Jurnal Teknologi Riset Terapan (JATRA)
Vol 2, No 1, 2024, 53-65 https://doi.org/10.35912/jatra.v2i1.4948

Karakterisasi Struktur dan Morfologi Membran Polietersulfon dengan Penambahan Variasi Katalis Organik Titanium Dioksida

(Characterization of the Structure and Morphology of Polyethersulfone Membranes with the Addition of Titanium Dioxide Organic Catalyst Variations)

M Afif Al Ahsan Khuluqa[1], Mardwita[2], Erna Yuliawati[3]
Universitas Muhammadiyah Palembang, Palembang, Indonesia[1,2,3]
erna_yuliawati@um-palembang.ac.id[1,2,3]

Riwayat Artikel
Diterima pada 28 November 2024
Revisi 1 pada 30 November 2024
Revisi 2 pada 04 Desember 2024
Revisi 3 pada 14 Desember 2025
Disetujui pada 1 Januari 2025

Abstract

Purpose: This study aims to synthesize and characterize ultrafiltration membranes based on polyethersulfone (PES) with the incorporation of titanium dioxide (TiO_2) as an organic catalyst at varying concentrations (0%, 1%, and 2%). The goal is to evaluate the impact of TiO_2 addition on the structural and morphological properties of PES membranes to improve water treatment performance.

Research/methodology: Membranes were fabricated using the phase inversion technique, employing N,N-dimethylacetamide (DMAc) as the solvent and polyvinylpyrrolidone (PVP) as the pore-forming additive. Characterization techniques included Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) for functional group identification, scanning electron microscopy (SEM) and atomic force microscopy (AFM) for morphological analysis, contact angle measurement for hydrophilicity, porosity testing, and pure water flux evaluation.

Results: The addition of TiO_2 improved the hydrophilicity of PES membranes, reducing the contact angle from 68.2° to 53.7°, and increased porosity from 48.78% to 67.75%. Morphological analysis showed enhanced pore distribution and surface structure. The membrane with 2% TiO_2 achieved the highest water flux of 5.77 $L/m^2 \cdot h$. Although this value is below the typical ultrafiltration standard (10–50 $L/m^2 \cdot h$), the improvements indicate the potential of TiO_2 to enhance membrane performance.

Conclusions: Incorporating TiO_2 into PES membranes significantly enhanced their hydrophilicity, porosity, and structural uniformity. The optimal performance was observed at a 2% TiO_2 concentration.

Limitations: The study is limited by the non-uniform dispersion of TiO_2 particles and was conducted under laboratory-scale conditions without real-world application testing.

Contribution: This research provides insight into the role of TiO_2 in improving PES membrane characteristics and serves as a practical reference for developing advanced ultrafiltration membranes for water treatment applications.

Keywords: *Dimethyl Acetamide, Polyethersulfone, Titanium Dioxidfe, Ultrafiltration Membrane.*

How to Cite: Khuluqa, M. A. A. A., Mardwita, M., Yuliawati, E. (2024). Karakterisasi Struktur dan Morfologi Membran

	Polietersulfon dengan Penambahan Variasi Katalis Organik Titanium Dioksida. *Jurnal Teknologi Riset Terapan (Jatra)*, 2(1), 53-65.

1. Introduction

Sebagai salah satu unsur penunjang kelangsungan hidup manusia, air mempunyai peranan penting dalam segala aspek kehidupan. Air merupakan kebutuhan esensial yang digunakan dalam aktivitas sehari-hari, sehingga penting untuk menjamin ketersediaan dan kelangsungan penyediaan air bersih sebagai salah satu hak dasar yang harus dipenuhi bagi seluruh masyarakat (Ferdinand & Savitri, 2023). Kebutuhan akan air bersih terus meningkat secara signifikan seiring dengan pertumbuhan penduduk, urbanisasi, perluasan industri, dan peningkatan aktivitas manusia untuk memenuhi berbagai kebutuhan rumah tangga seiring dengan tuntutan hidup yang terus meningkat (Maizunati & Arifin, 2017). Meningkatnya kebutuhan air bersih akan mengakibatkan berkurangnya ketersediaan. Di sisi lain, dampak pencemaran dan kerusakan lingkungan akibat pembuangan limbah cair domestik dan pabrik juga berkontribusi terhadap penurunan kualitas sumber daya air yang pada akhirnya berdampak pada kelangkaan air bersih (Sadilla et al., 2024).

Direktur Jenderal Organisasi Pangan dan Pertanian Dunia (FAO), Jacques Diouf, menyatakan bahwa meskipun ketersediaan air secara umum menurun, penggunaan air global meningkat dua kali lipat dalam satu abad terakhir. Akibatnya, lebih dari 40% populasi dunia menghadapi kelangkaan air, dan pada tahun 2025, diperkirakan 1,8 miliar orang akan tinggal di wilayah yang benar-benar kekurangan air. Kekurangan air ini berdampak buruk pada beberapa sektor, termasuk sektor kesehatan. Kurangnya akses terhadap air minum bersih mengakib atkan 3.800 kematian anak per hari akibat penyakit yang disebabkan oleh air yang terkontaminasi (Alberto, Erawan, & Dwivayani, 2020).

Sadar akan pentingnya air bersih bagi kehidupan dan dampak kekurangannya, sebagian orang berupaya mencari pengganti yang dapat dimanfaatkan untuk menjamin kecukupan pasokan air bersih. Berbagai pendekatan dan strategi telah dilakukan. Di antaranya metode fitoremediasi dengan menggunakan eceng gondok, proses elektrokoagulasi, bahkan proses desalinasi untuk menghilangkan logam pengotor dalam air seperti logam Cu dan Cr (Panneerselvam & Priya, 2023). Teknologi membran merupakan salah satu metode pengolahan air yang mulai populer di seluruh dunia. Pemurnian membran dianggap sebagai alternatif yang lebih efektif dan mampu beradaptasi dengan perubahan kebutuhan dan kemajuan teknologi, sehingga menjadikannya pilihan populer di Indonesia sepanjang waktu (Issaoui, Jellali, Zorpas, & Dutournie, 2022).

Salah satu bahan baku anorganik yang dapat dimanfaatkan untuk membuat membran adalah polimer (Mustabsyirah et al., 2022). Membran polimer berfungsi sebagai media filter selektif dengan bertindak sebagai lapisan filter antara dua fase. Jika dibandingkan dengan teknik pemurnian air lainnya, teknologi membran memiliki sejumlah keunggulan, antara lain konsumsi energi yang rendah, kemudahan pembuatan, ramah lingkungan (Nisah & Nasution, 2022), kesederhanaan pengoperasian (Sitohang, Yuliati, & Hasan, 2022), dan kualitas air yang sangat tinggi (Maulana & Marsono, 2021). Meskipun banyak manfaat dari membran, pengotoran membran adalah sebuah fenomena dimana kontaminan diserap dan disimpan pada permukaan atau pori-pori membran sering terjadi, sehingga membatasi penggunaan membran dalam industri. Hidrofilisitas, muatan, dan kekasaran permukaan membran merupakan penentu utama (Gao, Zhong, Dangayach, & Chen, 2023). Penurunan aliran pada membran juga dapat disebabkan oleh fouling yang disebabkan oleh bahan organik dan anorganik (biofouling) yang melekat pada air (Biswas & Bandyopadhyaya, 2017). Mengurangi kekasaran permukaan membran dan mengubah kualitas hidrofilisitas adalah dua cara untuk meningkatkan kinerja antifouling membran, menurut penelitian yang dilakukan (Mohammadnezhad, Feyzi, & Zinadini, 2019).

