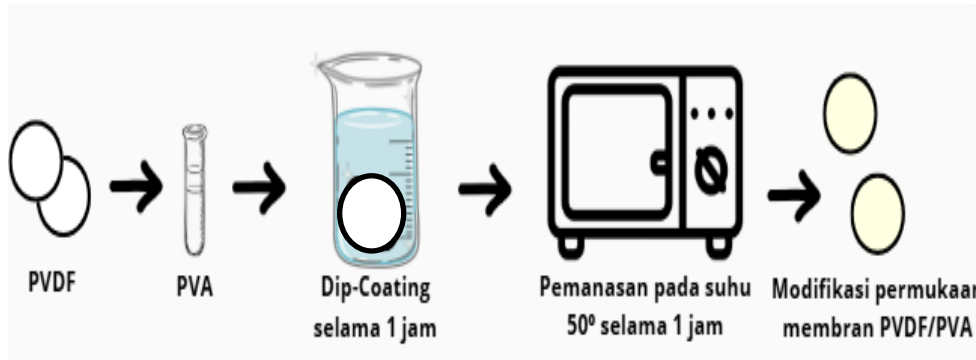
METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Membran mikrofiltrasi *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF) 0,45 μm , *Polyvinyl Alcohol* (PVA), aquades, dan Etanol 99%. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu pompa, *magnetic stirrer*, *beaker glass*, kaca arloji, neraca analitik, oven, spatula, pengaduk kaca, pipet ukur, dan mikropipet.

Modifikasi Permukaan Membran PVDF

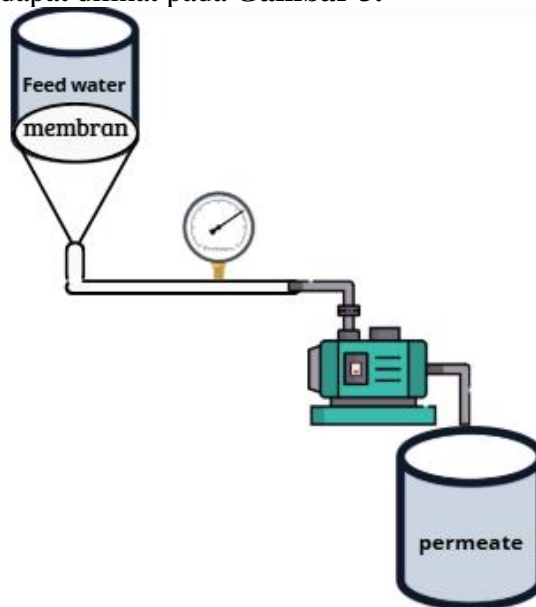
Modifikasi permukaan membran PVDF dilakukan secara *dip-coating* selama 1 jam pada masing-masing larutan PVA. Kadar larutan PVA menggunakan 0,1%; 1%; dan 2%. Membran yang telah di *dip-coating* dikeringkan selama 15 menit pada oven dengan suhu 50°C. Proses modifikasi membran yang dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Proses modifikasi membran

Uji kinerja fluks

Membran yang telah dimodifikasi dilakukan tes filtrasi menggunakan aliran *dead-end filtration* selama 2 jam dan diperiksa volume permeat setiap 10 menit. Skema reaktor membran yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Skema Reaktor Membran

Kemudian dilakukan perhitungan fluks berdasarkan persamaan berikut (Mulder, 2012) :

$$J = \frac{v}{A \times t} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan

