

PEMBUATAN, KARAKTERISASI, DAN KINERJA
MEMBRAN *POLYVINYLIDENE FLUORIDE*
(PVDF)-ZnO UNTUK FILTRASI ION KROMIUM
HEKSAVALEN

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains
Dalam Ilmu Kimia



Oleh: **FARHAN SURYA MAULIDAN**
NIM : 1908036031

PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2023

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Farhan Surya Maulidan

NIM : 1908036031

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul:

**PEMBUATAN, KARAKTERISASI, DAN KINERJA MEMBRAN
POLYVINYLIDENE FLUORIDE (PVDF)-ZnO UNTUK FILTRASI
ION KROMIUM HEKSAVALEN**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian saya sendiri,
kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 13 Juni 2023

Pembuat Pernyataan,



Farhan Surya Maulidan

NIM : 1908036031



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Prof. Dr. Hamka Ngaliyan Semarang
Telp.024-7601295 Fax.7615387

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : **PEMBUATAN, KARAKTERISASI, DAN KINERJA MEMBRAN POLYVINYLIDENE FLUORIDE (PVDF)-ZnO UNTUK FILTRASI ION KROMIUM HEKSAVALEN**

Penulis : Farhan Surya Maulidan

NIM : 1908036031

Jurusan : Kimia

Telah diujikan dalam sidang tugas akhir oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu Kimia.

Semarang, 22 Juni 2023

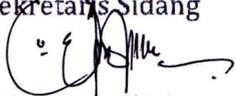
DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang


Zidni Azizati, M.Sc

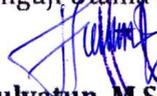
NIP : 199011172018012001

Sekretaris Sidang


Kustomo, M.Sc

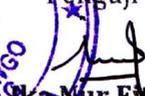
NIP : 198802262019031007

Penguji Utama I


Mulyatun, M.Sc

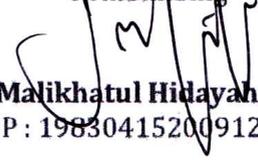
NIP : 1983050420110120078

Penguji Utama II


Nur Fitriani, M.Sc

NIP : 199303312019022018

Pembimbing


Dr. Hj. Malikhatul Hidayah, S.T, M.Pd

NIP : 198304152009122006

NOTA DINAS

Semarang, 07 Juni 2023

Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamuálaikum, wr. wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan, bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **PEMBUATAN, KARAKTERISASI, DAN KINERJA
MEMBRAN POLYVINYLIDENE FLUORIDE (PVDF)-
ZnO UNTUK FILTRASI ION KROMIUM HEKSAVALEN**

Nama : Farhan Surya Maulidan

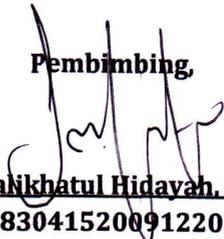
NIM : 1908036031

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diujikan dalam Sidang Munaqosah

Wassalamuálaikum, wr. wb.

Pembimbing,


Dr. Hj. Malikhatul Hidayah, S.T. M.Pd
198304152009122006

ABSTRAK

Pembuatan, karakterisasi, dan uji kinerja membran PVDF-ZnO telah berhasil dilakukan. Pembuatan membran dilakukan dengan metode inversi fasa. Nilai fluks tertinggi dimiliki oleh membran B1 dengan nilai $19,22 \text{ Lm}^{-2}\text{h}^{-1}$. Sedangkan nilai rejeksi tertinggi dimiliki oleh membran A3 dengan nilai 23,76%. Membran A3 menunjukkan hasil tertinggi pada kuat tarik dengan nilai 7,55 MPa. Hasil uji sudut kontak menunjukkan peningkatan hidrofilitas membran seiring meningkatnya konsentrasi ZnO. Hasil uji FTIR menunjukkan tidak ada perbedaan gugus fungsi antara membran A3 dengan membran B1, B2, dan B3. Diameter pori membran yang diuji berkisar antara 0,31 hingga 0,18 μm , sehingga termasuk dalam membran mikrofiltrasi. Persen porositas membran tertinggi dimiliki oleh membran B1 dengan nilai 11,222%. Penambahan ZnO pada membran menyebabkan nilai %porositas membran meningkat. Komponen penyusun membran didominasi oleh unsur karbon dan fluor. Persentase massa unsur karbon pada membran sekitar 44,49% hingga 46,39%. Persentase massa unsur fluor pada membran diketahui sekitar 48,81% hingga 52,50%. Keberadaan Zn pada membran yang sebelumnya tidak terdeteksi pada FTIR juga telah dikonfirmasi keberadaannya. Unsur pengotor pada membran antara lain Cl, Ca, Cu, Zr dengan masing masing persentase massa dan persentasi jumlah atom di bawah 1%. Hasil analisis persebaran Zn menunjukkan membran B2 memiliki persebaran partikel ZnO yang lebih merata dibanding membran B1 dan membran B3.

Kata Kunci : Membran, PVDF, ZnO, PVDF-ZnO, Filtrasi

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“PEMBUATAN, KARAKTERISASI, DAN KINERJA MEMBRAN POLYVINYLIDENE FLUORIDE (PVDF)-ZnO UNTUK FILTRASI ION KROMIUM HEKSAVALEN”**, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Program Studi Kimia. Shalawat dan salam kepada Rasulullah SAW yang senantiasa menjadi sumber inspirasi dan teladan terbaik untuk umat manusia.

Penulis memahami bahwa skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Ibu Dr. Malikhatul Hidayah, S.T, M.Pd selaku Ketua Program Studi Kimia UIN Walisongo Semarang sekaligus Dosen Pembimbing, atas upaya dan kesabarannya dalam membimbing, dan mengarahkan selama penulis melakukan penelitian hingga terselesaikannya penulisan skripsi ini.

2. Ibu Kholidah, M.Sc selaku Dosen Wali, atas arahan, bimbingan, dan sarannya selama penulis menjalani proses studi di program studi kimia UIN Walisongo Semarang.
3. Ibu Dr. Atik Rahmawati, S.Pd., M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia UIN Walisongo Semarang.
4. Bapak Dr. H. Ismail M.Ag. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
5. Bapak Prof. Dr. Imam Taufiq, M.Ag. selaku Rektor UIN Walisongo Semarang.
6. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen yang telah membagikan ilmu dan pengetahuannya kepada penulis.
7. Bapak dan Ibu penulis yang selalu memberikan seluruh kasih sayang, doa, dan restunya kepada penulis.
8. Mirza Aufa Abbasy, adik penulis yang memberikan keceriaan kepada penulis.
9. Keluarga penulis, yang selalu memberi dukungan dan doanya kepada penulis.
10. Teman-teman Program Studi Kimia angkatan 2019 yang telah memberikan warna pada diri penulis selama mengikuti perkuliahan.
11. Teman-teman pengurus HMJ Kimia periode 2021 yang telah mengajarkan banyak hal kepada penulis, dan telah memberikan rasa kekeluargaan kepada penulis.

12. Teman-teman pengurus IKAHIMKI Wliayah III periode 2020-2022 yang telah bekerja sama selama kepengurusan, dan telah memberikan pengalaman kepada penulis.
13. Teman-teman Asisten Laboratorium Kimia UIN Walisongo Semarang yang telah bekerja sama dengan baik.
14. Teman-teman seperjuangan (Indah Rifdah Huwaidah, Krisna Yudha Syahputra, dan Wardatul Bahiyah), yang telah membantu dan membersamai peneliti dalam mengerjakan skripsi.
15. Irfan Nashikhul Amri dan Riky Setiwan yang menemani penulis di luar perkuliahan.
16. Aryzka Maharani Putri yang selalu menemani, membantu, serta memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.

Penyusun menyadari bahwa di dalam skripsi ini masih banyak kekurangan. Penyusun sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk karya kedepan lebih baik. Mudah-mudahan skripsi ini bermanfaat bagi para pembaca.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN.....	iii
NOTA DINAS.....	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	7
C. Tujuan Penelitian.....	7
D. Manfaat Penelitian.....	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	9
A. <i>Polyvinylidene Fluoride</i> (PVDF)	9
B. Seng Oksida (ZnO)	11
C. <i>Dimethyl Acetamide</i> (DMAC)	12
D. Kromium Heksavalen.....	13
E. Membran	15
F. Klasifikasi Membran.....	19
G. Metode Pembuatan Membran	27
H. Faktor-faktor yang Memengaruhi Morfologi Membran ...	30
I. Karakterisasi Membran.....	31
J. Kinerja Membran	35
K. Penelitian Terdahulu.....	36
BAB III METODE PENELITIAN	41
A. Alat dan Bahan	41
B. Metode.....	41
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	48
A. Pembuatan Membran PVDF-ZnO	48
C. Karakterisasi Membran.....	54
D. Analisa Fluks dan Rejeksi Membran.....	71
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	79

A. Simpulan.....	79
B. Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN-LAMPIRAN	95
RIWAYAT HIDUP	108

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Perbandingan Jenis Membran Dilihat dari Fungsinya	25
Tabel 3.1	Komposisi Bahan Pembuatan Membran PVDF	42
Tabel 3.2	Komposisi Bahan Pembuatan Membran PVDF-ZnO	42
Tabel 4.1	Data Hasil Uji Sudut Kontak	51
Tabel 4.2	Analisis Gugus Fungsi Membran A3, B1, B2, dan B3	62
Tabel 4.3	Nilai %Porositas Membran	68
Tabel 4.4	Hasil Uji EDX Membran A3, B1, B2, dan B3	69
Tabel 4.5	Data Absorbansi larutan Cr(VI) sebelum dan setelah dilakukan filtrasi	75
Tabel 4.6	Nilai Koefisien Rejeksi Membran	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Struktur <i>Polyvinylidene fluoride</i> (PVDF)	10
Gambar 2.2	Citra SEM Serbuk ZnO	12
Gambar 2.3	Struktur N,N-dimetilasetamida (DMAc)	13
Gambar 2.4	Skema Proses Pemisahan yang Terjadi pada Membran	17
Gambar 2.5	Mekanisme Penentuan Sudut Kontak	32
Gambar 2.6	Spektra FTIR membran PVDF dan PVDF-ZnO dari penelitian Tan et al., (2014)	34
Gambar 4.1	Membran Membran (A) A1, (B) A2, (C) A3, (D) A4, (E) A5	49
Gambar 4.2	Hubungan Konsentrasi PVDF (b/v)% dengan Nilai Kuat Tarik Membran	50
Gambar 4.3	Hubungan Konsentrasi PVDF (b/v)% dengan Nilai %Elongasi Membran	51
Gambar 4.4	Hubungan Konsentrasi PVDF (b/v)% dengan Nilai <i>Modulus Young</i> Membran	52
Gambar 4.5	Membran (A) B1, (B) B2 dan (C) B3	54
Gambar 4.6	Hubungan Penambahan ZnO (b/b)% dengan nilai kuat Tarik Membran	55
Gambar 4.7	Hubungan Penambahan ZnO (b/b)% dengan Nilai Persen Elongasi Membran	56

Gambar 4.8	Hubungan Penambahan ZnO (b/b) dengan Nilai <i>Modulus Young</i> Membran	57
Gambar 4.9	Spektra FTIR membran A3, B1, B2, dan B3	61
Gambar 4.10	Citra SEM Membran 2500x Perbesaran (A) A3; (B) B1, (C) B2, dan (D) B3	64
Gambar 4.11	Hubungan Antara Penambahan ZnO dengan Ukuran Pori Membran	65
Gambar 4.12	Proses Tresholding pada Citra SEM Membran (A) A1 (B) B1 (C) B2, dan (D) B3	67
Gambar 4.13	Hasil Uji EDX Membran A3, B1, B2, dan B3	68
Gambar 4.14	Perbandingan Persebaran Partikel Zn pada Membran (A) B1 (B) B2; dan (C) B3	70
Gambar 4.15	Hubungan Konsentrasi ZnO terhadap Nilai Fluks Membran	72
Gambar 4.16	Kurva kalibrasi larutan standar Cr (VI)	74

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar	Judul	Halaman
Lampiran 1	Diagram Alir Pembuatan Membran PVDF	95
Lampiran 2	Diagram Alir Pembuatan Membran PVDF-ZnO	96
Lampiran 3	Perhitungan Preparasi Larutan	97
Lampiran 4	Perhitungan <i>Modulus Young</i>	98
Lampiran 5	Gambar Hasil Uji Sudut Kontak Membran	100
Lampiran 6	Penggunaan Aplikasi ImageJ untuk Mengukur Porositas Membran	101
Lampiran 7	Perhitungan Nilai Fluks Membran	102
Lampiran 8	Perhitungan Konsentrasi Larutan	104
Lampiran 9	Perhitungan Nilai Rejeksi Membran	106

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia termasuk sebagai negara penghasil sumber daya alam terbesar di dunia yang pengelolaannya membutuhkan bantuan berbagai industri seperti tekstil, semen, kertas, pupuk, perkebunan, dan lain-lain. Selain membuahakan produk-produk yang bermanfaat, industri juga menimbulkan limbah (Andika et al., 2020). Perkembangan industri tidak hanya memberikan dampak positif, tetapi juga dampak negatif berupa sisa buangan gas, limbah cair dan padat yang apabila dilepaskan ke lingkungan dapat menimbulkan dampak yang signifikan (Farahdiba, 2022). Akibat yang ditimbulkan dari hal tersebut adalah terjadinya ketidakseimbangan alam dan ekosistem seperti pencemaran atau bencana alam lainnya di darat, udara, laut maupun sungai (Rosyidah, 2018).

Pentingnya menjaga kelestarian alam terdapat dalam pernyataan Ibnu Khaldun pada salah satu karyanya. Ibnu Khaldun berpikir bahwa alam semesta dengan semua keteraturannya adalah keajaiban yang tidak akan pernah berakhir. Hal tersebut berarti seiring dengan peningkatan ilmu pengetahuan dan teknologi manusia maka segala bentuk penemuan kekayaan alam akan terus berlanjut. Pernyataan

Ibnu Khaldun tersebut bukan merupakan pembenaran terhadap perbuatan manusia yang mengeksploitasi sumber daya alam, justru umat manusia perlu merasa bersemangat untuk mencari keajaiban di balik keteraturan dan kelangsungan alam semesta (Wati & Al-Ma'mun, 2022). Allah melarang manusia dalam surah al-A'raf ayat 56 untuk melakukan kerusakan di muka bumi dengan bersungguh-sungguh dalam melestarikan alam semesta. Allah SWT mendatangkan para Nabi dan Rosul untuk menyampaikan kepada umat manusia mengenai pentingnya lingkungan hidup yang tenang. Umat manusia perlu lebih memperhatikan lingkungan hidup sesuai dengan ajaran yang dibawa oleh Nabi (Wati & Al-Ma'mun, 2022).

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ
اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Terjemah :

“Janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi sesudah diatur dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh rasa harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangatlah dekat dengan orang-orang yang berbuat baik” (Q.S. Al-A'raf (7): 56).

Ayat di atas melarang umat manusia untuk berbuat kerusakan di muka bumi, karena kerusakan adalah salah satu bentuk kemaksiatan. Allah SWT menciptakan alam semesta dalam kondisi serasi, selaras, dan memenuhi kebutuhan

mahluk. Allah SWT telah menciptakannya dengan kondisi yang baik dan memerintahkan hamba-Nya untuk menjaga dan memperbaikinya(Quraish Shihab, 2011). Penurunan kualitas air merupakan salah satu bentuk kerusakan di bumi. Penurunan kualitas air akan menurunkan daya guna, hasil guna, produktivitas, daya dukung dan daya tampung dari sumber daya air yang pada akhirnya menurunkan kekayaan sumber daya alam (Asrini et al., 2017).