Teknologi membran telah berkembang pesat, baik dalam skala laboratorium maupun komersial. Membran dapat dibuat dari bahan alami dan sintetis. Bahan alami adalah bahan yang berasal dari alam, seperti pulp dan kapas. Sedangkan bahan sintetis adalah bahan yang terbuat dari bahan kimia, misalnya polimer. Membran dengan sifat yang sesuai dapat dibuat dari berbagai kombinasi polimer, yang tersedia

dalam berbagai jenis dan biaya mulai dari yang murah hingga yang mahal (Dahlan, Sitaggang, & Sinambela, 2016). Contoh bahan polimer yang umum digunakan antara lain polisulfon, polietersulfon (PES), polivinilidena difluorida (PVDF), poli akrilonitril (PAN), selulosa asetat, poliamida, poli eter keton, dan sebagainya (Mirwan, Indriyani, & Novianty, 2018).

Membran ultrafiltrasi umumnya dibuat menggunakan PES, polimer yang memiliki ketahanan kimia dan mekanik yang sangat baik, stabilitas termal, ramah lingkungan, dan toleransi pelarut (Fathanah et al., 2021). Namun, membran PES seringkali terbatas dalam penerapannya karena sifat hidrofobiknya, yang membuatnya sangat rentan terhadap pengotoran. Oleh karena itu, bahan tambahan diperlukan untuk mengubah sifat PES dan berfungsi sebagai pengikat sifat antifouling pada membran (Mataram et al., 2024). Salah satu inovasi terkini dalam penyediaan air bersih adalah penggunaan titanium dioksida (TiO_2). Selain berperan sebagai zat adiktif, titanium dioksida juga ditambahkan pada membran filter air. Titanium dioksida (TiO_2) memiliki sifat yang membuatnya aktif dan stabil terhadap proses biologis dan kimia, maka titanium dioksida umumnya digunakan sebagai fotokatalis untuk menggambarkan masalah lingkungan seperti pencemaran limbah industri yang mengandung zat seperti warna, fenol, dan sejenisnya (Sukron, Safitri, & Malis, 2019).

Pemilihan pelarut untuk fabrikasi membran merupakan langkah penting dalam proses ini, karena berdampak signifikan terhadap sifat dan kinerja produk membran akhir. Dalam kasus membran polietersulfon (PES), berbagai pelarut telah dieksplorasi kesesuaiannya dalam melarutkan polimer dan memfasilitasi pembentukan membran dengan karakteristik yang diinginkan. Di antara pelarut-pelarut ini, N,N-dimethylacetamide (DMAc) telah muncul sebagai pilihan populer untuk pembuatan membran PES karena sifat dan keunggulannya yang unik. DMAc adalah pelarut kuat yang menunjukkan kelarutan tinggi untuk PES, memungkinkan pembentukan larutan polimer dengan konsentrasi polimer tinggi. Kelarutan yang tinggi ini memungkinkan pembuatan membran dengan sifat mekanik yang lebih baik, seperti kekuatan tarik dan perpanjangan putus. Selain itu, DMAc telah terbukti meningkatkan porositas membran PES, sehingga menghasilkan permeabilitas air dan laju fluks yang lebih tinggi.

Selain itu, DMAc merupakan pelarut yang relatif tidak beracun dan ramah lingkungan dibandingkan dengan pelarut tradisional lainnya seperti N-methylpyrrolidone (NMP) dan dimethylformamide (DMF) (Dong, Lu, Harris, & Escobar, 2021). Hal ini menjadikannya pilihan yang menarik untuk fabrikasi membran, khususnya dalam aplikasi yang mengutamakan kelestarian lingkungan. Ringkasnya, pemilihan DMAc sebagai pelarut pembuatan membran PES didasarkan pada kelarutannya yang tinggi terhadap polimer, kemampuannya dalam meningkatkan porositas membran, serta sifatnya yang relatif tidak beracun dan ramah lingkungan. Sifat-sifat ini menjadikan DMAc sebagai pelarut yang cocok untuk membuat membran PES dengan peningkatan kinerja dan keberlanjutan.

2. Methode penelitian

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2024 dalam skala laboratorium dan dilaksanakan di Laboratorium Advanced Membrane Technology (AMTEC) Universitas Teknologi Malaysia, Johor Bahru. Analisis juga dilakukan di Laboratorium Advanced Membrane Technology (AMTEC) Universitas Teknologi Malaysia, Johor Bahru. Lamanya waktu penelitian yang diperlukan mulai dari persiapan hingga pelaporan adalah sekitar 2 bulan.

2.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Polietersulfon (PES), Dimethyl Acetamide (DMAc) untuk sintesis, Polyvinil Pirolidone (PvP, Titanium Dioksida (TiO_2), air, reserve osmosis water. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah batang pengaduk, pipet volume, hot plate, neraca analitis, gelas kimia, labu ukur, sudip, pengaduk magnetik, piring kaca, lakban, bak koagulasi, satu set alat Dead End Cell Filtration System TFF 47mm, Optika Cantact Angele (OCA 25), Instrumen Fourier Transform Infra Red (FTIR) (Alpa II Bruker), Instrumen SEM (Hitachi SU3900 Standart), Instrumen AFM 4826101000-AL2-173719245.

2.3 Metode

Pada penelitian ini terdapat 3 variabel yaitu variabel tetap, variabel peubah dan variabel terikat. Variabel tetap dalam penelitian ini adalah jenis bahan yang digunakan dalam produksi membran. dimulai dengan polimer (Polietersulfon), pelarut Dimethylacetamide (DMAc), Polyvinilpirolidone (PvP) dan aditif Titanium Dioxida (TiO_2). Variabel peubah dalam penelitian ini adalah konsentrasi Titanium Dioksida dari 0%, 1%, dan 2%. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah hasil akhir karakterisasi membran setelah terbentuk.