$J = \text{fluks (L.m}^{-2}.\text{h}^{-1})$

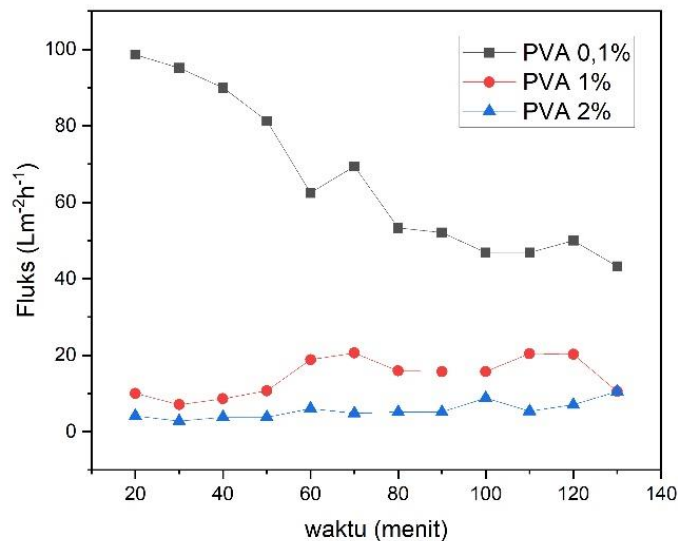
$V = \text{volume permeat (L)}$

$A = \text{luas permukaan (m}^2\text{)},$

$t = \text{waktu (h)}$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan membran mikrofiltrasi PVDF. Membran mikrofiltrasi memiliki keunggulan seperti tidak perlu mengubah suhu dan pH dalam pemisahan. Membran mikrofiltrasi juga dapat dilakukan tanpa penambahan bahan kimia sehingga dapat mengurangi biaya produksi, biaya tenaga kerja tanpa mengurangi kualitas. Pengujian fluks membran mikrofiltrasi PVDF modifikasi hidrofilisitas permukaan membran dengan penambahan PVA dilakukan dengan mengalirkan akuades melalui suatu aliran dengan tekanan tertentu. Dalam hal ini, uji fluks dilakukan dengan mengalirkan akuades melalui membran yang telah dimodifikasi permukaan membrannya selama 2 jam pada setiap 10 menit. Hasil permeat dari data ini akan digunakan untuk menghitung fluks membran. Grafik dari data pengujian fluks tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Grafik Fluks Modifikasi Permukaan Membran PVDF

Uji fluks menunjukkan bahwa modifikasi menggunakan PVA memiliki nilai fluks. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan *dip-coating* dengan PVA pada membran PVDF berhasil meningkatkan sifat hidrofilisitas. Membran yang bersifat hidrofilik memiliki tegangan permukaan yang tinggi dan memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan hidrogen dengan air sehingga menyebabkan adanya lapisan air di permukaan membran (Du et al ., 2009). PVDF komersil yang digunakan bersifat hidrofobik dimana pada penelitian ini tidak memiliki nilai fluks. *Polyvinylidene fluoride* (PVDF) merupakan salah satu polimer yang

unggul digunakan sebagai bahan material pembuatan membran karena memiliki ketahanan kimia, stabilitas termal, dan mekanik yang baik. PVDF memiliki sifat hidrofobik atau sukar terhadap air sehingga menyebabkan nilai fluks pada membran menjadi rendah karena proses penyerapan membran terhadap air yang sulit. PVDF memiliki sifat hidrofobik atau sukar terhadap air sehingga menyebabkan nilai fluks pada membran menjadi rendah karena proses penyerapan membran terhadap air yang sulit.

Penambahan PVA dalam modifikasi membran berfungsi sebagai peningkatan sifat hidrofilik membran dan pori membran (Shen *et al.*, 2017). PVA bersifat mudah larut dalam air, elastis, mudah menyatu dengan polimer alami dan terbarukan, dan mudah membentuk gel yang memiliki biodegradabilitas. PVA mempunyai kelebihan mekanik yang baik, tidak bersifat racun, dan mudah untuk pembentukan film sehingga dapat digunakan untuk *storage device* yang ramah lingkungan (Antika, 2023). Berdasarkan Rahmadiawan (2024), peningkatan sifat hidrofilik disebabkan oleh peningkatan ikatan silang polimer. Metode *dip-coating* bertujuan untuk mengikatkan senyawa kimia antara PVA dengan PVDF. Ikatan tersebut membentuk *crosslink* kovalen PVA dengan aldehida yang melibatkan reaksi kondensasi aldol antara gugus hidroksil PVA dengan gugus aldehida (Sakarkar *et al.*, 2020). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa modifikasi PVDF dengan PVA 0,1% memiliki nilai fluks yaitu $65,7 \text{ Lm}^{-2}\text{h}^{-1}$. Pada penelitian Zheng *et al.*, 2018 menyebutkan modifikasi PVDF dengan PVA 0,1% dengan metode NIPS mempunyai nilai fluks kurang dari $60 \text{ Lm}^{-2}\text{h}^{-1}$. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian ini memiliki nilai fluks lebih besar dengan metode modifikasi yang lebih mudah.