Perubahan kandungan kimia dalam lingkungan perairan menjadi penyebab turunnya kualitas perairan. Kandungan kromium menjadi contoh unsur kimia yang mampu mempengaruhi kualitas air (Sulistyowati & Yanti, 2021). Kromium juga menjadi salah satu contoh senyawa yang bersifat karsinogenik dan sangat beracun pada lingkungan. Jumlah kromium sangat berlimpah di lingkungan, hal tersebut disebabkan oleh luasnya penggunaan kromium seperti dalam industri elektroplating, dan penyamakan kulit (Dewi & Ridwan, 2017). Limbah cair elektroplating dilaporkan memiliki kandungan kromium sebanyak 0,5 mg/L hingga 270.000 mg/L (Costa, 2019), sedangkan kandungan kromium pada limbah industri penyamakan kulit berkisar antara 40 mg/L hingga 25.000 mg/L (Haji et al., 2020).

Kromium yang terkandung pada larutan air terbagi menjadi dua tingkat oksidasi, yaitu ion kromium trivalen (Cr^{3+})

dan ion kromium heksavalen (Cr^{6+}). Ion Cr^{6+} lebih berbahaya karena lebih mudah larut, lebih reaktif dibandingkan Ion Cr^{3+} dan sangat toksik dalam sistem biologi karena kemampuan oksidasinya yang tinggi (Dewi & Ridwan, 2017). Ion Cr^{6+} memiliki sifat toksik, bioakumulatif, persisten, dan tidak bisa terurai di dalam lingkungan, serta terakumulasi melalui rantai makanan di dalam tubuh manusia (Kurniawati et al., 2017). Kerusakan pada sistem pencernaan seperti nyeri perut, muntah, ulkus lambung, perdarahan dan nekrosis serta diare berdarah merupakan akibat dari kadar kromium yang cukup besar dan melebihi nilai ambang batas (Sulistyowati & Yanti, 2021).

Penanganan alternatif untuk limbah kromium yang menggunakan protokol ramah lingkungan merupakan topik penelitian yang penting (Bizzi et al., 2020). Cara pengolahan limbah yang umum dilakukan adalah metode fisika dan kimia. Pengolahan limbah dengan metode kimia dilakukan melalui pengendapan pada pH tinggi dengan menambahkan bahan kimia tertentu, sedangkan pengolahan metode fisika secara adsorpsi, koagulasi, flokulasi, dan filtrasi. Setiap metode mempunyai kelebihan dan keterbatasan dalam penyerapan dari aspek ekonomis, teknis, dan dampak yang dihasilkan. Oleh karena itu, perlu dikembangkan suatu sistem alternatif untuk memisahkan logam berat dan limbahnya dengan

memanfaatkan bahan yang ketersediaannya melimpah dan relatif murah (Ma'mun et al., 2016).

Teknologi filtrasi membran bisa dibuat dari berbagai macam material. Penggunaan polimer sebagai komponen utama membran dipilih sesuai dengan faktor strukturalnya. Faktor struktural dapat menentukan sifat kimia, mekanik dan termal. Faktor-faktor tersebut dapat memengaruhi sifat instrinsik polimer, yaitu permeabilitas (Indriyani *et al.*, 2017). PVDF dikenal sebagai fuoropolimer murni dan sangat non-reaktif yang terkenal dengan rumus molekul $-(\text{CH}_2\text{CF}_2)_n-$. PVDF memiliki unit monomer yang terdiri dari dua atom masing-masing Karbon, hidrogen dan fuorin, $-\text{CH}_2\text{CF}_2-$ polimerisasi pertama diusulkan pada tahun 1948. Kesederhanaan struktur kimia ini membuat PVDF menjadi kuat dan tangguh dapat dilihat dari kekuatan tarik dan ketangguhan impaknya. PVDF menunjukkan ketahanan terhadap *creep* dan *fatigue* material. Pada bagian yang tipis, seperti film, filament, dan tubing, komponen PVDF menunjukkan perilaku yang fleksibel dan menjadi transparan. PVDF memiliki beberapa sifat lainnya yang meliputi konstanta dielektrik tinggi, kekuatan tinggi, stabilitas termal tinggi, ketahanan kimia, ketahanan UV, ketahanan radiasi nuklir, dan ketahanan cuaca. PVDF dapat memiliki banyak bentuk struktur kristal, sehingga memungkinkan membentuk polimer dengan bentuk yang berbeda (Saxena *et al.*, 2021).

Berbagai macam nanopartikel sudah banyak diterapkan ke dalam berbagai bidang, di antaranya adalah nanopartikel ZnO dan Al₂O₃ yang termasuk nanopartikel metal oksida. Nano-Al₂O₃ banyak dipakai pada berbagai bidang industri serta sudah mulai diterapkan pada teknologi membran sebagai bahan tambahan (Yuni *et al.*, 2015). Menurut (Alhoshan *et al.*, 2013), berbagai nanopartikel (silika, SiO₂; karbon nanotube, CNT; alumina, Al₂O₃; magnesium oksida, MgO; zirkonia, ZrO₂) telah diselidiki sebagai pengisi nano untuk mengembangkan membran matriks campuran, karena sebagian besar penelitian berfokus pada partikel nano-TiO₂. ZnO, mirip dengan TiO₂, juga memiliki banyak sifat luar biasa seperti:

- 1) Partikel nano-ZnO dapat dengan mudah menjadi hidrofilik dengan menyerap gugus hidroksil (-OH).
- 2) ZnO pada tingkat nano menunjukkan luas permukaan yang lebih tinggi dari nano-TiO₂ karena struktur kristalografinya.
- 3) ZnO memiliki biaya rendah dan kurang beracun daripada nanopartikel TiO₂.
- 4) Nanopartikel ZnO lebih mudah diproses dibandingkan nanopartikel TiO₂.

Teknologi membran masih memiliki banyak kekurangan, salah satunya adalah terjadinya *fouling*. Fokus penelitian ini adalah mengembangkan membran *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF)-ZnO menggunakan teknik

Inversi Fasa. Hal ini pula yang mendasari penelitian ini untuk mengkaji penggunaan bahan yang dapat mengatasi *fouling* pada membran. Pengembangan membran *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF)-ZnO diharapkan menjadi solusi pengurangan kadar logam kromium heksavalen pada lingkungan perairan menggunakan operasi sederhana, tanpa aditif, hemat biaya, dan memiliki produktivitas tinggi.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Berapa konsentrasi terbaik *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF) melalui uji kuat tarik?
2. Bagaimana pengaruh kinerja membran *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF)-ZnO melalui uji fluks air dan rejeksi ion kromium heksavalen?
3. Bagaimana karakteristik membran *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF)-ZnO melalui uji kuat tarik, Sudut kontak, FT-IR, serta analisis morfologi (SEM-EDX)?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui konsentrasi terbaik *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF) melalui uji kuat tarik.
2. Mengetahui pengaruh kinerja membran *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF)-ZnO melalui uji fluks air dan rejeksi ion

kromium heksavalen.

3. Mengetahui karakteristik membran *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF)-ZnO melalui uji kuat tarik, Sudut kontak, FT-IR, serta analisis morfologi (SEM-EDX).

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui konsentrasi terbaik *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF) melalui uji kuat tarik.
2. Dapat mengetahui pengaruh kinerja membran *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF)-ZnO melalui uji fluks air dan rejeksi ion kromium heksavalen.
3. Mengetahui karakteristik membran *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF)-ZnO melalui uji kuat tarik, Sudut kontak, FT-IR, serta analisis morfologi (SEM-EDX).

BAB 2

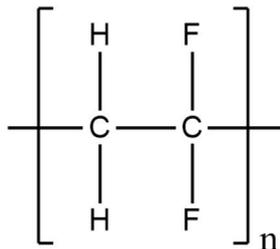
TINJAUAN PUSTAKA

A. *Polyvinylidene Fluoride (PVDF)*

Polyvinylidene fluoride (PVDF) menjadi salah satu jenis polimer yang umum digunakan dalam industri dan aplikasi membran. PVDF memiliki karakteristik ketahanan kimia yang tinggi, stabilitas termal yang baik, sifat mekanik yang tinggi dan kemampuan proses yang baik. Polimer PVDF memiliki kelemahan yaitu kristalinitas tinggi yang menyebabkan konduktivitas ioniknya menjadi rendah, serta kinerja dan kapasitas siklus rendah. PVDF juga memiliki sifat hidrofobik yang melekat pada PVDF membuatnya rentan terhadap pengotoran bahan organik, yang selalu merupakan prekursor infeksi bakteri, penyumbatan pori, dan pembentukan lapisan pengotoran (Shen *et al.*, 2017). Salah satu cara untuk mengatasi kelemahan polimer PVDF adalah dengan memodifikasinya untuk meningkatkan karakteristik dan kinerjanya. Beberapa teknik modifikasi yang telah dilakukan antara lain penambahan aditif, filler, pencampuran dengan polimer lain, *cross linking*, kopolimerisasi, dan sebagainya (Putri, 2012)

PVDF telah mendapat perhatian besar sebagai bahan utama membran karena memiliki sifat seperti stabilitas termal, hidrofobisitas, ketahanan kimia, dan kekuatan mekanik yang

tinggi. Bahan PVDF telah digunakan dalam banyak aplikasi. Berbagai aplikasi PVDF adalah pemurnian minyak, air, gas dan beberapa bahan kimia. PVDF juga digunakan dalam pembuatan membran yang digunakan pada pemisahan seperti mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, distilasi membran dan pemisahan gas (Suhartono *et al.*, 2017). Pelarut yang digunakan untuk melarutkan PVDF dilaporkan termasuk dalam kategori aprotik dipolar. Beberapa jenis pelarut aprotik dipolar antara lain N-methyl-2-pyrrolidone (NMP), N,N-dimethylacetamide (DMAc) dan N,N-dimethylformamide (DMF) (Byrne *et al.*, 2020). Senyawa ini memiliki momen dipol permanen yang signifikan dan tidak siap bertindak sebagai donor proton, sehingga membatasi reaktivitasnya (Marshall *et al.*, 2021). Struktur PVDF ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur *Polyvinylidene fluoride* (PVDF) (Febriasari *et al.*, 2020)

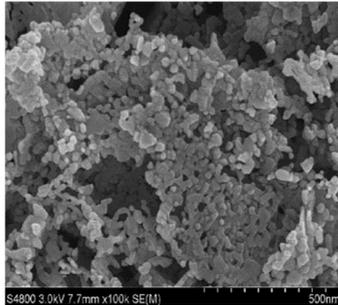
Metode inversi fasa pada umumnya digunakan untuk membuat membran berbahan PVDF. Metode ini menjadi metode yang banyak digunakan karena biayanya yang rendah, sederhana, dan dapat digunakan dalam skala besar (Marshall

et al., 2021). Mekanisme pembuatan membran menggunakan metode inversi fasa adalah terjadinya perubahan bentuk polimer dari fasa cair menjadi fasa padatan (Fadhilla, 2022).

B. Seng Oksida (ZnO)

ZnO atau seng oksida merupakan senyawa anorganik yang berbentuk serbuk dan berwarna putih sampai putih kekuningan. ZnO biasanya ditemukan pada bahan tambahan pada produk dan bahan seperti pelumas, plastik, semen, kaca, karet (misalnya untuk ban karet), keramik, dan lain-lain. Seng oksida adalah material unik yang memiliki sifat semikonduktor dan piezoelektrik (Hidayah *et al.*, 2021). Banyak artikel penelitian yang telah membuktikan bahwa nanopartikel seng oksida (ZnO) yang memiliki seperempat biaya TiO_2 , menyajikan sifat fisik dan kimia yang sebanding dengan TiO_2 . Oleh karena itu, nanopartikel ZnO diyakini dapat menjadi alternatif kompetitif dari nanopartikel TiO_2 dalam pembentukan membran komposit organik-anorganik antifouling. Nano-ZnO juga memiliki sifat katalitik, hidrofilik, bakterisida, dan antibakteri, yang baik. Sifat nano-ZnO juga dapat diterapkan pada modifikasi membran khususnya untuk meningkatkan sifat hidrofilik dan *antifouling* membran. Tinjauan komprehensif literatur membran komposit polimer-ZnO masih terbatas dan diperlukan pada pengembangan membran, meskipun banyak artikel ekstensif yang telah

mengembangkan membran komposit polimer-ZnO untuk aplikasi *antifouling* (Shen *et al.*, 2020). Citra SEM serbuk ZnO ditunjukkan pada Gambar 2.2.

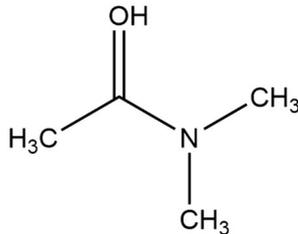


Gambar 2.2 Citra SEM Serbuk ZnO (Xu *et al.*, 2019)

C. *Dimethyl Acetamide (DMAc)*

Sifat pelarut juga mempengaruhi morfologi dan karakteristik membran UF yang dihasilkan. Kelarutan pelarut yang tinggi dengan polimer, seperti dimethyacetamide (DMAc), dimethylformamide (DMF), atau N-methyl pyrrolidone (NMP), lebih disukai dalam pembuatan membran berpori. DMAc memberikan kelarutan yang tinggi dengan air (Aryanti *et al.*, 2022). Pelarut ini sukar untuk menguap karena memiliki titik didih yang tinggi (166°C), selain itu pelarut ini bersifat racun serta dapat mengakibatkan iritasi pada mata dan kulit. DMAc mempunyai berat jenis 0,94 kg/L dan mampu melarutkan polisulfon dengan baik. Pelarut DMAc dapat mengakibatkan iritasi pada kulit dan mata, serta bersifat dapat

berkontaminasi melalui pernapasan serta mudah untuk terbakar. DMAc juga merupakan pelarut yang banyak digunakan untuk melarutkan PVDF. Struktur DMAc ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur N,N-dimetilasetamida (DMAc) (Martini et al., 2022)

D. Kromium Heksavalen

Industri termasuk sektor yang berperan penting dalam pembangunan wilayah. Pertumbuhan industri yang semakin pesat tentunya memiliki pengaruh terhadap kondisi lingkungan karena meningkatnya limbah. Tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu, bahan limbah yang masuk ke lingkungan dapat mencemari dan menyebabkan kerusakan (Haji et al., 2020).

Kromium (Cr) termasuk ke dalam polutan beracun yang dihasilkan oleh *electroplating*, penyamakan kulit, dan persiapan kromat (Chao et al., 2015). Ketersediaan logam

kromium murni di alam tidak dapat dijumpai. Hal tersebut dikarenakan logam Cr merupakan mineral atau senyawa padat yang mengandung unsur-unsur lainnya. Kromium dalam bentuk mineral banyak dijumpai sebagai pada bentuk *chromite* (FeO , Cr_2O_3). Pada batuan mineral *chromite* terkadang juga dijumpai logam-logam seperti senyawa SiO_3 , Al, dan Mg. Logam-logam dan senyawa silikat yang terkandung tersebut tidak termasuk bagian penyusun dalam *chromite* melainkan menjadi pengotor (*impurities*) (Asmadi et al., 2018).