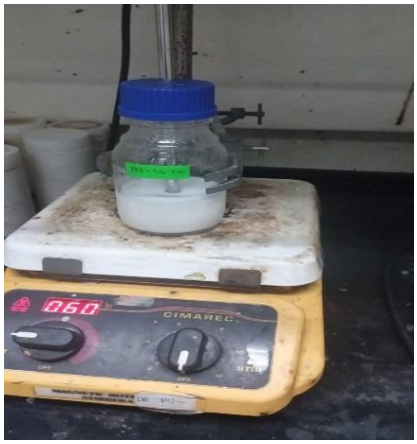
3. Hasil dan pembahasan

3.1 Pembuatan Membran PES

Pembuatan membran Poliethersulfon (PES) dengan penambahan titanium dioksida (TiO_2) sebagai aditif merupakan topik penelitian yang semakin menarik dalam bidang teknologi membran. Membran PES dikenal memiliki stabilitas termal dan kimia yang sangat baik, menjadikannya bahan pilihan dalam aplikasi filtrasi, pemisahan, dan pengolahan air. Namun, sifat hidrofobik alami PES sering menjadi kendala dalam aplikasi yang membutuhkan permeabilitas air tinggi dan sifat antifouling yang baik. Penambahan TiO_2 sebagai aditif bertujuan untuk mengatasi masalah ini dengan memanfaatkan sifat unik TiO_2, seperti fotokatalitik, hidrofobik, dan antimikroba (Chauke, Mohlala, Ngqoloda, & Raphulu, 2024).

Proses pembuatan membran PES-TiO_2 melibatkan beberapa tahapan kunci yang mencakup persiapan larutan polimer, penambahan dan dispersi TiO_2, pengecoran membran, dan proses pengeringan atau penggumpalan. Larutan PES disiapkan dengan melarutkan polimer dalam pelarut organik yang sesuai, seperti N,N-dimetilacetamide (DMAc). TiO_2 ditambahkan ke dalam larutan ini dengan berbagai metode seperti pengadukan mekanis, sonikasi, atau penggilingan bola untuk memastikan distribusi yang homogen. Konsentrasi TiO_2 yang digunakan dapat bervariasi, tergantung pada sifat yang diinginkan dari membran akhir. Setelah larutan PES-TiO_2 homogen, proses pencetakan dilakukan menggunakan teknik fase inversi, yang melibatkan pencetakan larutan pada permukaan datar dan pencelupan dalam bak koagulan (biasanya air) untuk menginduksi pembentukan membran melalui penggumpalan fasa cair. Selama proses ini, interaksi antara PES, TiO_2, dan air menyebabkan pembentukan struktur berpori yang merupakan ciri khas membran ultrafiltrasi. Parameter-parameter seperti kecepatan pengecoran, suhu, dan konsentrasi polimer serta aditif berperan penting dalam menentukan morfologi dan performa akhir membran.

Karakterisasi membran PES-TiO_2 melibatkan berbagai teknik analisis untuk mengevaluasi morfologi, sifat fisik, dan kinerja filtrasi. Scanning Electron Microscopy (SEM) digunakan untuk mengamati struktur permukaan dan penampang membran, sementara Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), digunakan untuk memastikan keberadaan dan dispersi TiO_2 dalam matriks PES. Atomic Force Microscope (AFM) digunakan untuk mengetahui tingkat kekasaran permukaan membrane. Uji kinerja melibatkan pengukuran fluks air murni, sifat hidrofobik melalui pengukuran sudut kontak air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan TiO_2 ke dalam membran PES secara signifikan meningkatkan sifat hidrofobik pada membran. Membran PES-TiO_2 menunjukkan peningkatan fluks air murni yang signifikan dibandingkan dengan membran PES murni, serta memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap fouling.

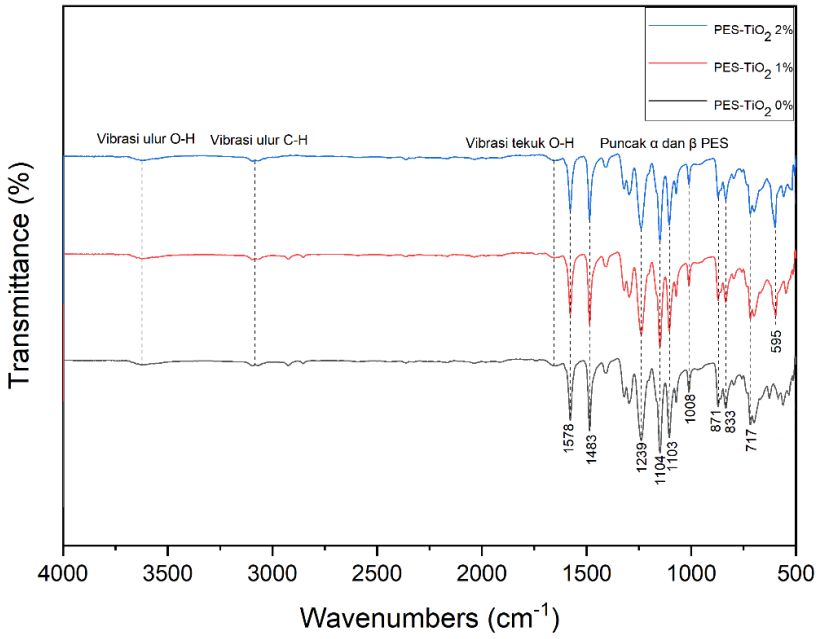


Gambar 1. Larutan Dope Membran PES

3.2 Karakterisasi Membran

3.2.1 Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR

FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) pada membran digunakan untuk menganalisis komposisi kimia dan struktur molekul dari material membran (Abriyani et al., 2024). FTIR dapat mengidentifikasi gugus fungsional yang ada pada material membran, seperti –OH, –COOH, –NH_2, dan lainnya. Setiap gugus fungsional memiliki pita serapan karakteristik pada spektrum inframerah. Hasil analisis FTIR membrane ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Spektra FTIR, PES-TiO2 0%, PES-TiO2 1% , PES-TiO2 2%

Dari hasil pengujian gugus fungsi dengan menggunakan spektroskopi FTIR diatas dapat dilihat bahwa adanya gugus fungsi O-H, C-H, C-N, C-C, SO2, C-O-C, dan TiO2. Serapan pita pada daerah daerah antara 1150,65 dan 1150,98 cm-1 menunjukkan adanya ikatan sulfonat (S=O). Lalu juga terdapat gugus fungsi aromatik C-H pada panjang gelombang 871 cm-1, 833 cm-1, dan 717 cm-1. Kemudian pada panjang gelombang 1239 cm-1 menunjukkan adanya gugus fungsi eter aromatik (C-O-C). Pada panjang gelombang 595, 23 593,78 cm-1 pada sampel b dan c menunjukan adanya gugus Titanium Dioxide (Ti-O-Ti) yang menunjukkan bahwa penambahan titanium dioxide telah berhasil ditambahkan ke membran PES. Bilangan gelombang 1600,45-1608,68 cm-1 adalah vibrasi tekuk dari O-H. Pita dengan lebar