Pada hasil uji fluks membran modifikasi dengan PVA 1% dan 2% menunjukkan fluks lebih rendah tetapi menunjukkan peningkatan nilai fluks. Zheng *et al.*, 2018 menunjukkan nilai fluks modifikasi PVDF dengan PVA 1% kurang dari $20 \text{ Lm}^{-2}\text{h}^{-1}$. Modifikasi PVA meningkatkan sifat hidrofilik pada karakteristik lapisan yang teradsorpsi. Viskositas larutan PVA meningkat sebanding dengan peningkatan polimerisasi. Viskositas PVA yang tinggi dapat meningkatkan jumlah polimer yang teradsorpsi (Lu & Li, 2021). Namun, pengondisian *dip-coating* juga mempengaruhi terjadinya *crosslink* pada membran PVDF, seperti halnya waktu *dip-coating* yang menentukan kepadatan jaringan *crosslink* antara PVA dan aldehida. Selanjutnya Du *et al.* (2009) menyatakan pelarutan PVA harus menggunakan *thin coating layer*, karena PVA cukup untuk membentuk lapisan tidak berpori pada konsentrasi lebih tinggi. Perlakuan pemanasan juga perlu diperhatikan. Pasca-pemanasan mengakibatkan peningkatan hambatan pada lintasan molekul air yang melewati film. Film yang mengalami perlakuan pemanasan memiliki proporsi rantai polimer yang tidak berikatan (Yin *et al.*, 2021). Perlakuan pemanasan juga berpengaruh terhadap berkurangnya area untuk menembusnya molekul air karena terjadi peningkatan kepadatan membran dan terjadi rendahnya penyerapan *moisture* (Rahmadiawan *et al.*, 2024). Hal tersebut dapat menjadi salah satu sebab dari berkurangnya jumlah fluks yang didapat dari hasil penelitian.

Berdasarkan Syawaliah (2022), kombinasi PVDF dengan *membran surface modification* PVA menunjukkan kelemahan berdasarkan analisis mekanis dinamis, karena terjadi pembentukan *microvoid interface* yang terjadi selama proses pemindahan fase. Hal tersebut mengakibatkan kekuatan tarik membran PVDF/PVA lebih rendah dibandingkan dengan membran PVDF asli. Penelitian Rynkowska *et al.* (2019) melaporkan bahwa modifikasi PVA memiliki nilai *Water Contact Angle* (WCA) yakni sebesar 66° , nilai WCA juga dipengaruhi oleh perlakuan peningkatan suhu. Nilai WCA pada membran hidrofilik bernilai $< 90^{\circ}$. Pada *contact angle* bahan modifikasi PVA, penyerapan ditentukan oleh porositas dan volume membran (Majerczak *et al.*, 2023). Sementara pada penelitian Ngo *et al.* (2022)