Ion-ion kromium yang membentuk senyawa sesuai dengan tingkat valensinya, mempunyai sifat yang berbeda-beda berdasarkan tingkat ionitasnya. Senyawa yang terbentuk dari ion kromium divalen (Cr^{2+}) memiliki sifat basa, ion kromium trivalen (Cr^{3+}) bersifat ampoter, dan ion kromium heksavalen (Cr^{6+}) bersifat asam. Senyawa kromium umumnya memiliki berbagai bentuk, yaitu padatan (kristal CrO_3 , Cr_2O_3), larutan, dan gas (uap dikromat). Kromium yang terkandung dalam larutan umumnya berupa trivalen (Cr^{3+}) dan heksavalen (Cr^{6+}). Jika larutan bersifat basa memiliki pH 8 sampai 10, maka akan terjadi pengendapan Cr dalam bentuk $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Kromium berupa trivalen nyatanya tidak lebih bahaya dibanding heksavalen. Namun, ion Cr^{3+} tersebut dapat sebanding bahayanya dengan ion Cr^{6+} jika bertemu dengan oksidator dan kondisinya memungkinkan. Berdasarkan tingkat valensinya, ion-ion kromium dalam bentuk senyawa

mempunyai sifat berbeda-beda dengan menyesuaikan tingkat ionitasnya. Senyawa hasil pembentukan dari ion Cr^{2+} akan bersifat basa, (Asmadi et al., 2018).

Kromium (VI) oksida (CrO_3) memiliki sifat asam yang mampu bereaksi dengan basa hingga terbentuk kromat. Ion dikromat berwarna jingga akan terbentuk ketika larutan ion kromat diasamkan. Ion kromat atau ion dikromat dalam larutan asam merupakan oksidator kuat (Asmadi et al., 2018). Berbagai metode konvensional yang telah diterapkan guna menghapuskan ion Cr^{6+} dalam air antara lain seperti metode reduksi, elektrodialisis, mikrobiologi, adsorpsi, dan membran (Dewi & Ridwan, 2017).

E. Membran

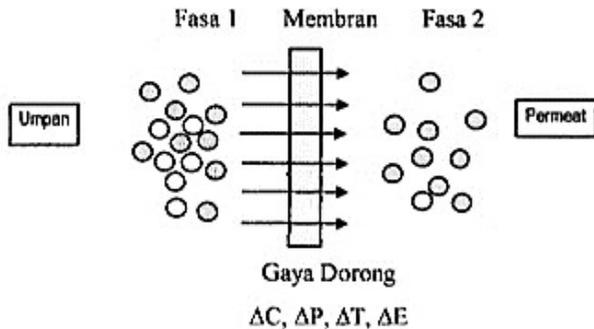
Perkembangan teknologi membran telah banyak memberikan dampak positif bagi manusia, khususnya dalam bidang pengolahan air limbah dan air laut (Winata, 2016). Membran bisa disebut sebagai lapisan semipermeabel tipis yang terletak di antara dua fase dan merupakan media pemisah yang selektif. Gaya dorong yang diterapkan pada komponen dalam umpan menyebabkan perpindahan massa pada membran. Proses berbasis membran dapat dikategorikan menurut kekuatan pendorongnya. Contoh filtrasi pada membran yang menerapkan perbedaan tekanan sebagai gaya pendorongnya adalah proses nanofiltrasi (NF),

sebagai gaya pendorongnya adalah proses nanofiltrasi (NF), *reverse osmosis* (RO), mikrofiltrasi (MF), dan ultrafiltrasi (UF). Proses yang terjadi pada membran adalah menggunakan gaya pendorong dan perbedaan konsentrasi, seperti penguapan (PV), pemisahan gas (GS), dialisis, & membran cair; perbedaan suhu, seperti distilasi membran (MD) & thermo-osmosis; dan perbedaan potensial listrik, seperti elektrolisis, elektrodeionisasi (EDI), & elektrodialisis (ED) (Wenten, 2016).

Beberapa keuntungan yang dimiliki teknologi membran adalah proses pemisahannya berlangsung dalam suhu ruang, dapat dilakukan secara terus menerus, dapat disetel sesuai kebutuhan, sifatnya bervariasi, dan membran yang terbentuk dapat kembali digunakan serta tidak menimbulkan dampak yang buruk pada lingkungan. Membran dapat diaplikasikan sebagai penyaring yang sangat selektif, karena khusus molekul-molekul tertentu yang dapat menembus membran, sementara itu zat lain akan menempel pada permukaan membran (Muthia, 2017).

Proses pemisahan menggunakan membran memiliki kemampuan untuk memindahkan suatu material sesuai dengan sifat fisik dan kimia membran, serta material yang dipisahkan. Proses perpindahan yang terjadi akibat adanya gaya dorong pada umpan berupa perbedaan konsentrasi (ΔC), tekanan (ΔP), suhu (ΔT), dan potensial listrik (ΔE) serta selektivitas membran yang dinyatakan dengan rejeksi (R).

Skema proses pemisahan dengan membran dapat diperhatikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema Proses Pemisahan yang Terjadi pada Membran (Muthia, 2017)

Fungsi membran adalah untuk memisahkan bahan sesuai dengan bentuk dan ukuran molekulnya, untuk menahan material berukuran lebih besar dibanding pori-pori membran serta melewatkan komponen dengan ukuran lebih kecil. Penyaringan pada membran berguna sebagai alat pemisahan, pemekatan, dan pemurnian suatu larutan yang dilewatkan melalui membran (Muthia, 2017).

Membran dapat mempunyai struktur dan fungsi yang jauh lebih kompleks. Membran dapat berupa cair atau padat, isotropik atau anisotropik, serta homogen atau heterogen. Membran dapat memiliki tebal milimeter atau bahkan mikrometer. Hambatan listrik pada membran juga dapat bervariasi dari jutaan Ohm hingga sepersekian Ohm. Sifat karakteristik lain dari membran adalah permselektivitas, yang

ditentukan oleh perbedaan kecepatan transpor berbagai material dalam membran. Permeabilitas membran disebut juga sebagai ukuran laju yang mana material tertentu diangkut melalui membran pada kondisi suhu, konsentrasi, medan listrik, dan/atau tekanan tertentu (Muthia, 2017). Permeabilitas membran juga dapat dinyatakan sebagai kemampuan membran dalam menahan spesi kimia tertentu dan melewatkan spesi yang lain. Ukuran permeabilitas dinyatakan sebagai fluks (Agustina & Kusumawati, 2020).

Tantangan terbesar dalam teknologi membran yaitu terjadinya *fouling* (Notodarmodjo *et al.*, 2016). *Fouling* didefinisikan sebagai pengendapan partikel secara *irreversible* yang tertahan di dalam pori-pori membran dan dapat merusak konduktivitas membran. Hal ini dapat mengakibatkan hambatan terhadap transpor ion melintasi permukaan membran. *Fouling* dapat terjadi akibat adanya ion-ion penyebab *fouling*, ion-ion tersebut berpindah ke membran, tetap berada di daerah elektropositif. Polarisasi konsentrasi adalah reduksi elektrolit di bagian permukaan membran, sehingga resistansi meningkat drastis terhadap rapat arus. Akibat dari polarisasi konsentrasi adalah efisiensi arus menurun, konsumsi energi meningkat, transfer ion yang diinginkan menurun (Redjeki, 2011).

F. Klasifikasi Membran

Membran diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan asal, morfologi, struktur dan proses pemisahan, serta fungsinya (Jannah, 2022).

1. Klasifikasi membran berdasarkan asal/bahan pembuatannya

a. Membran Alam

Selulosa asetat termasuk contoh jenis polimer alam yang umum dipakai pada pembuatan membran. Selulosa adalah polisakarida yang diperoleh dari tumbuhan. Selulosa dan turunannya memiliki bentuk rantai linier, molekulnya tidak fleksibel. Selulosa asetat bersifat hidrofilik, tetapi tidak dapat larut dalam air. Selulosa asetat memiliki keunggulan bisa mengeluarkan fluks dan garam yang tinggi, relatif mudah diaplikasikan karena bersifat terbarukan. Selulosa asetat juga memiliki kisaran pH 3-7 dan kisaran temperatur di bawah 50°C. Selulosa asetat memiliki ketahanan yang tinggi terhadap klorin jika dibandingkan antara membran berbasis poliamida, namun kestabilan yang rendah pada pelarut organik. Poliamida mempunyai kisaran pH yang lebih tinggi sebesar 4-11. Selulosa memiliki struktur yang teratur dan dapat membentuk ikatan hidrogen yang kuat antarmolekul dari beberapa gugus hidroksi. Selulosa asetat termasuk jenis selulosa yang tidak teresterifikasi secara sempurna pada asam

asetat (Redjeki, 2011). Penambahan kitosan yang termasuk zat aditif ke dalam membran selulosa asetat akan membentuk ikatan kuat sebagai larutan polimer. Kitosan yang memiliki sifat antibakterial juga akan mencegah terjadinya biofouling pada permukaan membran (Esnahati., 2016)

b. Membran Sintesis

Menurut Muthia (2017), polimer sintesis dibuat dari metode polimerisasi monomer dan kopolimer dari 2 monomer. Terdapat banyak membran berbahan dasar polimer sintesis, diantaranya adalah:

- 1) Polisulfon (PSf) termasuk jenis polimer untuk pembuatan membran. Penggunaan PSf sebagai bahan dasar pembuatan membran mempunyai berbagai keunggulan seperti memiliki stabilitas suhu dan kimia yang sangat baik dan tidak mudah rusak. Salah satu kelemahan membran polisulfon adalah bersifat mendekati hidrofobik sehingga permeabilitasnya untuk sistem larutan air tidak terlalu baik. Salah satu penyebab sifat hidrofobiknya dikarenakan kecenderungan PSf membentuk pori yang kecil dan rapat sehingga permeabilitas air cenderung kecil dan rejeksi besar (Agustina & Kusumawati, 2020).
- 2) Poliviniliden fluorida (PVDF) memiliki banyak aplikasi sebagai membran dalam industri termasuk mikrofiltrasi (MF), ultrafiltrasi (UF), pemisahan gas dan penghilangan

polutan dari air limbah karena ketahanan kimia, stabilitas termal, dan mudah larut dalam berbagai pelarut (Mod et al., 2016). PVDF telah banyak diterapkan dalam teknologi filtrasi untuk berbagai keperluan. Namun, fouling pada membran memperpendek masa pakai membran PVDF dan meningkatkan biaya operasi, yang secara luas dianggap sebagai permasalahan membran dalam proses filtrasi. Salah satu penyebab fouling adalah sifat hidrofobik membran PVDF sehingga pengaplikasiannya terbatas (Shen et al., 2020).

- 3) Polieterimida (PEI) memiliki banyak keunggulan seperti stabilitas kimia, stabilitas termal dan kemudahan dalam pemintalan dibandingkan dengan membran polisulfon dan polietersulfon. N-metil pirilidon (NMP) sering digunakan sebagai pelarut PEI. Meskipun beberapa penelitian telah dilaporkan PEI sebagai bahan membran dalam pemisahan gas, penelitian yang mengeksplorasi potensinya dalam pengolahan air limbah industri masih sedikit (Sathya et al., 2020).
- 4) *Polyacrylonitrile* (PAN) adalah polimer termoplastik akrilik yang memiliki berbagai sifat yang berguna seperti kekuatan tinggi, modulus, dan stabilitas termal. PAN digunakan sebagai film, serat, busa, dan bentuk polimer lainnya yang bermanfaat seperti membran. Properti

penting PAN dikaitkan dengan penyerapan ion logam beracun (Kausar, 2019).

2. Klasifikasi membran berdasarkan morfologi dan strukturnya

a. Membran Simetris

Membran simetris terdiri dari satu lapisan (homogen) yang memiliki tebal sebesar 10-200 μm . Membran simetris bisa menahan hampir seluruh partikel umpan pada pori-pori, sehingga mampu tersumbat dan mengurangi permeabilitas secara cepat. Membran simetris mencakup lapisan aktif tipis serta beberapa lapisan pendukung dengan pori di bawahnya (heterogen). Kepadatan dan ukuran pori-pori dari atas ke bawah tidak sama. Ketebalan film sebesar 0,1-0,5 μm serta lapisan belakang adalah 50-150 μm (Riani, 2014).

b. Membran Asimetris

Membran asimetris bercangkang sangat tipis (0,1-1 μm) dan ukuran pori mulai dari 100 hingga 200 μm dengan substruktur yang tebal. Membran selektif sejati merupakan Kulit tipis dan struktur berpori asimetris (Muthia, 2017).

3. Klasifikasi membran berdasarkan struktur dan proses pemisahannya

a. Membran berpori (*porous membrane*)

Struktur berpori merupakan membran sederhana yang memiliki kemiripan dengan filter serat konvensional. Membran berpori mencakup matriks padat yang mempunyai

diameter pori mulai kurang dari 1 hingga 10 nm. Proses pemisahan berbagai material dilakukan menggunakan mekanisme penyaringan dengan ukuran partikel dan diameter pori sebagai parameter penentu. Membran berpori bisa diperoleh dari beberapa material seperti keramik, oksida logam atau logam, grafit, dan berbagai polimer (Muthia, 2017). Membran berpori memiliki prinsip pemisahan berdasarkan perbedaan ukuran partikel dengan ukuran pori membran. Hubungan ukuran partikel yang akan dipisahkan dan ukuran pori menentukan selektivitas pemisahan pada membran. Membran berpori sering diperlukan dalam proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Ada tiga jenis pori-pori, yaitu (Redjeki, 2011):

- 1) mikropori $< 2 \text{ nm}$
- 2) mesopori $2 \text{ nm} < \text{ukuran pori} < 50 \text{ nm}$
- 3) makropori $> 50 \text{ nm}$

b. Membran tak berpori (*dense membrane*)

Membran tak berpori (*dense membrane*) adalah membran yang dapat melakukan pemisahan molekul yang sangat kecil dan tidak bisa disaring oleh membran berpori. Prinsip pemisahan dipengaruhi oleh perbedaan kelarutan dan/atau kesanggupan difusi. Selektivitas dan permeabilitas membran dipengaruhi oleh sifat intrinsik bahan polimer. Permeabilitas membran terhadap gas dan cairan dapat

menentukan karakteristik membran tak berpori secara sederhana (Redjeki, 2011).

c. Membran cair

Membran cair merupakan membran yang proses filtrasinya dipengaruhi oleh sifat molekul pembawa yang sangat spesifik, dan bukan ditentukan oleh membran atau bahan penyusun membran. Cairan yang terkandung dalam pori-pori membran berpori disebut sebagai media pembawa. Permeaselektivitas komponen sangat tergantung pada spesifisitas media pembawa. Berbagai penerapan membran cair adalah (Redjeki, 2011):

- 1) penghilang komponen gas dari suatu larutan,
 - 2) penghilang komponen ion pada limbah pada pengolahan limbah,
 - 3) penghilang komponen phenol,
 - 4) pemisahan dari bahan organik cair.
- #### 4. Klasifikasi membran berdasarkan fungsinya

Membran dapat dikelompokkan menjadi mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan reverse osmosis berdasarkan proses pemisahan partikel dengan tenaga penggerak berupa tekanan, (Simanjutak & Tambunan, 2017). Ukuran pori dari membran semipermeabel tersebut semakin menurun dari mikrofiltrasi, ultrafikasi, nanofiltrasi, dan yang terakhir *reverse osmosis*. Semakin kecil ukuran pori, semakin besar tekanan hidrostatik yang terjadi pada lapisan (Andina, 2016).