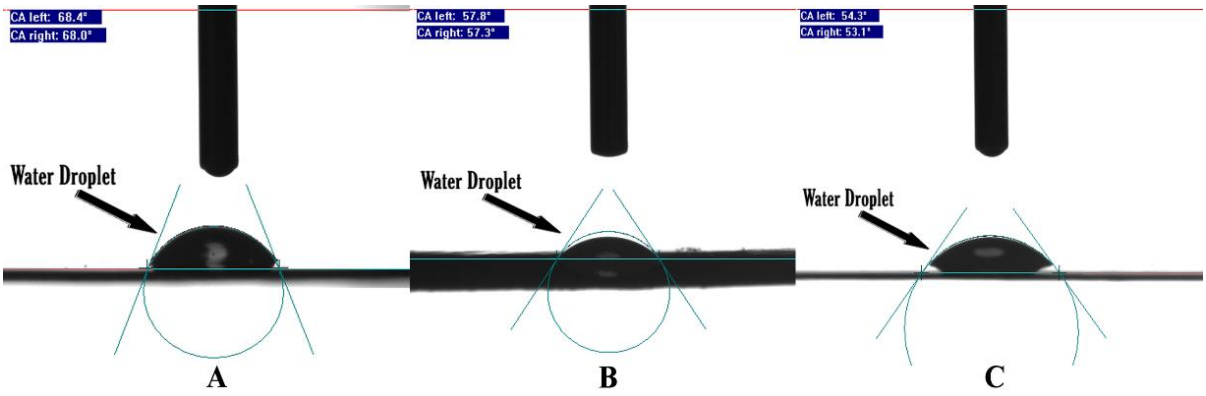
2900-3200 cm-1 menunjukkan vibrasi ulur C-H dan antara 3400-3500 cm-1 menunjukkan adanya vibrasi ulur dari gugus O-H (Suryandari, Mustain, Pratama, & Maula, 2019).

Tabel 1. Analisis Gugus Fungsi Membran PES-Tio$_2$

Jenis Serapan	Bilangan gelombang membran PES-TiO_2 (Cm^{-1})		
	PES-$TiO_2$0%	PES-$TiO_2$0%	PES-$TiO_2$0%
Vibrasi ulur O-H	3458,05	3460,10	3468,33
Vibrasi ulur C-H	2979,27	2983,86	2982,93
Vibrasi tekuk O-H	1604,56	1602,51	1608,68
C-N	1402,66	1402,55	1402,96
C-O-C	1239,27	1239,47	1239,50
S=O	1150,98	1150,65	1150,68
Ti-O	-	595,23	595,78

3.2.2 Contact Angle

Sudut kontak (*Contact Angle*) pada membran merujuk pada sudut yang terbentuk antara permukaan membran dan tepi tetesan cairan yang ditempatkan di atasnya. Sudut ini adalah indikator penting yang digunakan untuk mengevaluasi sifat permukaan membran, terutama dalam hal hidrofilisitas (daya tarik terhadap air) atau hidrofobisitas (penolakan terhadap air). Apabila sudut kontak bernilai 90°, dapat dikatakan membrane tersebut mempunyai sifat hidrofobik. Namun apabila sudut kontaknya kurang dari 90°, maka dapat dikatakan bahwa membrane tersebut mempunyai sifat hidrofilik (Ahmad, Boogaert, Miller, Presswell, & Jouhara, 2018). Sebelum diuji, Membran dipotong dengan ukuran 2 cm x 10 cm membentuk persegi panjang, kemudian diuji dengan alat *Optical Contact Angle* (OCA 25). Hasil uji *Contact Angle* dapa dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. *Contact Angle* a) PES-TiO_2 0%, b) PES-TiO_2 1%, c) PES-TiO_2 2%

Perbandingan uji Contact Angle ditiunjukkan oleh Gambar 3 dapat dilihat bahwa membran diatas yang merupakan PES-TiO_2 0% (Gambar A) memiliki sudut kontak terbesar yaitu 68,2°. Lalu pada membran dengan tambahan 1% Titanium Dioxida (Gambar B) memiliki sudut kontak yang lebih kecil yaitu 57,5°. Sementara membrane dengan tambahan 2% Titanium Dioxida (Gambar C) menunjukkan sudut kontak paling kecil yaitu 53,7°. Penambahan Titanium Dioxide (TiO2) pada membran Polyethersulfone (PES) memiliki pengaruh signifikan dalam menurunkan sudut kontak, yang berimplikasi pada peningkatan hidrofilisitas membran.

Tabel 2. Hasil Uji Sudut Kontak

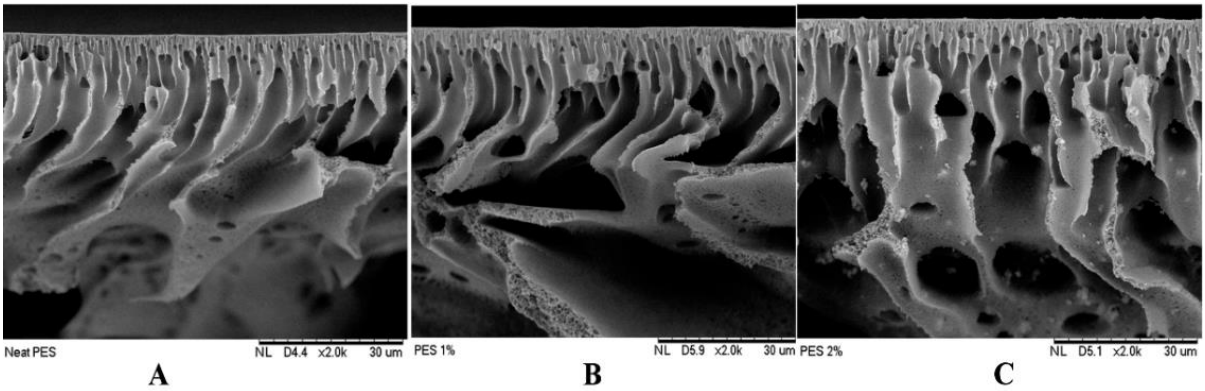
Membran	Sudut kontak (°)
Neat PES	68,2
PES 1% TiO2	57,5
PES 2% TiO2	53,7

3.2.3 SEM (Scanning Electron Microscope)

SEM (Scanning Electron Microscopy) adalah sebuah teknik mikroskopi yang menggunakan berkas elektron untuk memeriksa dan memperoleh gambar resolusi tinggi dari permukaan suatu sampel. SEM memanfaatkan berkas elektron yang difokuskan ke permukaan sampel. Elektron-elektron ini kemudian berinteraksi dengan atom-atom di permukaan sampel dan menghasilkan berbagai sinyal yang dapat dideteksi dan diolah menjadi gambar. Berkas elektron dipindai (scanned) secara berurutan di permukaan sampel dalam pola raster. Penggunaan SEM pada membran bertujuan untuk mendapatkan informasi rinci mengenai karakteristik fisik dan morfologi membran tersebut.

3.2.4 Cross Section

Membran yang akan dikarakterisasi menggunakan SEM pada penelitian kali ini adalah membran PES-TiO_2 0%, membran PES-TiO_2 1% dan membran PES-TiO_2 2%. Hasil dari analisa SEM dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.