membuktikan bahwa dengan modifikasi PVA menghasilkan fluks hingga 635,70%. Hal tersebut membuktikan bahwa PVA berperan aktif dalam peningkatan sifat hidrofilik membran dengan ditandai menurunkan nilai WCA pada membran.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa modifikasi PVDF dengan PVA dapat meningkatkan sifat hidrofilik membran. Penambahan PVA ke permukaan membran memfasilitasi pembentukan *crosslink* pada membran PVDF sehingga meningkatkan jumlah area hidrofilik. Modifikasi permukaan menjadi hidrofilik menggunakan PVA 0,1% menunjukkan hasil fluks yang lebih tinggi. Namun penelitian ini juga menunjukkan pentingnya pengoptimalan proses modifikasi untuk menghasilkan performa yang lebih baik yaitu mempunyai nilai fluks yang lebih baik sehingga dapat menjadi parameter untuk pengolahan atau pemurnian air.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarwati, S. A., Hidayati, N. A., & Hutapea, H. P. (2024). Sintesis Membran Kitosan/Poli Vinil Alkohol (PVA) untuk Menurunkan Kadar Limbah Pewarna Tekstil. *Dalton: Jurnal Pendidikan Kimia Dan Ilmu Kimia*, 7(1), 75–79.
- Antika, A. D., & MUNASIR, M. (2023). Membran PVA dengan Substitusi Nps Disiapkan Dengan Metode Infersi: Sebagai Separator Baterai Li-ION. *Inovasi Fisika Indonesia*, 12(1), 42–49.
- Aslam, M., Kalyar, M. A., & Raza, Z. A. (2018). Polyvinyl alcohol: A review of research status and use of polyvinyl alcohol based nanocomposites. *Polymer Engineering and Science*, 58(12), 2119–2132. <https://doi.org/10.1002/pen.24855>
- Du, J. R., Peldszus, S., Huck, P. M., & Feng, X. (2009). Modification of poly (vinylidene fluoride) ultrafiltration membranes with poly (vinyl alcohol) for fouling control in drinking water treatment. *Water Research*, 43(18), 4559–4568.
- Fitradi, R. B., & No, J. G. (2015). Preparasi dan modifikasi membran untuk pengolahan air. *No, 10*, 1–15.
- Gul, A., Hruza, J., & Yalcinkaya, F. (2021). Fouling and chemical cleaning of microfiltration membranes: A mini-review. *Polymers*, 13(6), 846.
- Jaspal, D., Malviya, A., El Allaoui, B., Zari, N., Bouhfid, R., Kacem Qaiss, A. El, & Bhagwat, S. (2023). Emerging advances of composite membranes for seawater pre-treatment: a review. *Water Science & Technology*, 88(2), 408–429.
- Lee, J.-M., Lee, H.-W., Kim, Y.-J., Park, H.-G., Hong, S.-P., & Koo, J.-Y. (2013). Improving fouling resistance of seawater desalination membranes via surface modification. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 3(3), 217–223. <https://doi.org/10.2166/wrd.2013.000>
- Lu, Q., & Li, N. (2021). Preparation of hydrophilic polyvinylidene fluoride/polyvinyl alcohol ultrafiltration membrane via polymer/non-solvent co-induced phase separation method towards enhance anti-fouling performance. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), 106431. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106431>
- Majerczak, K., Manning, J. R. H., Shi, Z., Zhang, Z., & Zhang, Z. J. (2023). Surface wetting kinetics of water soluble organic film. *Progress in Organic Coatings*, 177, 107436. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2023.107436>