Perbandingan jenis membran dilihat dari fungsinya dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan Jenis Membran Dilihat dari Fungsinya (Alzahrani *et al.*, 2013)

No.	Jenis Membran	Fungsi	Ukuran Pori	Tekanan
1.	<i>Reverse Osmosis</i>	Pemisahan zat terlarut dengan BM rendah	< 2 nm	Air payau: 15-25 bar Air laut : 40-80 bar
2.	Nanofiltrasi	Pemisahan zat terlarut dengan BM rendah	< 2 nm	10-25 bar
3.	Ultrafiltrasi	Pemisahan makromolekul	1-100 nm	1-10 bar
4.	Mikrofiltrasi	Pemisahan suspensi dan koloid	50-10000 nm	< 2 bar

a. Membran mikrofiltrasi

Mikrofiltrasi termasuk ke dalam teknologi membran dengan memanfaatkan gaya dorong tekanan rendah sekitar 1 bar dan digunakan untuk memisahkan partikel terlarut berukuran antara 0,1 hingga 10 μm . Material penyusun membran mikrofiltrasi dapat berasal dari material organik atau anorganik. Membran mikrofiltrasi memanfaatkan beberapa jenis polimer, yaitu: poli-viniliden florida (PVDF), polikarbonat (PC), polisulfon (PS), polipropilen (PP), poli-

akrilo nitril (PAN), dan poli-vinil klorida (PVC) (Shalahuddin & Utara, 2019).

b. Membran Ultrafiltrasi

Membran ultrafiltrasi secara umum berstruktur anisotropik. Membran ultrafiltrasi mempunyai kulit berpori yang ditopang pada substrat mikro yang jauh lebih terbuka. Membran ultrafiltrasi biasanya berdiameter pori dari 10-1000 Armstrong serta tekanan operasi 30 - 100 psi (Muthia, 2017). Membran ultrafiltrasi sangat dikembangkan untuk pengolahan air limbah karena permeans yang baik sekitar puluhan hingga ratusan $L/(m^2 \cdot h \cdot bar)$, dan penolakan zat makromolekul yang efisien. Namun, kinerja membran ultrafiltrasi biasanya terganggu oleh nilai selektivitas dan permeabilitas. Membran ultrafiltrasi biasanya dirancang untuk menghilangkan organik dengan berat molekul rendah dan ion logam berat (Ren et al., 2021).

c. Membran Nanofiltrasi

Membran nanofiltrasi (NF) telah berkembang pesat sejak pertama kali dikenal pada akhir tahun 80-an. Dengan sifat antara ultrafiltrasi (UF) dan reverse osmosis (RO), membran NF memiliki ukuran pori biasanya 1 nm yang sesuai dengan cut-off berat molekul (MWCO) 300-500 Da. Membran NF yang bersentuhan dengan larutan berair juga sedikit bermuatan karena disosiasi gugus fungsi permukaan atau adsorpsi zat terlarut bermuatan (Mohammad et al., 2015). Sifat

membran NF memiliki efisiensi filtrasi yang tinggi untuk ion divalen (misalnya, kalsium dan timah) tetapi rejeksi ion monovalen yang buruk. Membran NF memiliki keunggulan lain seperti operasi sederhana, daya tahan tinggi, dan efisiensi energi (Suhaimi et al., 2022).

d. Membran *Reverse Osmosis* (RO)

Reverse osmosis (RO) merupakan teknologi pemurnian air dengan memanfaatkan membran semipermeabel. Teknologi membran RO memiliki beberapa keuntungan seperti konsumsi energi relatif rendah, pengolahan dapat dilakukan secara kontinyu, tidak membutuhkan bahan tambahan, mudah digabung dengan proses pemisahan lainnya, material penyusun membran bervariasi, dan dapat dilakukan dengan kondisi operasi yang dapat diatur (Mardiatin & Purwoto, 2014).

G. Metode Pembuatan Membran

Proses pembuatan membran memiliki beberapa teknik seperti *stretching*, *sintering*, *track-etching*, *coating*, *template leaching*, dan *phase inversion* (Widayanti, 2013).

1. *Sintering*

Sintering merupakan teknik sederhana untuk membentuk membran berpori dari material anorganik maupun organik. *Sintering* merupakan proses pemanasan atau pemadatan suatu material pada suhu tinggi mendekati titik

leleh atau titik leburnya, sehingga terjadi perubahan pada strukturnya menjadi struktur mikro. Hal tersebut dikarenakan terjadinya pertumbuhan butir (*grain growth*), penyusutan volume, pengurangan jumlah dan ukuran pori serta peningkatan densitas atau kekerasan. Ketika proses *sintering* sedang berjalan, bahan dipanaskan dalam *furnace* (tungku pemanas) pada suhu tinggi sekitar $2/3$ atau $4/5$ dari titik lebur atau titik lelehnya. Perlakuan tersebut dilakukan supaya partikel-partikel tersebut beraglomerasi menjadi material yang lebih padat (Etiana, 2017).

2. *Track-Etching*

Proses *Track-Etching* dilakukan dengan cara menembakkan elektron pada permukaan membran. Elektron-elektron yang ditembakkan akan membentuk suatu "*Track*" atau jejak yang tersebar pada seluruh permukaan membran. Selanjutnya electronelektron yang masi tersisa dalam membran akan dikeluarkan dengan cara melarutkan membran di dalam suatu larutan asam. "track" atau jejak yang dibentuk inilah yang akan menjadi pori pada membran tersebut. Pori yang dihasilkan pada umumnya berukuran sekitar $10\ \mu\text{m}$. Pola persebaran dari pori yang terbentuk pada membran juga tidak terlalu teratur (Judistira, 2016).

3. *Coating*

Proses coating merupakan proses pelapisan alat cetak dengan larutan membran yang kemudian dipadatkan kembali

dalam suatu medium. Polimerisasi permukaan adalah pembuatan membran dengan cara melakukan polimerisasi pada permukaan material berpori. Metode jenis ini paling banyak dimanfaatkan khususnya pada industri pengolahan air (Fitradi, 2015).

4. *Template-Leaching*

Template-Leaching yaitu salah satu metode dalam pembuatan membran berpori melalui cara menghilangkan suatu komponennya (*leaching*). Salah satu membran yang dapat dibuat dengan teknik ini adalah membran kaca berpori (Widayanti, 2013).

5. *Phase inversion*

Inversi fasa adalah metode yang paling banyak digunakan dalam pembuatan membran polimer untuk proses pemisahan, karena kemudahan dan *reproducible* yang tinggi. Pada metode ini, polimer bentuk padatan diubah menjadi larutan dan diubah kembali menjadi bentuk padatan pada suhu dan waktu yang terkontrol. Perpindahan polimer dari suatu cairan (pelarut) ke cairan lain (non pelarut) merupakan awal dari proses pepadatan yang dilanjutkan dengan evaporasi larutan berlebih. Fase dengan konsentrasi polimer tinggi dalam suatu larutan polimer akan menghasilkan matriks membran atau padatan, sedangkan fase dengan konsentrasi polimer rendah akan membentuk pori-pori (Lusiana et al., 2018).

H. Faktor-faktor yang Memengaruhi Morfologi Membran

1. Jenis sistem pelarut dan non-pelarut

Jenis sistem pelarut dan non-pelarut akan berpengaruh terhadap struktur membran yang dibentuk. Non-pelarut harus larut dalam pelarut jika digunakan sebagai koagulan. Air termasuk non-pelarut yang sering digunakan pada proses inversi fasa. Air merupakan non-pelarut yang umum digunakan dalam proses inversi fasa. Jika komposisi semua penyusun membran memiliki kelarutan yang sama, maka proses pencampuran dapat berlangsung sempurna. Komposisi total juga akan memengaruhi homogenitas serta kemampuan membran. Kelarutan polimer berbanding terbalik dengan massa molekul. Sebuah polimer jika larut dalam pelarut yang sesuai, selanjutnya non-pelarut ditambahkan (jika larutan polimer berlebihan dituang ke dalam non-pelarut) polimer akan mengendap (Widayanti, 2013).

2. Pemilihan polimer

Pemilihan polimer menjadi faktor yang perlu diperhatikan sebab akan menentukan jenis pelarut dan non-pelarut yang digunakan. Faktor pengotoran (karakteristik hidrofilik/hidrofobik, efek adsorpsi), stabilitas kimia dan termal perlu dipertimbangkan dalam pemilihan bahan perlu dipertimbangkan dalam pemilihan bahan membran (Putra, 2017).

3. Komposisi larutan polimer/*casting*

Penambahan non-pelarut ke dalam larutan polimer dapat menentukan struktur membran yang dibentuk. Penambahan non-pelarut dapat membuat struktur pori membran menjadi lebih terbuka (Etiana, 2017).

4. Komposisi bak koagulan

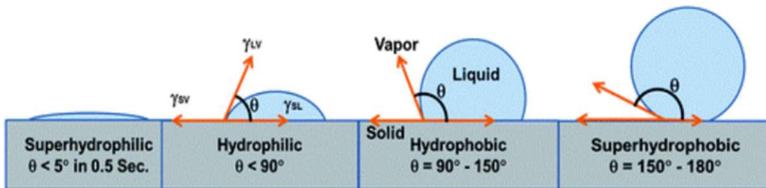
Pelarut yang ditambahkan ke dalam koagulan dapat mempengaruhi struktur membran yang akan dibuat. Semakin besar konsentrasi pelarut dalam koagulan, semakin rendah konsentrasi polimer dalam larutan *casting*. Hal tersebut akan membentuk membran berukuran pori lebih besar (Etiana, 2017).

I. Karakterisasi Membran

1. Sudut Kontak

Sebuah gas atau cairan jika terkena suatu padatan, maka akan saling bersentuhan satu sama lain. Sudut kontak (*contact angle*) adalah ukuran yang menentukan seberapa besar daya kontak antara benda cair dan benda padat. Sudut kontak memperlihatkan hubungan antara permukaan padat dan cairan yang mampu diidentifikasi melewati bentuk cairan pada permukaan padat (Humairo, 2015). Sudut kontak adalah salah satu metode yang ampuh untuk mengetahui hidrofilisitas permukaan membran. Secara umum, hidrofilisitas berbanding terbalik dengan sudut kontak. Semakin kecil sudut kontak, maka semakin besar hidrofilisitas membran. Membran

dinyatakan hidrofilik jika memiliki sudut kontak memiliki sudut 0° dan kurang dari 90° ($0^\circ < \theta < 90^\circ$), sedangkan membran dinyatakan hidrofobik jika memiliki sudut kontak lebih dari 90° (Hong & He, 2014). Menurut Zhang et al., (2014) Sudut kontak akan menurun dengan peningkatan konsentrasi ZnO, hal ini menunjukkan penambahan ZnO berperan penting dalam meningkatkan hidrofilitas permukaan membran. Penentuan sudut kontak dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Mekanisme Penentuan Sudut Kontak (Syahara, 2016)

2. Uji Kuat Tarik

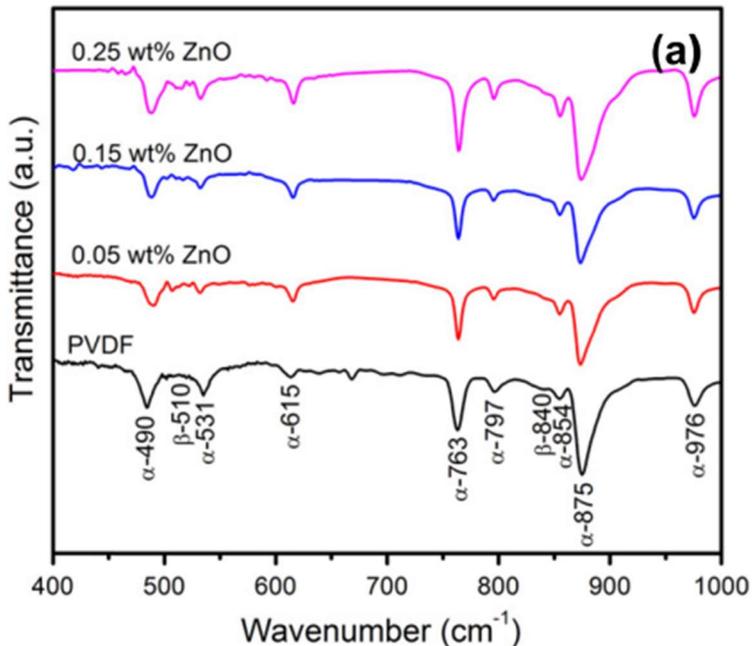
Uji kuat tarik adalah uji sifat mekanik membran yang memperlihatkan ukuran kekuatan sebuah material yang meliputi tegangan serta regangan. Tegangan diartikan sebagai besarnya gaya dibagi dengan luas penampang. Regangan diartikan sebagai perubahan relatif saat kondisi suatu bahan yang mengalami tegangan. Regangan akibat tegangan dalam suatu material dapat diartikan sebagai pertambahan panjang terhadap panjang awal. Perhitungan modulus young dilakukan guna mengetahui ukuran kekakuan bahan yang dibentuk.

Modulus young diperoleh berdasarkan perbandingan antara kekuatan tarik (tegangan) terhadap %elongasi (regangan) (Arini et al., 2017).

3. FT-IR

Spektrofotometer inframerah (IR) adalah salah satu cara untuk bisa mengidentifikasi kandungan gugus fungsi sebuah senyawa organik dan membandingkannya dengan daerah *fingerprint* (sidik jari) akan tetapi tidak bisa memperlihatkan komposisi molekul unsur penyusunnya (Muthia, 2017). Metode kerja FTIR yakni mengenali gugus fungsi suatu senyawa dari absorbansi inframerah yang dilakukan terhadap senyawa tersebut. Tiap-tiap senyawa memiliki pola absorbansi berbeda, sehingga senyawa-senyawa tersebut mampu dikuantifikasikan dan dibedakan (Sjahfirdi et al., 2015). Ketika sinar inframerah dilewatkan melalui sampel senyawa organik, maka terdapat sejumlah frekuensi yang diserap dan ada yang diteruskan atau ditransmisikan tanpa diserap. Serapan cahaya oleh molekul tergantung pada struktur pada struktur elektronik dari molekul tersebut. Molekul yang menyerap energi tersebut terjadi perubahan energi vibrasi dan perubahan tingkat energi rotasi. Setiap ikatan mempunyai frekuensi yang karakteristik untuk terjadinya vibrasi ulur (*stretching vibrations*) dan vibrasi tekuk (*bending vibrations*) dimana sinar inframerah dapat diserap pada frekuensi tersebut (Azzahra, 2021). Penelitian yang dilakukan oleh

Tan et al., (2014) menunjukkan bahwa spektra FTIR membran PVDF dan membran PVDF yang dimodifikasi dengan ZnO tidak menunjukkan perbedaan. Spektra FTIR membran PVDF dan PVDF-ZnO dari penelitian Tan et al., (2014) dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Spektra FTIR membran PVDF dan PVDF-ZnO dari penelitian Tan et al., (2014)

4. *Scanning Electron Microscope- Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*

Scanning Electron Microscope (SEM) yaitu mikroskop elektron yang menunjukkan permukaan sampel melewati proses pemindaian memakai berkas elektron dengan

energi tinggi pada pola pemindaian yang lebih cepat (Muthia, 2017). Karakterisasi SEM memiliki fungsi untuk mengamati bagaimana bentuk struktur topografi atau permukaan bahan, cacat struktur, bentuk dan ukuran butiran bahan, serta suatu komposisi unsur maupun cemaran dalam suatu bahan. Sedangkan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) difungsikan sebagai analisis elemental kimia bahan (Mardiyah, 2022).

Menurut Humairo, (2015) prinsip kerja SEM dimulai dengan berkas elektron primer yang memiliki energi kinetik 1–25 kV ditembakkan pada sampel membran. Kemudian elektron tersebut direfleksikan atau dipancarkan, disebut elektron sekunder, yang mengakibatkan munculnya gambar yang teramati pada layar *micrograph* SEM. Ketika berkas elektron dikenakan pada membran, ada kemungkinan membran akan terbakar atau rusak. Kerusakan ini dipengaruhi oleh jenis membran dan kecepatan berkas elektron yang diberikan, sehingga kerusakan ini harus dicegah dengan melapisi membran dengan lapisan konduksi (biasanya lapisan emas).