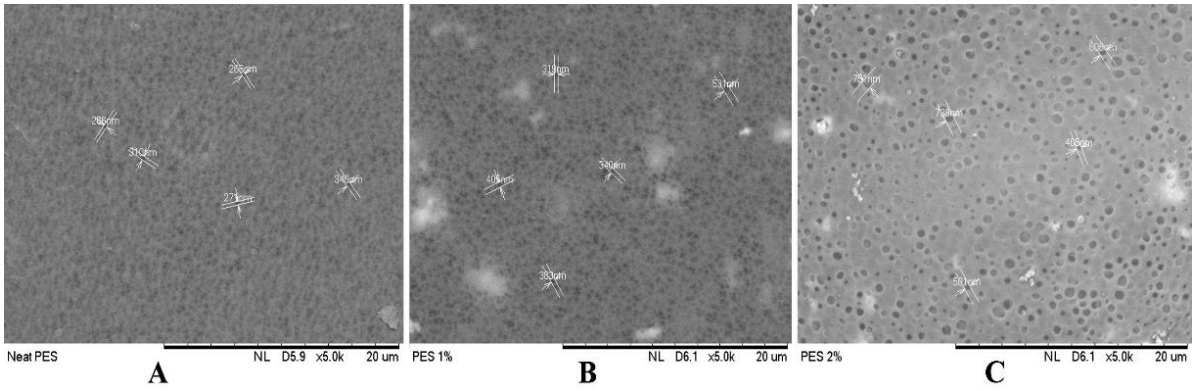


Gambar 4. Morfologi Penampang Lintang dari Membran A) PES 0% TIO_2, PES 1% TiO_2, PES 2% TiO_2

Berdasarkan Gambar 4 dapat kita lihat hasil SEM memperlihatkan adanya perbedaan ukuran penampang membran seiring ditambahkannya TiO_2 pada larutan dope. Pada sampel PES-TiO_2 0% (Gambar A) menunjukkan morfologi pori dan struktur membentuk jari-jari kecil. Lalu ukuran pori-porinya juga terlihat sedikit lebih rapat. Terdapat celah kosong pada bagian bawah membran. Sebagian permukaan membran terutama dibagian bawah terlihat lebih tebal dan terlihat seperti sponge. Hal ini dapa menghambat kinerja membrane karena terjadi penumpukan pori di satu bagian membran. Kemudian pada sampel PES-TiO2 1% (Gambar B) menunjukkan bentuk pori yang lebih rapi serta teratur dan tersebar merata. Pesebaran pori yang merata ini diharapkan dapat membuat menyerapan membran menjadi lebih efektif. Penambahan TiO_2 juga membuat permukaan membran tampak lebih keras hal ini dapat diperhatikan dari semakin rapatnya permukaan membran. Sedangkan pada sampel PES-TiO_2 2% (Gambar C) menunjukkan ukuran pori yang jauh lebih teratur daripada sebelumnya. Bagian bawah yang berbentuk seperti sponge juga lebih sedikit. Hal ini sesuai dengan penelitian (Istiani, 2022) dimana penambahan TiO_2 ke dalam membran PVC menghasilkan struktur seperti jari yang lebih memanjang.

3.2.5 Surface Area

Untuk pesebaran pori dan ukurannya dapat diperhatikan dari penampang atas atau surface dari membran. Dari analisa SEM permukaan membrane juga bisa didapat informasi tentang ukuran pori-pori daripada membrane yang dibuat.

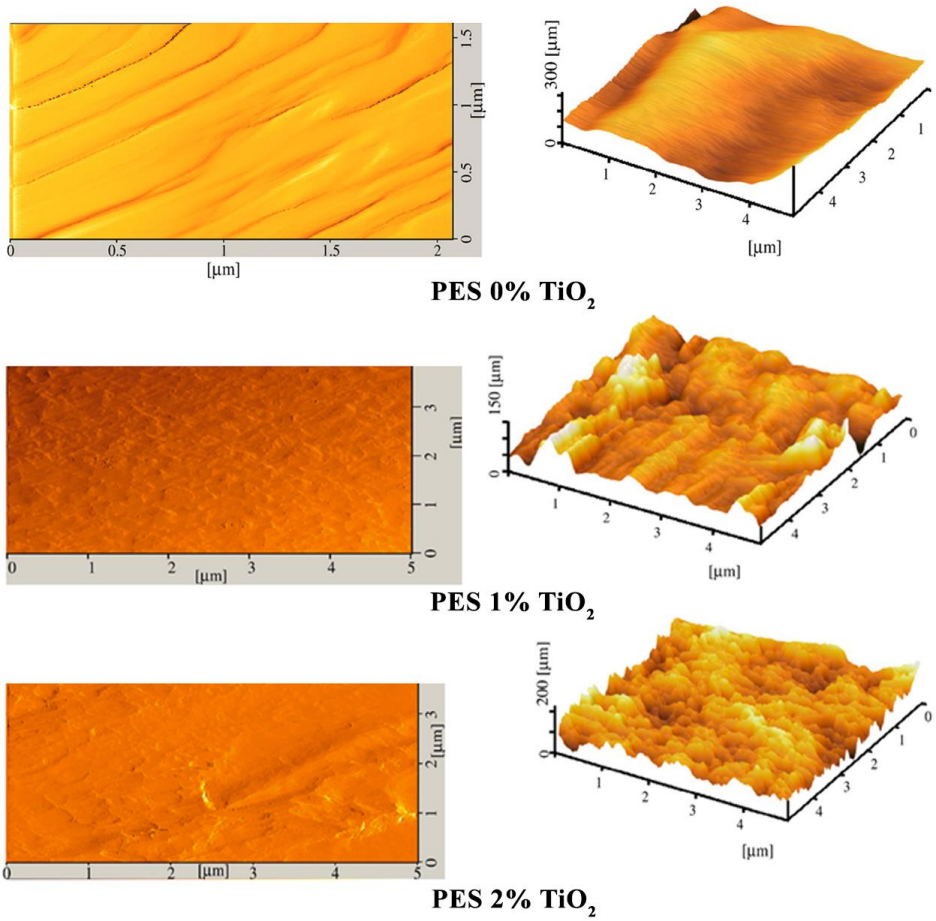


Gambar 5. Surface Membran PES-TiO_2

Penambahan TiO_2 dapat mempengaruhi ukuran dan distribusi pori pada membran PES. Penelitian menunjukkan bahwa dengan meningkatnya konsentrasi TiO2, terjadi pembentukan pori-pori yang lebih besar di sekitar agregat TiO_2 (Yuliwati, 2019). Hal ini dibuktikan dengan analisis SEM dimana penambahan TiO_2 pada membran PES menyebabkan penyebaran pori pada membran menjadi lebih merata. Hal ini disebabkan oleh partikel TiO_2 yang ditambahkan kedalam membran PES mengandung gugus hidroksil yang menjadi awal dari tebentuknya pori. Gugus hidroksil ini teradsorpsi pada permukaan membran, bertanggung jawab atas peningkatan sifat hidrofilik membrane (Yuliwati, 2019). Untuk mengukur besaran pori yang terbentuk telah diambil 5 sampel ukuran pori pada masing-masing membran dan didapat ukuran pori pada membrane TiO_2 0%, 1%, dan 2% masing-masing adalah 298,6 μm, 395,6 μm, 582,7 μm. Sehingga rata-rata ukuran pori membran adalah 425,6 μm.