- Mulder, M. (2012). *Basic principles of membrane technology*. Springer science & business media.
- Ngo, H. L., Nguyen, N. T., Ho, T. T. N., Pham, H. V., Tran, T. N., Huynh, L. T. N., Pham, T. N., Nguyen, T. T., Nguyen, T. H., Le, V. H., & Tran, D. L. (2022). *A low-cost and eco-friendly fabrication of an MCDI-utilized PVA/SSA/GA cation exchange membrane*. *11*(1), 563–571. <https://doi.org/doi:10.1515/gps-2022-0056>
- Ragetisvara, A. A., & Titah, H. S. (2021). Studi Kemampuan Desalinasi Air Laut Menggunakan Sistem Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) pada Kapal Pesiar. *Jurnal Teknik ITS, 10*(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.63933>
- Rahmadiawan, D., Abral, H., Iby, I. C., Kim, H.-J., Ryu, K.-H., Kwack, H.-W., Railis, M. R., Sugiarti, E., Muslimin, A. N., & Handayani, D. (2024). Effect of post-heat treatment on the UV transmittance, hydrophobicity, and tensile properties of PVA/Uncaria gambir extract blend films. *Heliyon, 10*(10).
- Rynkowska, E., Fatyeyeva, K., Marais, S., Kujawa, J., & Kujawski, W. (2019). Chemically and Thermally Crosslinked PVA-Based Membranes: Effect on Swelling and Transport Behavior. In *Polymers* (Vol. 11, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/polym11111799>
- Sakarkar, S., Muthukumaran, S., & Jegatheesan, V. (2020). Evaluation of polyvinyl alcohol (PVA) loading in the PVA/titanium dioxide (TiO₂) thin film coating on polyvinylidene fluoride (PVDF) membrane for the removal of textile dyes. *Chemosphere, 257*, 127144. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127144>
- Shalahuddin, I., & Wibisono, Y. (2019). Mekanisme fouling pada membran mikrofiltrasi mode aliran searah dan silang. *Jurnal Rekayasa Proses, 13*(1), 6–15.
- Shen, L., Feng, S., Li, J., Chen, J., Li, F., Lin, H., & Yu, G. (2017). Surface modification of polyvinylidene fluoride (PVDF) membrane via radiation grafting: novel mechanisms underlying the interesting enhanced membrane performance. *Scientific Reports, 7*(1), 2721. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02605-3>
- Sun, Z., Zhu, X., Tan, F., Zhou, W., Zhang, Y., Luo, X., Xu, J., Wu, D., Liang, H., & Cheng, X. (2023). Poly (vinyl alcohol)-based highly permeable TFC nanofiltration membranes for selective dye/salt separation. *Desalination, 553*, 116479.
- Suryandari, E. T. (2019). Sintesis membran komposit pvdf-zeolit untuk penghilangan metilen biru. *Al Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia Dan Terapan, 6*(2), 58–66.
- Syawaliah; Mulyati, Sri; Medyan, Riza; Nasrul, Muhammad Roil, Bilad; Sri, Aprilia; Suhendrayatna, M. (2022). *Superhidrofilik Dopamine sebagai Agen Modifikasi Struktur dan Sifat Membran* (1st ed.). SYIAH KUALA UNIVERSITY PRESS.
- Torre-Celeizabal, A., Garea, A., & Casado-Coterillo, C. (2022). Chitosan: Polyvinyl alcohol based mixed matrix sustainable coatings for reusing composite membranes in water treatment: Fouling characterization. *Chemical Engineering Journal Advances, 9*, 100236. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.100236>
- Wang, W., Huang, X., Wu, M., Wu, Q., Yang, J., Liu, J., & Zhang, J. (2024). A novel hydrophilic modification method for polytetrafluoroethylene (PTFE) hollow fiber membrane using sacrificial template. *Journal of Membrane Science, 699*, 122667.
- Yin, J., Roso, M., Boaretti, C., Lorenzetti, A., Martucci, A., & Modesti, M. (2021). PVDF-TiO₂ core-shell fibrous membranes by microwave-hydrothermal method: Preparation, characterization, and photocatalytic activity. *Journal of Environmental Chemical Engineering, 9*(5), 106250. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106250>
- Zheng, Z. S., Li, B. B., Duan, S. Y., Sun, D., & Peng, C. K. (2019). Preparation of PVDF ultrafiltration membranes using PVA as pore surface hydrophilic modification agent

with improved antifouling performance. *Polymer Engineering & Science*, 59(S1), E384-E393

Zioui, D., Martins, P. M., Aoudjit, L., Salazar, H., & Lanceros-Méndez, S. (2023). Wastewater Treatment of Real Effluents by Microfiltration Using Poly(vinylidene fluoride–hexafluoropropylene) Membranes. *Polymers*, 15(5), 1–11. <https://doi.org/10.3390/polym15051143>