J. Kinerja Membran

Kadaan optimal pada kinerja membran sering disebut sebagai besarnya permeabilitas dan selektivitas membran. *Fluks* atau permeabilitas yang mengalir melewati membran dinyatakan oleh jumlah volume permeat yang melalui membran dibagi dengan luas permukaan dan waktu

(Hidayah *et al.*, 2021). Faktor yang mempengaruhi fluks adalah jumlah dan ukuran pori, interaksi antara membran dan larutan umpan, viskositas larutan dan tekanan dari luar. Rejeksi adalah ukuran kemampuan membran menahan spesi. Faktor yang mempengaruhi rejeksi adalah besarnya ukuran partikel yang akan melewatinya, interaksi antara membran, larutan umpan dan ukuran pori. Nilai rejeksi sangat bervariasi antara 100% (dimana zat terlarut tertahan oleh membran, sehingga diperoleh membran semipermeabel yang ideal) dan 0% (dimana zat terlarut dan pelarut mengalir bebas melalui membran). Oleh karena itu, harga efisiensi rejeksi sangat ditentukan oleh ukuran pori-pori membran (Azzahra, 2021).

K. Penelitian Terdahulu

Suryandari (2020) menyintesis membran komposit PVDF-zeolit untuk menghilangkan metilen biru. Penelitian tersebut dibuat membran komposit PVDF-Zeolit. Kemampuan membran diharapkan dapat meningkat dengan penambahan zeolit ke dalam membran PVDF. Metode inversi fasa digunakan dalam proses pembuatan membran. Zat pelarut yang digunakan adalah larutan PVDF 20% (b/v) dalam N,N-dimetilformamida (DMF) dan zat non-pelarut yang digunakan adalah air suling. Pembuatan membran komposit PVDF-Zeolit dilakukan dengan mencampurkan zeolit 20% (b/b) ke dalam larutan PVDF. Membran yang didapat selanjutnya

dikarakterisasi menggunakan FTIR, SEM, dan ditentukan nilai permeabilitasnya. Hasil citra SEM menunjukkan membran PVDF berpori dan penambahan zeolit pada membran PVDF mengakibatkan membran lebih berpori. Membran komposit PVDF-Zeolite mempunyai ketebalan yang lebih tipis dibandingkan dengan membran PVDF yang mengakibatkan proses pemisahan dapat terjadi lebih cepat. Metilen biru dipisahkan dengan memakai kedua membran yang diuji sesuai dengan penentuan nilai persen rejeksi pada pH 3, 4, 5, dan 6. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa kedua membran mempunyai nilai persen rejeksi optimum pada pH 5, yaitu 82,65% dengan nilai permeabilitas $19,197 \text{ Lm}^{-2}\text{h}^{-1}\text{bar}^{-1}$ pada membran komposit PVDF-Zeolite dan 76,45% dengan nilai permeabilitas $8,921 \text{ Lm}^{-2}\text{h}^{-1}\text{bar}^{-1}$ pada membran PVDF.

Dalam penelitian oleh Ardeshiri *et al* (2018), membran ZnO/poli vinilidena fluorida (PVDF) yang dimodifikasi disiapkan untuk menguji kinerja distilasi membran. Nanopartikel ZnO termodifikasi disintesis menggunakan 3-*aminopropyltriethoxysilane* sebagai *coupling agent* dan asam laurat untuk meningkatkan hidrofobisitas permukaan nanopartikel. Nanopartikel yang dimodifikasi dengan kandungan 0,25%, 0,5%, 1%, dan 2% diselingi dengan *scaffold* PVDF untuk membuat membran komposit melalui metode inversi fase. Pengaruh kandungan nanopartikel termodifikasi pada karakteristik membran termasuk hidrofobisitas,

morfologi, porositas, tekanan masuk cairan air, dan kinerja distilasi membran kontak langsung diselidiki. Dengan menambahkan nanopartikel ZnO yang dimodifikasi ke dalam larutan *casting*, porositas dan kekuatan meningkat dan diungkapkan masing-masing dengan pemindaian mikroskop elektron dan mikroskop kekuatan atom. Hasil kinerja distilasi membran kontak langsung menunjukkan bahwa fluks permeat membran yang dimodifikasi mengalami peningkatan yang signifikan dibandingkan dengan membran PVDF murni. Juga, sifat termal dari membran nanokomposit ini diperiksa.

Zhang *et al* (2014) berhasil membuat membran ZnO terhibridisasi *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF/ZnO) menggunakan metode infersi fasa dengan dua perlakuan berbeda. Salah satu metode adalah merendam film PVDF yang telah diberi perlakuan sebelumnya dalam suspensi ZnO (metode A), dan metode lainnya adalah mencampur partikel nano ZnO dengan larutan PVDF dan kemudian menuang film (metode B). Struktur membran hibrid PVDF/ZnO ini dikarakterisasi dengan SEM, XRD dan ATR-IR, dan kinerja membran hibrid ditentukan melalui pengukuran sudut kontak, fluks air murni dan adsorpsi statis terhadap BSA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO dimasukkan ke dalam pori-pori dan ke permukaan PVDF, dan struktur hibrid yang lebih seragam diperoleh dengan metode B. Spektra ATR-IR mengungkapkan bahwa interaksi fisik yang

lemah berperan dalam konstruksi membran hibrid. Dibandingkan dengan film PVDF murni, hidrofilisitas, kemampuan perme dan kinerja antifouling membran hibrida ditingkatkan. Dan lebih khusus lagi, membran hibrida juga menunjukkan sifat adsorpsi dan desorpsi yang lebih baik untuk ion tembaga (ii), yang jarang dilaporkan.

Chao *et al* (2015) membuat membran hibrida poli(vinilidena fluorida)/attapulgit (PVDF/ATP) untuk menghilangkan ion Cr(VI) dari air limbah. PVDF digunakan sebagai matriks dan ATP sebagai adsorben yang difungsikan dengan *cetyl trimethyl ammonium bromide* (CTAB) dan kemudian dimodifikasi dengan tanin (TA). Kinetika adsorpsi dan isoterm kesetimbangan dari membran hibrida sangat diperhatikan. Hasil menunjukkan bahwa membran PVDF/ATP menunjukkan kapasitas adsorpsi yang baik untuk ion Cr(VI), kesetimbangan adsorpsi dapat terbentuk dalam waktu 5 jam dan kapasitas adsorpsi maksimum adalah 21,4 mg/L. Kinetika adsorpsi cocok dengan persamaan orde kedua Lagergren dan isoterm adsorpsi dapat dijelaskan dengan baik oleh model Langmuir dan Freundlich.

Penelitian-penelitian di atas memiliki perbedaan dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis yang berjudul "PEMBUATAN, KARAKTERISASI, DAN KINERJA MEMBRAN POLYVINYLIDENE FLUORIDE (PVDF)-ZnO UNTUK FILTRASI ION KROMIUM HEKSAVALEN". Penulis melakukan pembuatan

membran PVDF tanpa penambahan ZnO dengan variasi konsentrasi (b/v) 16%, 18%, 20%, 22%, dan 24% yang kemudian dilakukan uji kuat tarik. Hal ini bertujuan dapat mengetahui konsentrasi larutan PVDF terbaik yang ditandai dengan nilai kuat tarik terbesar. Penulis kemudian melakukan pengembangan dengan menambahkan ZnO kedalam larutan PVDF dengan variasi konsentrasi ZnO (b/b) 5%; 7,5%; dan 10%. Penulis kemudian melakukan karakterisasi membran PVDF 20%; PVDF-ZnO 5%; PVDF-ZnO 7,5%; dan PVDF-ZnO 10% untuk mengetahui karakteristik dari setiap membran. Penulis kemudian menguji kinerja membran PVDF 20%; PVDF-ZnO 5%; PVDF-ZnO 7,5%; dan PVDF-ZnO 10% terhadap fluks air dan rejeksi ion kromium heksavalen (Cr^{6+}).

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

1. Bahan

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah: *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF), *dimethylacetamide* (DMAc) dari Merck, serbuk ZnO ACS *grade* ($\geq 99\%$) dari Merck, akuades, dan padatan $K_2Cr_2O_7$ dari Merck.

2. Alat

Alat-alat yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah: pengaduk magnetik, pelat kaca, bak koagulasi, *casting knife*, Instrumen SEM-EDX JEOL JSM-6510LA, Instrumen FT-IR Perkin-Elmer UATR Spectrum Two, Peralatan uji tarik, Uji Sudut Kontak OCA 25, alat filtrasi *cross flow*, Instrumen AAS iCE 3000 AA05194702 v1.

B. Metode

1. Pembuatan Membran PVDF

Membran dibuat dengan konsentrasi 16, 18, 20, 22, dan 24 % (b/v) PVDF dalam pelarut DMAc dengan komposisi seperti pada Tabel 3.1. Campuran diaduk sekitar 24 jam hingga homogen dan berbentuk gel. Gel yang telah terbentuk selanjutnya dicetak pada pelat kaca dan dibiarkan sekitar 10

menit, setelah itu dicelupkan ke dalam bak koagulan berisi akuades.

Tabel 3.1 Komposisi Bahan Pembuatan Membran PVDF

Membran	Kode Membran	Berat PVDF (gram)	Volume DMAc (mL)
PVDF 16%	A1	1,6	10
PVDF 18%	A2	1,8	10
PVDF 20%	A3	2,0	10
PVDF 22%	A4	2,2	10
PVDF 24%	A5	2,4	10

2. Pembuatan Membran PVDF-ZnO

Membran PVDF-ZnO dapat dibuat setelah mengetahui konsentrasi membran PVDF yang optimum. Membran PVDF-ZnO dibuat dengan mencampurkan PVDF dan ZnO dengan konsentrasi (b/b) 5,0; 7,5%; dan 10%. Membran PVDF-ZnO dibuat dengan komposisi seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Komposisi Bahan Pembuatan Membran PVDF-ZnO

Membran	Kode Membran	Berat PVDF (gram)	Berat ZnO (gram)	Volume DMAc (mL)
PVDF-ZnO 5%	B1	2,00	0,10	10
PVDF-ZnO 7,5%	B2	2,00	0,15	10
PVDF-ZnO 10%	B3	2,00	0,20	10

3. Karakterisasi Membran

a. Uji Tarik

Karakterisasi sifat mekanik perlu dilaksanakan guna mengetahui kekuatan membran terhadap gaya yang diberikan dari luar yang mampu merusak membran (Fathanah et al., 2019). Informasi yang diperoleh dari uji tarik adalah nilai kuat tarik, %elongasi, dan modulus young. Semakin rapat struktur membran maka jarak antar molekul membran semakin rapat, sehingga menghasilkan membran berkekuatan tarik yang kuat (Azzahra, 2021). Semakin besar kuat tarik maka semakin baik membran untuk mengurangi kerusakan mekanik pada membran (Husni et al., 2018). Persentasi elongasi menunjukkan seberapa lebar luas membran yang bisa ditarik, serta memperlihatkan fleksibilitas dari membran (Husni et al., 2018). Modulus young menunjukkan rasio tegangan terhadap regangan yang sesuai di bawah batas proporsionalitas suatu bahan. Uji tarik dilakukan pada setiap variasi membran PVDF dan membran PVDF-ZnO dengan kecepatan 1mm/detik. Membran PVDF.

Persiapan dimulai dengan memotong sampel membran berukuran 2 x 5 cm. Kedua ujung sampel membran selanjutnya dijepit menggunakan alat uji tarik. Data yang didapat dari uji kuat tarik ini meliputi tegangan (*stress*), regangan (*strain*), dan *modulus young* dalam keadaan minimal dan maksimal (Humairo, 2015). Uji Kuat Tarik dilakukan di UPT Laboratorium Universitas Diponegoro Semarang.

b. Uji Sudut Kontak

Nilai sudut kontak didapat melalui pengukuran secara manual menggunakan metode *Drop Shape Analysis* (DSA) dengan mengamati *sessile drop* dengan perangkat kamera. Gambar yang didapat lalu digunakan sebagai komponen utama perhitungan (Suryandari, 2020). Uji Sudut Kontak dilakukan di UPT Laboratorium Universitas Diponegoro Semarang.

c. FT-IR

Analisis FTIR dimulai dengan menyiapkan sampel, sampel dipotong berukuran 2 x 2 cm lalu dianalisis menggunakan teknik ATR (*attenuated total reflectance*). Gugus fungsi yang dicari adalah adanya gugus C-H pada bilangan gelombang 3200-2800 cm^{-1} , gugus O-H pada kisaran bilangan gelombang 2500-3400 dan 1600 cm^{-1} , dan C-F pada bilangan gelombang 1400-1200 cm^{-1} (Suryandari, 2020). Menurut Maulida *et al.*, (2020) spektra FTIR ZnO memperlihatkan pita serapan yang terdapat pada bilangan gelombang lebih rendah, yaitu daerah sekitar 864-485 cm^{-1} yang memperlihatkan regangan Zn-O-Zn dan Zn-O. Uji FTIR dilakukan di UPT Laboratorium Universitas Diponegoro Semarang.

d. Uji Struktur Morfologi Membran

Uji struktur morfologi membran dilakukan dengan instrumen SEM-EDX sesuai dengan mekanisme sebagai berikut. Membran terlebih dahulu dikeringkan, lalu direndam ke dalam nitrogen cair selama beberapa detik sampai

mengeras. Membran diangkat dan dipatahkan kedua ujungnya menggunakan pinset sebelum dilakukan pemotretan. Potongan membran dilapisi (*coating*) menggunakan emas murni yang berguna sebagai penghantar. Langkah berikutnya, penampang melintang dan bagian atas membran dipotret pada perbesaran tertentu. Uji SEM dilakukan di UPT Laboratorium Universitas Diponegoro Semarang.

Citra SEM-EDX dari membran yang diperoleh kemudian dianalisis ukuran pori dan porositasnya menggunakan perangkat lunak ImageJ. ImageJ menjadi perangkat lunak analisis *open source* yang digunakan dalam proses dan analisa suatu citra digital, dan sering digunakan dalam penelitian yang telah terpublikasi (Faizah, 2017).