3.2.4 AFM (Atomic Force Microscope)

Karakterisasi menggunakan AFM dilakukan untuk menganalisis perubahan morfologi permukaan, kekasaran, dan sifat mekanik membran akibat penambahan TiO_2. Hasil studi menunjukkan bahwa penambahan TiO_2 menghasilkan peningkatan kekasaran permukaan yang signifikan dan perubahan dalam struktur pori membran. Analisis topografi AFM mengungkapkan distribusi partikel TiO_2 yang homogen pada permukaan membran, serta pembentukan nanokomposit yang memperbaiki sifat mekanik dan hidrofobisitas membran PES. Selain itu, pengukuran modulus elastisitas melalui AFM menunjukkan peningkatan kekakuan membran dengan peningkatan konsentrasi TiO_2. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi TiO_2 ke dalam matriks PES menghasilkan membran dengan sifat fisik dan mekanik yang ditingkatkan, menjadikannya lebih efektif untuk aplikasi filtrasi dan pemisahan.



Gambar 6. Morfologi Penampang Membrane PES -TiO_2 pada uji AFM

Permukaan membran PES murni menunjukkan struktur yang halus dan seragam dengan pori-pori yang jelas dan teratur. Morfologi yang halus ini disebabkan oleh ketiadaan partikel pengisi, sehingga struktur polimer tetap utuh tanpa adanya gangguan dari partikel eksternal. Pori-pori seragam memberikan permeabilitas yang stabil dan dapat diprediksi. Dengan penambahan 1% TiO_2, permukaan membran menunjukkan adanya aglomerasi partikel yang lebih besar, menyebabkan permukaan yang lebih kasar dan heterogen.. Penambahan 1% TiO_2 juga memunculkan perubahan dalam morfologi. Konsentrasi TiO_2 yang belum cukup menyebabkan partikel cenderung mengelompok, menciptakan daerah-daerah dengan konsentrasi tinggi partikel yang dapat mengganggu struktur pori yang seragam.

Pada penambahan 2% TiO_2, permukaan membran menunjukkan perubahan dengan munculnya partikel-partikel kecil yang tersebar merata di seluruh permukaan. Partikel TiO_2 cenderung tersebar merata di permukaan membran, meningkatkan tekstur permukaan. Pori-pori menjadi lebih beragam dalam ukuran karena pengaruh partikel TiO_2. Partikel TiO_2 mulai mengintegrasi ke dalam matriks PES, memberikan tekstur yang lebih kasar dibandingkan dengan membran murni. Distribusi yang merata menunjukkan bahwa TiO_2 terdispersi dengan baik dalam larutan polimer sebelum proses pembentukan membran. Hal ini sesuai dengan penelitian Rama, et, al yang menyatakan bahwa Penambahan TiO2 dapat mengubah topografi permukaan membran PES. Membran PES murni cenderung memiliki permukaan yang relatif halus dengan sedikit puncak dan lembah. Namun, setelah penambahan TiO_2, topografi permukaan dapat menjadi lebih kasar dengan distribusi puncak dan lembah yang lebih beragam.

3.2.5 Porositas Membran

Porositas membran adalah parameter penting yang mempengaruhi kinerja dan aplikasi berbagai jenis membran dalam proses seperti filtrasi, pemisahan gas, dan pemurnian air. Porositas mengacu pada proporsi volume total membran yang terdiri dari pori-pori, yang secara langsung memengaruhi

permeabilitas dan selektivitas membran. Membran dengan porositas tinggi umumnya memungkinkan aliran fluida yang lebih besar, namun dapat mengurangi selektivitas karena memungkinkan partikel berukuran lebih besar untuk melewati. Sebaliknya, membran dengan porositas rendah cenderung memiliki selektivitas yang lebih baik tetapi dengan laju alir yang lebih rendah. Teknik pembuatan dan karakterisasi porositas, seperti porosimetri dan mikroskop elektron, sangat penting untuk mengoptimalkan desain membran agar sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu. Dengan demikian, porositas merupakan faktor kunci dalam menentukan efisiensi dan efektivitas membran dalam berbagai aplikasi teknologi. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Rama et, al yang menyatakan bahwa penambahan TiO_2 pada membran PES cenderung meningkatkan porositas membran. Hal ini disebabkan oleh kemampuan TiO_2 untuk menciptakan ruang pori yang lebih besar dan lebih terdistribusi secara merata dalam matriks PES.

Tabel 3. Hasil Uji Porositas Membran PES dengan Variasi TiO_2

No	Membran	Berat Membran Basah (gram)	Berat Membran Kering (gram)	Densitas Air (gram/cm^3)	Luas Permukaan Membran (cm^2)	Tebal Membran (cm)	Porositas (%)
1	PES-TiO_2 0%	0,1	0,094	0,001225	5,02	0,02	48,78
2	PES-TiO_2 1%	0,2	0,193	0,001225	5,02	0,019	59,91
3	PES-TiO_2 2%	0,1	0,092	0,001225	5,02	0,012	67,75

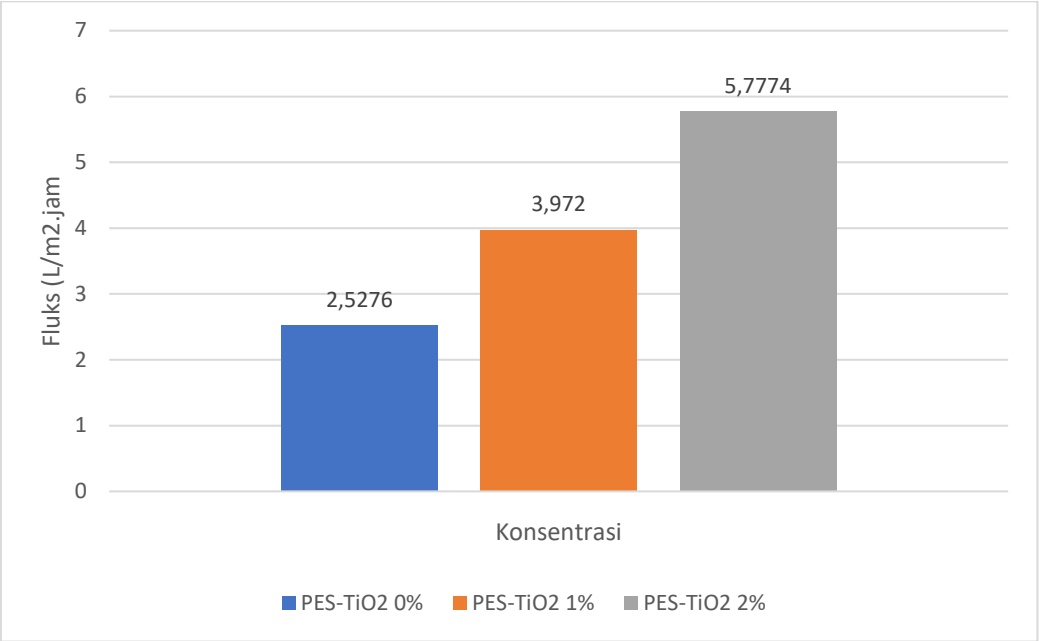
3.2.6 Uji Fluks Membran

Salah satu cara untuk menguji dan melihat bagaimana pengaruh penambahan TiO_2 terhadap kinerja membran PES adalah dengan mengetahui nilai fluks pada membran. Uji fluks membran adalah metode untuk mengukur permeabilitas atau kemampuan membran untuk memungkinkan aliran cairan melewatinya. Uji ini penting untuk menilai kinerja membran dalam aplikasi pemisahan dan filtrasi. Pada tabel 4.4 menunjukkan bahwa penambahan terhadap jumlah TiO_2 pada memrban PES dapat berpengaruh pada nilai fluks yang dihasilkan. Penambahan TiO_2 pada membran menyebabkan jumlah fluks pada membran meningkat. Hal ini dapat dilihat bahwa membran PES murni yang tidak ditambahkan TiO_2 mempunyai nilai fluks paling rendah yaitu 2,5276 L/m^2.jam. Hal ini terjadi karena TiO_2 mampu meningkatkan sifat hidrofilisitas membran itu sendiri. Sifat hidrofilik atau suka air yang disebabkan oleh TiO_2 inilah yang membuat permeat lebih mudah menembus permukaan membran. Berdasarkan hasil uji fluks yang diperoleh, membran tersebut belum memenuhi kriteria membran ultrafiltrasi dimana berdasarkan beberapa penelitian tentang membran ultrafiltrtasi yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya, membran ultrafiltrasi memiliki nilai fluks antara 10-50 L/m^2.jam (Fathanah et al., 2021).

Tabel 4. Hasil Fluks Membran PES dengan Variasi TiO_2

No	Membran	Volume Permeat (L)	Luas Permukaan Membran (m^2)	Tekanan (bar)	Waktu (jam)	Fluks (L/m^2.jam)
1	PES-TiO_2 0%	0,007	1,3847 x 10^{-3}	6	0,5	2,5276
2	PES-TiO_2 1%	0,011	1,3847 x 10^{-3}	6	0,5	3,972
3	PES-TiO_2 2%	0,016	1,3847 x 10^{-3}	6	0,5	5,7774

Pengaruh antara konsentrasi TiO_2 dan nilai fluks membran dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh Penambahan TiO_2 terhadap Fluks Membran a) PES-TiO_2 0% b) PES-TiO_2 1% c) PES-TiO_2 2%

Berdasarkan hasil karakteristik dan uji performa yang dilakukan, membran ultrafiltrasi Polyethersulfone dengan modifikasi Titanium Dioxida yang telah disintetis memliliki karakteristik yang sesuai untuk diaplikasikan di industri pengolahan air, seperti pemisahan minyak dari air limbah industri, desalinasi air laut, dan pengolahan air minum. Dari penelitian ini, penulis berharap kedepannya hasil penelitian membran Polyethersulfon dengan variasi penambahan Titanium Dioxida dapat dikembangkan dan dijadikan rujukan sampai membran bisa difungsikan ke tahap aplikasi berdasarkan hasil karakterisasi yang telah penulis teliti.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bawah membran ultrafiltrasi yang terbuat dari bahan PES dengan variasi penambahan TiO_2 telah berhasil disintetis. Beberapa lanjutan karakteristik dan uji aplikasi perlu dilanjutkan. Uji FTIR menunjukkan penambahan TiO_2 telah berhasil dengan adanya gugus batu Ti-O di nomor gelombang 595,23-595,78 cm^{-1} pada membran yang dibuat. Pada uji sudut kontak (Contact Angle) menunjukkan penambahan TIO_2 2% adalah yang paling optimal sudut kontaknya yaitu pada 53,7°. pada uji SEM menunjukkan penambahan TiO_2 paking optimal dalam pembentukan pori membrane adalah pada penambahan 2% TiO_2. Uji AFM menunjukkan bahwa penambahan 2% TiO_2 ke dalam membran PES membuat pesebaran puncak nodule dan valey yang lebih merata. Lalu pada uji porositas membran dengan system dry-wet weigth procedure yaitu dengan menimbang berat membran basah dan kering, didapatkan nilai porositas paling baik pada membrane dengan 2% TiO_2 yaitu sebesar 67,75%. Hasil uji fluks juga menunjukkan bahwa penambahan 2% TiO_2 mempunyai jumlah permeat yang paling banyak yaitu 5,7774 L/m^2.jam . Walaupun nilai fluks yang didapat masih belum cukup untuk dikatakan sebagai membran ultrafiltrasi yang mana nilai fluks yang diinginkan adalah diatas 10-50 L/m2.jam. Hal ini disebabkan belum terdistribusinya secara menyeluruh TiO_2 ke seluruh permukaan membran.

4.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya diharapkan bisa lebih baik dan menggunakan jenis zat aditif Titanium Dioxida dengan ukuran partikel yang lebih kecil guna mendapatkan nilai fluks yang lebih tinggi lagi mengingat karakteristik dari Titanium Dioksida yang hanya terdispersi pada larutan dope membrane dan juga untuk mendapatkan karakterisasi membran yang lebih optimal supaya meningkatkan kinerja membran.

Referensi

Abriyani, E., Syalomita, D., Apriani, I. P., Puspawati, I., Adiputra, S., & Nadeak, Z. T. (2024). Pengaruh Pengolahan Termal Terhadap Struktur Molekul Material Polimer Studi dengan Spektroskopi FTIR. *Innovative: Journal of Social Science Research, 4*(1), 3424-3432. doi:https://doi.org/10.31004/innovative.v4i1.8287

Ahmad, D., Boogaert, I. v. d., Miller, J., Presswell, R., & Jouhara, H. (2018). Hydrophilic and Hydrophobic Materials and Their Applications. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 40*(22), 2686-2725. doi:https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1511642

Alberto, Erawan, E., & Dwivayani, K. D. (2020). Kampanye Komunikasi Lingkungan Dalam Upaya Peduli Air Bersih Bagi Masyarakat Sungai Karang Mumus (Studi Kasus pada LSM GMSS-SKM). *eJournal Ilmu Komunikasi, 8*(4), 106-120.