4. Analisa Fluks dan Rejeksi Membran

Nilai fluks ditentukan oleh sel filtrasi *cross flow*. Membran yang telah dipotong dengan bentuk lingkaran berdiameter 3,5 cm dimasukkan ke dalam alat filtrasi. Akuades dengan volume sekitar 1000 mL dimasukkan pada bak penampung filtrasi, kemudian ditutup rapat. Selanjutnya alat filtrasi diatur pada tekanan sekitar 2 hingga 6 bar dengan waktu 30 menit. Volume air yang dapat ditampung selama 30 menit kemudian dicatat. Nilai fluks didapat dengan membandingkan volume permeat dibagi dengan luas permukaan dan waktu. Nilai fluks dinyatakan dalam persamaan 3.1.

$$J_v = \frac{V}{A \cdot t} \quad (3.1)$$

Keterangan:

- J_v = fluks air ($\text{Lm}^{-2}\text{h}^{-1}$)
 V = volume permeat (L)
 A = luas permukaan (m^2)
 t = waktu (jam)

Selektivitas membran terhadap campuran umumnya ditunjukkan oleh salah satu dari dua parameter berikut, yaitu faktor separasi (α) dan koefisien rejeksi (R). Campuran larutan berair yang tersusun atas pelarut dan zat terlarut lebih cocok untuk retensi zat terlarut. Zat terlarut sebagian atau semuanya tertahan, sementara molekul pelarut air dapat dengan leluasa melewati membran. Pelaksanaan uji rejeksi hampir sama dengan uji fluks. Perbedaan keduanya terletak pada larutan yang dimasukkan ke dalam bak penampung. Larutan yang digunakan pada uji rejeksi adalah larutan sampel kromium heksavalen dengan konsentrasi sekitar 10 ppm. Koefisien rejeksi dinyatakan dalam persamaan 3.2.

$$R (\%) = \left[1 - \left(\frac{C_p}{C_f} \right) \right] \times 100\% \quad (3.2)$$

Keterangan:

- R = koefisien rejeksi membran (%)
 C_p = konsentrasi zat terlarut di dalam permeat (ppm)

Cf = rata-rata konsentrasi zat terlarut di dalam
feed atau umpan (ppm)

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Pembuatan Membran PVDF-ZnO

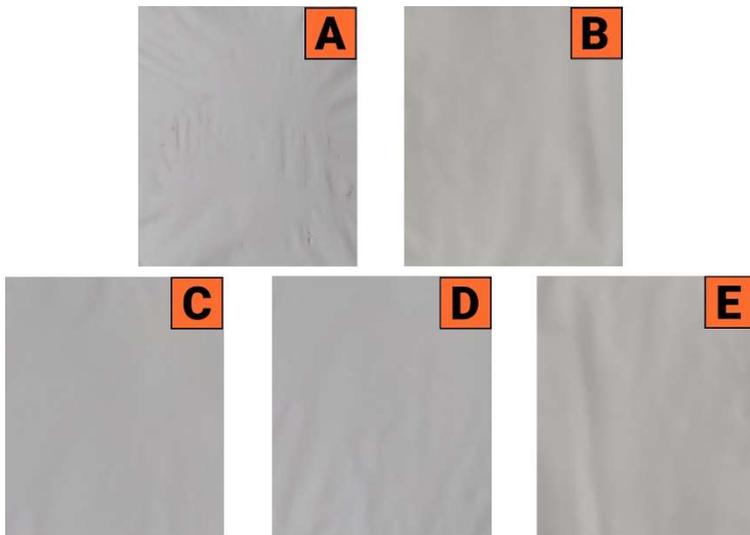
1. Pembuatan Membran PVDF

Pemilihan material beserta pelarut dalam pembuatan membran memiliki pengaruh terhadap kerapatan membran yang dibentuk. Penggunaan material berbahan dasar PVDF membran memiliki kerapatan pori yang besar, sedangkan DMAc sebagai pelarut menyebabkan pembentukan pori yang besar pada membran, sehingga diharapkan pori yang terbentuk pada membran dari kombinasi PVDF dan DMAc sebagai pelarut tidak terlalu rapat ataupun besar (Suryandari, 2020).

Pembuatan membran PVDF dilakukan dengan beberapa variasi komposisi seperti pada tabel 3.1. Tujuan dari langkah ini adalah untuk menentukan komposisi terbaik membran PVDF sebelum ditambahkan ZnO. Komposisi yang digunakan pada penelitian adalah 16%, 18%, 20%, 22%, dan 24 % (b/v). Pembuatan membran PVDF dilakukan melalui metode inversi fasa. Inversi fasa menjadi teknik yang banyak digunakan dalam pembuatan membran baik nanofiltrasi, mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, dan *reverse osmosis*. Proses perubahan fasa ini dimulai dengan transisi fasa cair pembentukan membran dari

satu fasa cair menjadi dua fasa cair (*liquid-liquid demixing*).ada tahapan tertentu selama proses *demixing*, salah satu fasa cair mengalami pembekuan hingga terbentuknya fasa padatan.

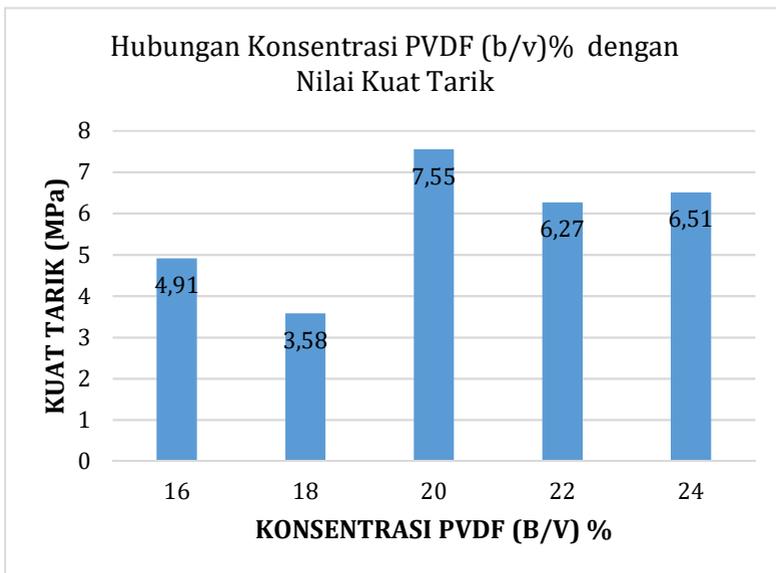
Pada penelitian ini, larutan polimer dituangkan ke permukaan datar untuk membentuk film tipis. Fungsi dari langkah ini adalah untuk mencetak membran dengan ketebalan tertentu. Larutan polimer yang telah dicetak kemudian dicelupkan dalam larutan pengendap. Fungsi dari langkah ini adalah untuk mengubah larutan polimer dari fasa cair menjadi fasa padat. Lembaran membran yang telah memadat kemudian dikeringkan dalam kertas saring pada suhu kamar. Membran PVDF yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Membran (A) A1, (B) A2, (C) A3, (D) A4, (E) A5

2. Uji Kuat Tarik Membran PVDF

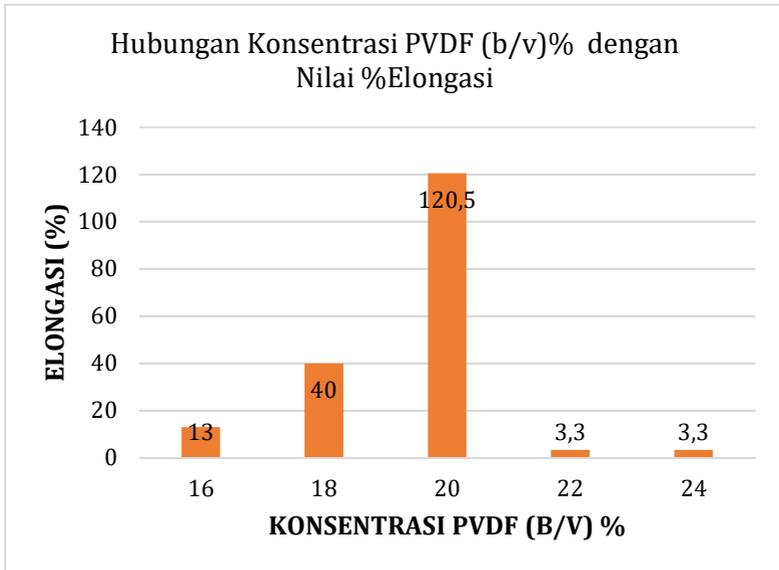
Pengujian kuat tarik pada membran PVDF bertujuan untuk mendapatkan konsentrasi optimum PVDF yang akan digunakan sebagai komposisi pembuatan membran PVDF-ZnO. Nilai kuat tarik, persen elongasi, dan *modulus young* membran PVDF masing-masing dapat dilihat pada gambar 4.2, gambar 4.3, dan gambar 4.4.



Gambar 4.2 Hubungan Konsentrasi PVDF (b/v)% dengan Nilai Kuat Tarik Membran

Pada penelitian ini nilai kuat tarik tertinggi dimiliki oleh membran A3 dengan nilai 7,55 MPa. Artinya, membran PVDF A3 mampu menerima tegangan tertinggi diantara membran PVDF A1, A2, A4, dan A5. Sementara itu, membran A2 memiliki

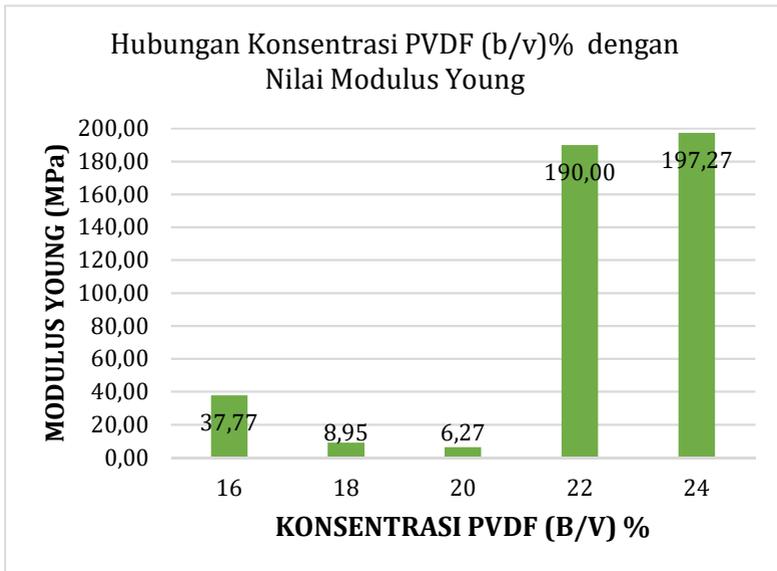
nilai kuat tarik terendah dengan nilai 3,58 MPa. Menurut Rusli et al., (2017) interaksi antar molekul PVDF dengan pelarut DMAc menjadi penyebab yang memengaruhi nilai kuat tarik membran.



Gambar 4.3 Hubungan Konsentrasi PVDF (b/v)% dengan Nilai %Elongasi Membran

Nilai elongasi tertinggi dimiliki oleh membran A3 dengan nilai 120,5%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa membran A3 dapat meregang sebesar 120,5% dari panjang awal. Hal ini menunjukkan membran A3 memiliki nilai elongasi tertinggi di antara membran PVDF lain. Artinya, membran A3 memiliki nilai fleksibilitas terbesar. Nilai elongasi

dipengaruhi oleh efek plastisasi membran akibat interaksi ionik antara PVDF dan pelarut DMAc (Hermanto et al., 2019).



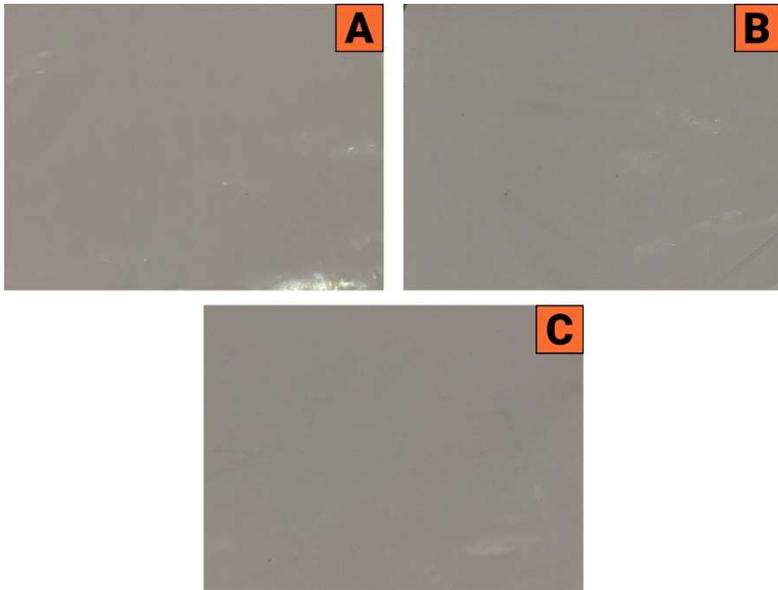
Gambar 4.4 Hubungan Konsentrasi PVDF (b/v)% dengan Nilai *Modulus Young* Membran

Nilai modulus young tertinggi dimiliki oleh membran A5 dengan nilai 196,97 MPa. Nilai tersebut menunjukkan bahwa membran A5 memiliki kekakuan yang lebih tinggi daripada membran lain. Sedangkan nilai modulus young terendah dimiliki oleh membran A3 dengan nilai 6,26 MPa, yang berarti menjadi membran dengan elastisitas tertinggi. Menurut Nurratri et al., (2020) elastisitas dalam membran memiliki keuntungan lebih dibanding membran yang mudah retak.

3. Pembuatan Membran PVDF-ZnO

Pembuatan membran PVDF dibuat dengan metode yang sama seperti pembuatan membran PVDF, yaitu dengan metode inversi fasa. PVDF dengan konsentrasi 20% (b/v) dipilih sebagai komposisi utama karena memiliki nilai uji kuat tarik terbesar yaitu 7,55 MPa. Hal ini bertujuan agar membran PVDF dengan penambahan ZnO juga memiliki nilai kuat tarik yang besar.

Membran PVDF-ZnO dilakukan penambahan ZnO dengan tiga konsentrasi yang berbeda, yaitu 5,0%; 7,5%; dan 10,0% (b/b). Menurut Ayyaru et al., (2020) membran yang dimodifikasi dengan anorganik hibrid seperti ZnO menunjukkan peningkatan fluks air, hidrofilitas, kekuatan mekanik, rejeksi, dan pembentukan permukaan membran. Salah satu karakteristik membran PVDF yang perlu ditingkatkan adalah hidrofilitasnya. Membran PVDF memiliki sifat hidrofobik sehingga rentan menyebabkan *fouling*. *Fouling* pada membran perlu diatasi karena dapat menurunkan laju perpindahan massa atau volume yang melalui membran (*flux*) sehingga berpengaruh pada penurunan akumulasi produk (*permeate*). Penambahan ZnO diharapkan dapat menambah sifat hidrofilik pada membran sehingga mengurangi risiko terjadinya *fouling*. Membran PVDF-ZnO yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Membran (A) B1, (B) B2 dan (C) B3

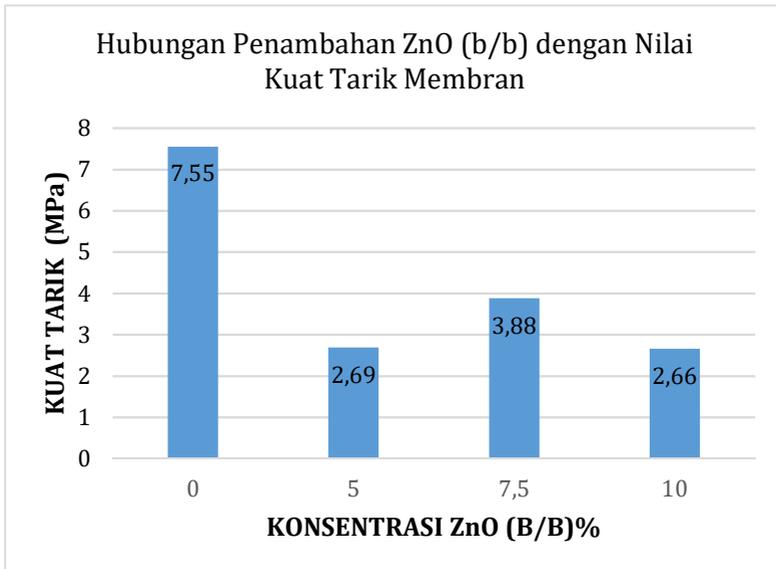
Membran PVDF-ZnO kemudian dilakukan uji fluks dan rejeksi, sudut kontak, kuat tarik, FT-IR, serta SEM-EDX untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi ZnO yang ditambahkan dengan karakteristik membran yang dihasilkan.