Biswas, P., & Bandyopadhyaya, R. (2017). Biofouling Prevention Using Silver Nanoparticle Impregnated Polyethersulfone (PES) Membrane: E. coli Cell-Killing in a Continuous Cross-Flow Membrane Module. *Journal of Colloid and Interface Science, 491*, 13-26. doi:https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.11.060

Chauke, N. M., Mohlala, R. L., Ngqoloda, S., & Raphulu, M. C. (2024). Harnessing visible Light: Enhancing TiO_2 Photocatalysis with Photosensitizers for Sustainable and Efficient Environmental Solutions. *Frontiers in Chemical Engineering, 6*, 1-25. doi:https://doi.org/10.3389/fceng.2024.1356021

Dahlan, M. H., Sitaggang, W., & Sinambela, D. (2016). Perbandingan Pengolahan Limbah Cair Karet dengan Koagulan Asam Formiat, Asap Cair dan Asam Sulfat Menggunakan Teknologi Membran. *Jurnal Teknik Kimia, 22*(4), 1-10.

Dong, X., Lu, D., Harris, T. A., & Escobar, I. C. (2021). Polymers and Solvents Used in Membrane Fabrication: A Review Focusing on Sustainable Membrane Development. *Membranes, 11*(5), 1-25. doi:https://doi.org/10.3390/membranes11050309

Fathanah, U., Lubis, M. R., Mahyuddin, Z., Muchtar, S., Yusuf, M., Rosnelly, C. M., . . . Kamaruzzaman, S. (2021). Sintesis, Karakterisasi dan Kinerja Membran Hidrofobik Menggunakan Polyvinyl Pyrrolidone (PVP) Sebagai Aditif. *ALCHEMY: Jurnal Penelitian Kimia, 17*(2), 140-150. doi:https://doi.org/10.20961/alchemy.17.2.48435.140-150

Ferdinand, M. A., & Savitri, A. (2023). Upaya Pemenuhan Air Bersih Masyarakat Pulau Belakang Padang Melalui Sistem Sea Water Reverse Osmosis. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil, 5*(2), 470-483. doi:https://doi.org/10.31602/jk.v5i2.9094

Gao, H., Zhong, S., Dangayach, R., & Chen, Y. (2023). Understanding and Designing a High-Performance Ultrafiltration Membrane Using Machine Learning. *Environmental Science & Technology, 57*(46), 17831-17840. doi:https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05404

Issaoui, M., Jellali, S., Zorpas, A. A., & Dutournie, P. (2022). Membrane Technology for Sustainable Water Resources Management: Challenges and Future Projections. *Sustainable Chemistry and Pharmacy, 25*, 1-21. doi:https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100590

Istiani, N. (2022). *Sintesis dan Karakterisasi Membran (Polyvinylidene Difluoride) PVDF-Fe_2O_3 untuk Filtrasi Ion Logam Cr^{6+}*. Universitas Islam Negeri Walisongo, Semarang.

Maizunati, N. A., & Arifin, M. Z. (2017). Pengaruh Perubahan Jumlah Penduduk Terhadap Kualitas Air di Indonesia. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah, 15*(2), 207-215. doi:https://doi.org/10.36762/jurnaljateng.v15i2.417

Mataram, A., Nasution, J. D., Bizzy, I., Mohruni, A. S., Rizal, S., Pataras, M., . . . Bactiar, M. (2024). Analisis Karakteristik Membran Pengolahan Air dari Bahan

Polyethersulfone dengan Penambahan Perak Nitrat. *AUSTENIT, 16*(1), 55-62. doi:https://doi.org/10.53893/austenit.v16i1.8614

Maulana, M. R., & Marsono, B. D. (2021). Penerapan Teknologi Membran untuk Mengolah Limbah Cair Industri Tahu (Studi Kasus: UKM Sari Bumi, Kabupaten Sumedang). *Jurnal Teknik ITS, 10*(2), 54-60. doi:https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.63453

Mirwan, A., Indriyani, V., & Novianty, Y. (2018). Pembuatan Membran Ultrafiltrasi dari Polimer Selulosa Asetat dengan Metode Inversi Fasa. *Konversi, 6*(1), 11-16. doi:https://dx.doi.org/10.20527/k.v6i1.4778

Mohammadnezhad, F., Feyzi, M., & Zinadini, S. (2019). A Novel Ce-MOF/PES Mixed Matrix Membrane; Synthesis, Characterization and Antifouling Evaluation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 71*, 99-111. doi:https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.09.032

Mustabsyirah, Shinta, A., Lubis, M. R., Sofyana, Mukramah, Mukhriza, . . . Fathanah, U. (2022). Peningkatan Kinerja Membran Polietersulfon (PES) dengan Modifikasi Menggunakan Aditif Hidrofilik. *Jurnal Serambi Engineering, 7*(1), 2656-2662. doi:https://doi.org/10.32672/jse.v7i1.3828

Nisah, K., & Nasution, R. S. (2022). Analisis Potensi Membran dari Karagenan pada Desalinasi Air Sumur Dengan Metode Reverse Osmosis. *Amina: Ar-Raniry Chemistry Journal, 4*(1), 37-46. doi:https://doi.org/10.22373/amina.v4i1.2472

Panneerselvam, B., & Priya, S. (2023). Phytoremediation Potential of Water Hyacinth in Heavy Metal Removal in Chromium and Lead Contaminated Water. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 103*(13), 3081-3096. doi:https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1901896

Sadilla, F., Frinaldi, A., Razak, A., Rembrandit, Dewata, I., & Syah, N. (2024). Analisis Sistematis Hukum Lingkungan dan Pengelolaan Saluran Limbah: Dampak Terhadap Ekosistem dan Solusi. *Gudang Jurnal Multidisiplin Ilmu, 2*(12), 541-547. doi:https://doi.org/10.59435/gjmi.v2i12.1162

Sitohang, A. R., Yuliati, S., & Hasan, A. (2022). Pengaruh Pac dan Variasi Tekanan pada Pemurnian Limbah Cair Tahu Menggunakan Membran Polisulfon Ultrafiltrasi. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia, 2*(9), 411-416. doi:https://doi.org/10.52436/1.jpti.219

Sukron, A., Safitri, R. E., & Malis, E. (2019). Pengaruh Massa Titanium Dioksida (TiO2) Terhadap Pengemban Membran Nata De Soya pada Proses Fotodegradasi Pewarna Tekstil. *Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia dan Terapannya, 1*(2), 34-44. doi:https://doi.org/10.36526/jc.v1i2.804

Suryandari, A. S., Mustain, A., Pratama, D. W., & Maula, I. (2019). Studi Aktivitas Reaksi Fotokatalisis Berbasis Katalis TiO_2-Karbon Aktif Terhadap Mutu Air Limbah Power Plant. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan, 3*(2), 95-101. doi:https://doi.org/10.33795/jtkl.v3i2.124

Yuliwati, E. (2019). Membran Komposit Polyvinylidene Fluoride/Titanium Dioksida untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Kelapa Sawit. *Jurnal Inovator, 2*(2), 1-6. doi:https://doi.org/10.37338/inovator.v2i2.124