B. Karakterisasi Membran PVDF-ZnO

1. Uji Tarik

Pengujian kuat tarik pada membran PVDF-ZnO bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan ZnO terhadap nilai kuat tarik, %elongasi, dan modulus young membran. Nilai kuat tarik, %elongasi, dan modulus young membran PVDF-ZnO. Nilai kuat tarik, %elongasi, dan *modulus*

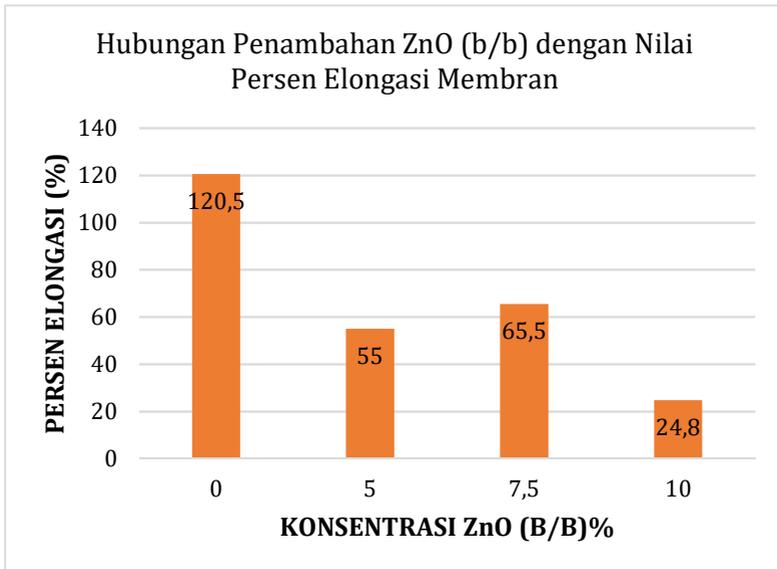
young membran A3 digunakan sebagai pembanding dengan membran yang telah dimodifikasi dengan ZnO. Pengaruh penambahan konsentrasi ZnO (b/b)% terhadap nilai kuat tarik, %elongasi, dan *modulus young* masing-masing dapat dilihat pada gambar 4.6, gambar 4.7, dan gambar 4.8.



Gambar 4.6 Hubungan Penambahan ZnO (b/b)% dengan nilai kuat Tarik Membran

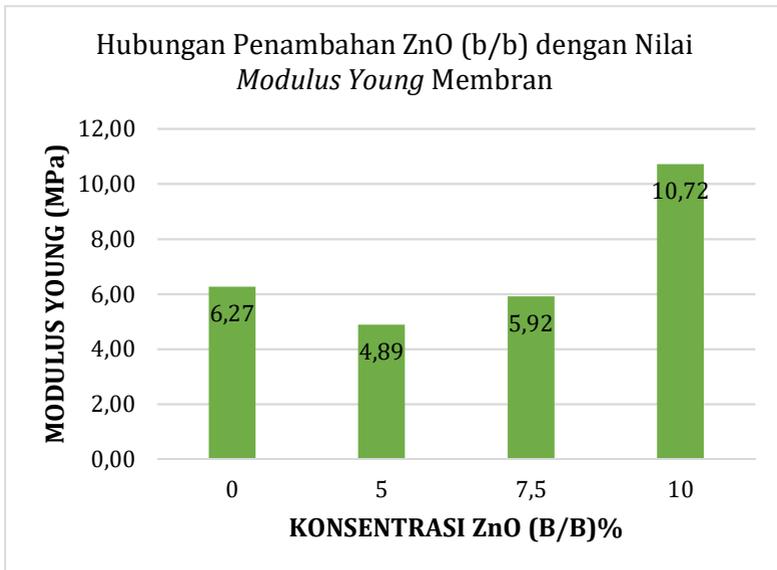
Kuat tarik membran PVDF-ZnO mengalami tren naik dan turun. Nilai tertinggi diperoleh membran A3 dengan nilai 7,55 MPa. Sedangkan nilai kuat tarik membran dengan penambahan ZnO 5%; 7,5%, dan 10% (b/v) menunjukkan nilai yang lebih kecil, yaitu 2,59 MPa; 3,88 MPa; dan 2,66 MPa. Menurut Pascariu et al., (2021) penyebab dari penurunan nilai

kuat tarik membran dengan penambahan ZnO adalah karena adanya aglomerasi ZnO pada membran yang mengakibatkan entalpi bebas/ energi pembentukan cacat dan konvergensi tegangan dibawah gaya sehingga menyebabkan stabilitas mekanik membran berkurang.



Gambar 4.7 Hubungan Penambahan ZnO (b/b)% dengan Nilai Persen Elongasi Membran

Nilai %Elongasi serupa dengan nilai kuat tarik, dimana mengalami tren naik dan turun. Menurut Y. Li, (2017) hal ini terjadi karena adanya aglomerasi yang merupakan penyebab dari penambahan ZnO. Menurut Rakhmawaty Eddy et al., (2016), ZnO memiliki sifat mudah mengalami aglomerasi atau penumpukan partikel.



Gambar 4.8 Hubungan Penambahan ZnO (b/b) dengan Nilai *Modulus Young* Membran

Nilai *modulus young* tertinggi dimiliki oleh membran B3 dengan nilai 10,72 MPa. Nilai tersebut menunjukkan bahwa membran B3 memiliki kekakuan yang lebih tinggi daripada membran lain. Sedangkan nilai *modulus young* terendah dimiliki oleh membran B1 dengan nilai 4,89 MPa, yang berarti menjadi membran dengan elastisitas tertinggi. Grafik yang dihasilkan mengalami tren turun pada konsentrasi ZnO 5% (b/b) kemudian naik hingga pada konsentrasi 10% (b/b). Hal ini disebabkan karena sifat mekanik membran PVDF organik umumnya meningkat dengan meningkatnya ZnO karena "efek ikatan silang" untuk menahan tekanan beban membran. Tetapi

peningkatan konsentrasi ZnO berlebih terjadi agregasi sehingga mengurangi sifat mekanik. Hal ini mengarah pada pembentukan membran yang lebih rapuh (Fahmey et al., 2019).

Pada penelitian ini, memiliki hasil pengujian seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Hong & He, (2014). Penelitian tersebut menunjukkan kekuatan tarik awalnya meningkat dengan penambahan nano-ZnO dan nilai maksimum 2,16 MPa dicapai ketika konsentrasi nano-ZnO 0,1% dan kemudian menurun ketika kandungan nano-ZnO meningkat. Selain itu, elongasi saat kerusakan awalnya meningkat dari 20,35% menjadi 40,83% ketika kandungan nano-ZnO meningkat dari 0% menjadi 0,01% dan kemudian menurun dari 40,83% menjadi 28,75% ketika kandungan nano-ZnO meningkat dari 0,01% menjadi 1,5 %. Hal tersebut dipengaruhi oleh interaksi antara partikel nano-ZnO dan PVDF. Partikel nano-ZnO dapat bertindak sebagai agen pengikat silang dalam membran komposit yang berikatan dengan rantai polimer dan meningkatkan kekakuan rantai polimer. Hal ini disebabkan karena dibutuhkan energi yang besar untuk memecah ikatan antara nano-ZnO dan PVDF, yang berarti bahwa kekuatan mekanik membran komposit dapat ditingkatkan secara signifikan. Sementara kandungan nano-ZnO dalam jumlah besar membatasi kebebasan bergerak dalam rantai PVDF, mengakibatkan penurunan sifat mekanik.

2. Sudut Kontak

Hidrofilisitas membran dianalisis melalui pengukuran sudut kontak antara permukaan membran dan tetesan air dengan memanfaatkan *Contact Angle meter* (Rahmadi et al., 2021). Secara umum, hidrofilisitas permukaan membran berbanding terbalik dengan nilai sudut kontakannya. Semakin tinggi nilai hidrofilisitasnya, maka semakin kecil nilai sudut kontakannya (Zhang et al., 2014). Membran yang diklasifikasikan bersifat hidrofilik harus mempunyai sudut kontak melebihi 0° dan kurang dari 90° ($0^\circ < \theta < 90^\circ$), sedangkan jika sudut kontak lebih dari 90° maka membran tersebut memiliki sifat hidrofobik (Purnamasari & Oktaviani, 2022).

Tabel 4.1 Data Hasil Uji Sudut Kontak

Jenis Membran	Titik 1	Titik 2	Rata-rata
A3	106,0°	113,5°	109,7°
B1	86,6°	87,1°	86,85°
B2	83,9°	85,5°	84,7°
B3	82,7°	81,2°	81,95°

Hasil pengujian sudut kontak menunjukkan bahwa penambahan ZnO pada membran mampu mengurangi nilai sudut kontak. Tren nilai sudut kontak selalu menurun seiring dengan penambahan ZnO. Hasil ini juga menunjukkan bahwa membran PVDF 20% bersifat hidrofobik, dan membran PVDF yang ditambah ZnO bersifat hidrofilik. Sifat hidrofilik

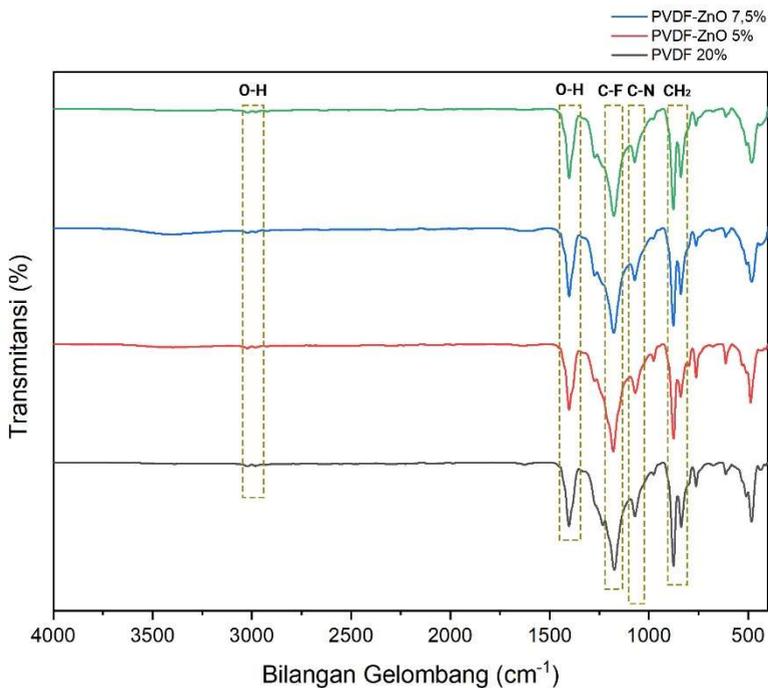
membran memiliki sifat mudah menyerap molekul air, sehingga berakibat pada peningkatan nilai fluks membran. Sedangkan sifat hidrofobik dapat menyebabkan terjadinya fouling atau tertahannya suatu senyawa pada permukaan membran karena ketidakmampuan untuk melewati membran, sehingga permeabilitas membran menjadi rendah dan kinerja membran berkurang (Mustabsyirah et al., 2022).

Penelitian oleh Alsalhy et al., (2018) memiliki hasil yang serupa. Penurunan nilai sudut kontak terjadi karena selama pembentukan membran, ZnO bergerak menuju permukaan membran, sehingga menghasilkan karakter permukaan yang lebih hidrofilik. Migrasi ZnO menyebabkan adsorpsi air yang lebih tinggi dan *biofouling* yang lebih rendah yang mengakibatkan peningkatan permeabilitas air pada membran. Selain itu, efek ZnO pada nilai sudut kontak membran disebabkan karena pengurangan energi permukaan. Afinitas yang signifikan antara air dan ZnO serta karakter hidrofilik dari ZnO, menyebabkan pengurangan sudut kontak. Selain itu, Hong & He, (2014) menyintesis membran komposit PVDF-ZnO. Ditemukan bahwa penambahan ZnO menyebabkan sudut kontak air yang lebih kecil (meningkatkan hidrofilisitas) sehingga dapat meningkatkan kemampuan *antifouling*. Selain itu, membran komposit PVDF-ZnO memiliki struktur sublapisan yang lebih longgar, yang berguna untuk

meningkatkan kinerja filtrasi. Diketahui bahwa porositas membran berkorelasi positif dengan kecepatan pertukaran pelarut/non-pelarut. Nanopartikel ZnO hidrofilik mempercepat importasi air ke membran karena memiliki afinitas yang lebih tinggi dengan air.

3. FTIR

Analisa FTIR terhadap membran PVDF dan membran PVDF-ZnO bertujuan untuk mengetahui kandungan gugus fungsi di dalamnya. Spektra dicatat dari bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1} seperti pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Spektra FTIR membran A3, B1, B2, dan B3

Dari spektra FTIR setiap membran yang ditunjukkan pada gambar 4.3 dilakukan analisis gugus fungsinya. Hasil analisis gugus fungsi yang diperoleh dari Gambar 4.9, dipaparkan melalui Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Analisis Gugus Fungsi Membran A3, B1, B2, dan B3

Jenis Serapan	Bilangan Gelombang Membran (cm ⁻¹)			
	PVDF 20%	PVDF-ZnO 5%	PVDF-ZnO 7,5%	PVDF-ZnO 10%
Uluran O-H	3023,84 - 2981,68	3023,39 - 2981,85	3021,67 - 2981,14	3021,54 - 2980,63
Tekukan O-H	1403,21	1402,29	1402,13	1402,19
Uluran C-F	1174,46	1181,07	1177,35	1176,89
Uluran C-N	1070,79	1068,83	1071,57	1071,67
Tekukan CH ₂	875,92 - 837,45	875,56 - 840,04	876,58 - 839,20	876,71 - 839,13

Spektra FTIR dari membran PVDF 20%; PVDF-ZnO 5%; PVDF-ZnO 7,5%; dan PVDF-ZnO 10% menunjukkan spektra yang serupa dengan gugus fungsi yang sama. Serapan terkuat berada pada vibras ulur ikatan C-F. Hal ini serupa dengan penelitian Hong & He, (2014), dimana instrumen FTIR-ATR digunakan untuk mengidentifikasi struktur kimia membran komposit PVDF-ZnO dari beberapa rasio komposisi. Serapan terkuat terjadi pada panjang gelombang 1180 cm⁻¹ untuk gugus fungsi C-F. Puncak spektra membran komposit hampir tidak bergeser, dibandingkan dengan membran PVDF murni. Dengan demikian, interaksi antara nano-ZnO dan

PVDF tampak lemah yang telah diverifikasi oleh hasil XRD. Hasil penelitian ini diperkuat juga oleh penelitian yang dilakukan oleh Tan et al., (2014) yang membuat film tipis nanokomposit PVDF yang didoping dengan ZnO dengan konsentrasi (b/b) 0%; 0,05%, 0,15%, dan 0,25%. Hasil FTIR menunjukkan intensitas dan posisi puncak serapan tidak banyak berubah ketika PVDF didoping dengan ZnO dalam jumlah yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO tidak mempengaruhi struktur dan fase kristal PVDF.

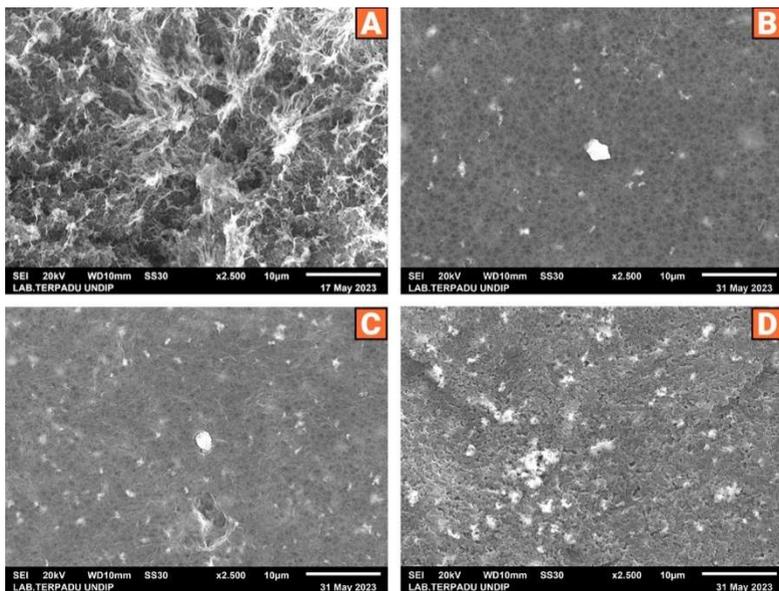
4. SEM-EDX

Scanning Electron Microscope (SEM) dilakukan untuk menunjukkan morfologi membran, sedangkan *Mapping EDX* berfungsi guna melihat sebaran partikel dalam membran serta mengetahui homogenitas membran (Suryandari, 2020). Menurut Sofyana et al., (2020) jenis pelarut yang digunakan dapat memengaruhi morfologi membran yang terbentuk. Selanjutnya, morfologi membran akan mempengaruhi kinerja membran. Pada penelitian ini, SEM-EDX bertujuan untuk melihat morfologi membran dan komposisi unsur pada membran.

a. Analisis Ukuran Pori Membran

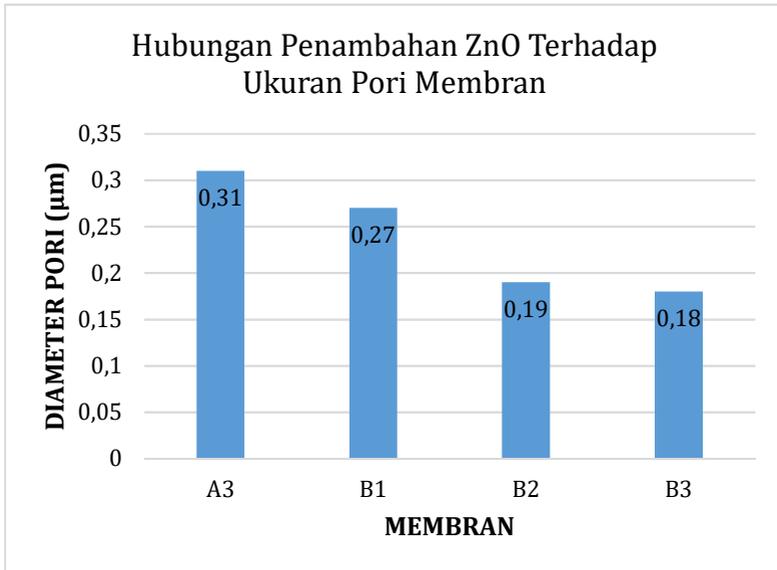
Analisis ukuran pori membran dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *ImageJ*. Selain mudah untuk

dipahami, ImageJ memiliki berbagai analisis parameter bentuk dan dapat diterapkan untuk menganalisis dimensi serta ukuran distribusi (Hamdini et al., 2020). Menurut (Zulfi et al., 2014) ukuran pori merupakan salah satu faktor yang memengaruhi nilai fluks, semakin besar pori membran maka jumlah permeat yang dilewatkan dalam satu waktu tertentu semakin besar sehingga nilai fluksnya semakin tinggi. Sebaliknya jika ukuran pori semakin kecil, maka nilai fluksnya akan semakin kecil. Citra SEM membran A3, B1, B2, dan B3 dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Citra SEM Membran 2500x Perbesaran (A) A3; (B) B1, (C) B2, dan (D) B3

Citra SEM membran pada Gambar 4.10 kemudian diukur diameter porinya menggunakan perangkat lunak *ImageJ*. Data ukuran pori membran dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Hubungan Antara Penambahan ZnO dengan Ukuran Pori Membran

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa membran A3, B1, B2, dan B3 masing-masing adalah 0,31 µm; 0,27 µm; 0,19 µm; dan 0,18 µm. Ukuran diameter pori tersebut termasuk dalam golongan membran mikrofiltrasi. Menurut Ronanda & Marsono, (2021) membran memiliki pori-pori sekitar 0,1 – 50 µm dan dapat menyaring partikel, bahan selular, dan mikroorganisme. Ukuran partikel yang dapat dihilangkan

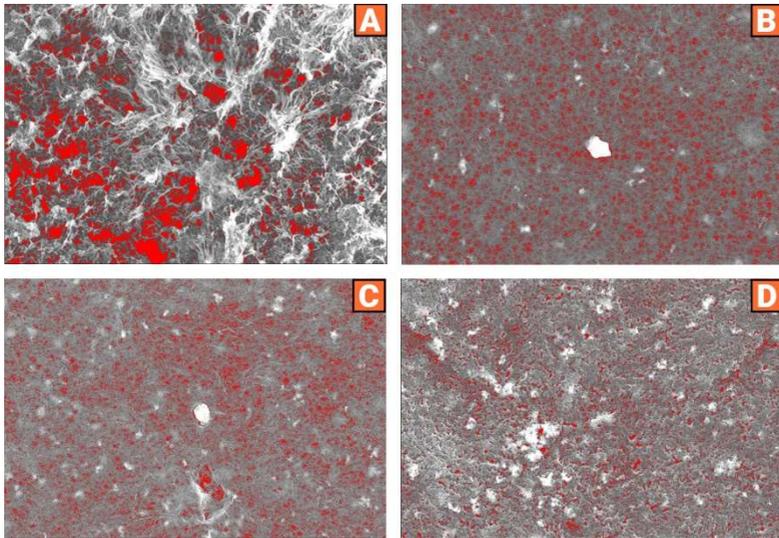
dengan menggunakan membran mikrofiltrasi adalah sekitar 0.05 sampai 1 μm .

Data pengukuran pori pada Gambar 4.11 menunjukkan tren grafik yang dihasilkan menurun seiring dengan penambahan konsentrasi ZnO. Menurut Li et al., (2017), hal ini dapat dikaitkan dengan kristalinitas ZnO. ZnO yang mengkristal dengan baik, dapat menghasilkan partikel yang lebih besar pada membran PVDF. Dengan demikian, ukuran pori tampaknya menurun. Penelitian oleh Arularasu et al., (2020) juga menunjukkan hasil yang serupa. Membran PVDF yang dimodifikasi menggunakan TiO_2/ZnO . Diameter pori-pori membran yang dihasilkan menurun seiring dengan kenaikan konsentrasi ZnO.

b. Analisis Porositas Membran

Informasi porositas pada suatu membran penting untuk diketahui. Oleh karena itu, analisa SAS dilakukan untuk karakterisasi mengenai porositas suatu membran. Kemajuan dalam bidang analisis citra digital memberikan cara baru untuk mengukur porositas optis suatu membran dengan lebih akurat dan cepat dibandingkan metode pada umumnya. Untuk mengukur porositas melalui citra digital, harus diperhatikan bagaimana cara menandai daerah porositas dan *object point* dengan menggunakan *threshold*. *Thresholding* adalah proses segmentasi citra digital yang dilakukan untuk mengekstraksi suatu citra digital dengan membedakan antara objek dan

background. Analisis citra *threshold* kemudian dilakukan untuk mengetahui nilai % porositas membran (Faizah, 2017). Gambar *thresholding* pada membran dapat dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Proses Thresholding pada Citra SEM Membran (A) A1 (B) B1 (C) B2, dan (D) B3

Nilai % porositas membran menunjukkan tren naik pada membran PVDF-ZnO 5% kemudian mengalami penurunan pada membran PVDF-ZnO 7,5% dan 10%. Hal ini dapat terjadi karena efek penambahan partikel ZnO. Menurut (Humairo, 2015), penambahan aditif dalam konsentrasi rendah dapat memperbesar porositas karena aditif mampu berdifusi sempurna serta membentuk pori lebih besar. Namun ketika penambahan aditif pada konsentrasi tinggi, aditif akan

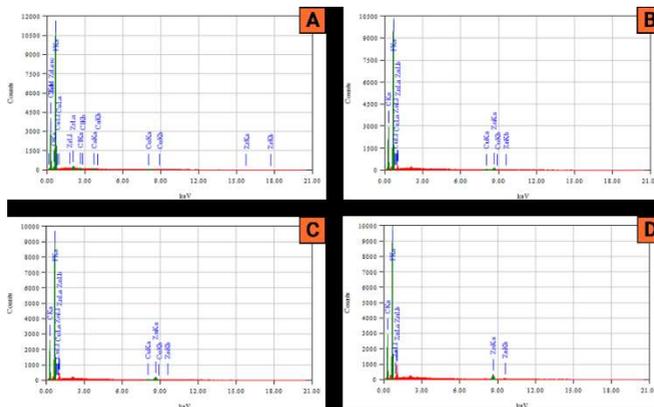
teraglomerasi sehingga menyebabkan aditif tidak berdifusi sempurna dan ukuran pori menjadi lebih kecil. Nilai porositas membran dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Nilai %Porositas Membran

Membran	Porositas (%)
PVDF 20%	5,737
PVDF-ZnO 5%	11,222
PVDF-ZnO 7,5%	10,604
PVDF-ZnO 10%	8,454

c. Analisis Komposisi Unsur pada Membran

Kadar unsur dalam material hasil sintesis dilakukan menggunakan karakterisasi EDX. Secara umum membran PVDF tersusun atas unsur karbon (C) dan fluor (F). Hasil uji EDX membran A3, B1, B2, dan B3 dapat dilihat pada gambar 4.13 dan Tabel 4.4.



Gambar 4.13 Hasil Uji EDX Membran A3, B1, B2, dan B3

Tabel 4.4 Hasil Uji EDX Membran A3, B1, B2, dan B3

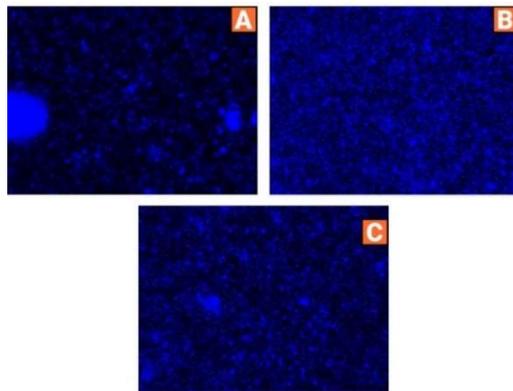
Elemen	Membran	Persentase Massa (%)	Persentase Atom (%)
C	A3	46,39	58,02
	B1	44,57	56,92
	B2	44,49	57,42
	B3	45,01	58,46
F	A3	51,23	40,51
	B1	52,50	42,39
	B2	50,80	41,46
	B3	48,81	40,07
Zn	A3	0	0
	B1	2,44	0,57
	B2	4,21	1,00
	B3	6,18	1,47
Lain-Lain (Cl, Ca, Cu, Zr)	A3	0,05 (Cl), 0,05 (Ca), 0,20 (Cu), 0,73 (Zr)	0,02 (Cl), 0,02 (Ca), 0,05 (Cu), 0,12 (Zr)
	B1	0,49 (Cu)	0,12 (Cu)
	B2	0,50 (Cu)	0,12 (Cu)
	B3	0	0

Berdasarkan hasil EDX membran pada Gambar 4.13 dan Tabel 4.4 dapat diamati bahwa kandungan pada membran didominasi oleh unsur karbon dan fluor. Persentase massa unsur karbon sekitar 44,49% hingga 46,39% dengan persentase jumlah atom sekitar 56,92% hingga 58,46%. Persentase massa unsur fluor diketahui sekitar 48,81% hingga 52,50% dengan persentase jumlah atom sekitar 40,07% hingga 42,39%. Unsur Zn tidak terlihat pada membran A3 yang merupakan membran tanpa penambahan ZnO. Sedangkan pada membran B1, B2, dan B3 persentase massa dan persentase jumlah atom meningkat seiring dengan

penambahan konsentrasi ZnO. Hasil EDX ini juga mekonfirmasi keberadaan unsur Zn yang tidak terlihat pada spektra FT-IR. Keberadaan zat pengotor juga teramati pada hasil EDX. Zat pengotor yang terdapat pada membran antara lain Cl, Ca, Cu, Zr dengan masing masing persentase massa dan persentasi jumlah atom di bawah 1%.

d. Analisis Persebaran partikel Zn pada Membran

Persebaran partikel Zn pada membran PVDF-ZnO ditunjukkan oleh citra SEM. Gambar 4.8 membran PVDF-ZnO 7,5% memiliki persebaran ZnO yang merata. Sementara itu, persebaran partikel Zn pada membran PVDF-ZnO 5% dan PVDF-ZnO 10% kurang merata yang menyebabkan campuran komposisi bahan membran kurang homogen. Perbandingan Persebaran Partikel Zn pada Membran B1, B2; dan B3 dapat dilihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Perbandingan Persebaran Partikel Zn pada Membran (A) B1 (B) B2; dan (C) B3

Menurut Adnyana et al., (2022) pencampuran antara bahan dengan reagen atau pereaksi haruslah sempurna dengan membutuhkan waktu, kecepatan putaran, dan suhu pengadukan yang tepat guna membuahkan hasil dalam pembuatan suatu larutan. Selain pengaturan waktu dan kecepatan, diperlukan juga pengaturan suhu dalam pencampuran larutan agar tetap konstan. Pada penelitian ini, kecepatan putaran diatur sebesar 300 rpm, waktu diatur selama 24 jam, dan pengaturan suhu dimatikan. Suhu ruangan merupakan parameter yang dapat berubah pada penelitian ini sehingga menyebabkan suhu pencampuran berubah.

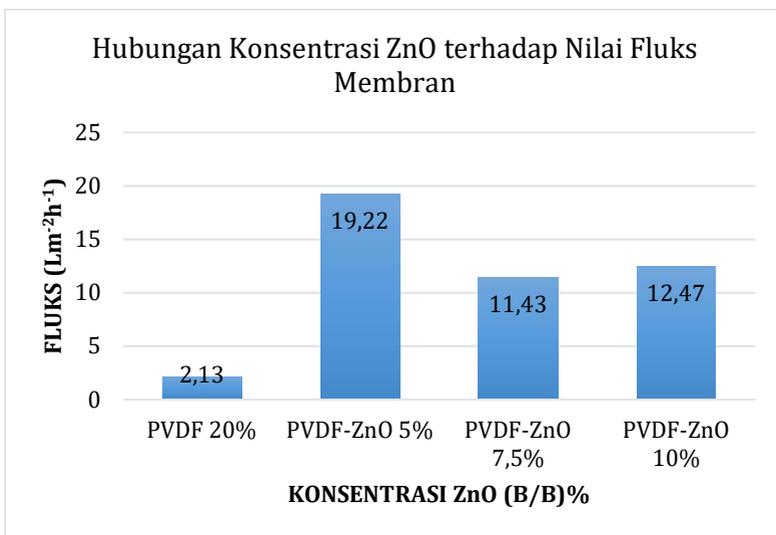
C. Analisa Fluks dan Rejeksi Membran

Pengukuran nilai fluks dan rejeksi dilakukan dengan alat filtrasi *cross-flow*. Menurut Juansah et al., (2010) peralatan filtrasi membran terdapat dalam berbagai macam bentuk, konfigurasi, dan ukuran. Setiap jenis mempunyai kelebihan dan kekurangan tersendiri. Sifat larutan dan komponen yang akan diproses mempengaruhi pemilihan jenis peralatan filtrasi membran. Proses filtrasi membran juga memiliki kelemahan, salah satunya adalah terjadinya *fouling*. *Fouling* adalah proses terakumulasinya komponen secara permanen akibat filtrasi. *Fouling* terjadi dikarenakan interaksi yang spesifik secara fisik dan kimia antara berbagai padatan terlarut dalam membran. Pada metode *dead end filtration*, besar kemungkinan terjadi

fouling karena aliran larutan umpan secara vertikal. Namun, *fouling* dapat dikurangi menggunakan metode *cross flow filtration* atau aliran secara horizontal.

1. Fluks

Fluks menjadi ukuran kecepatan suatu spesi melewati membran persatuan luas dan waktu dengan gradien tekanan sebagai gaya pendorong. Fluks dapat dipengaruhi dengan beberapa faktor seperti interaksi antara membran dan larutan umpan, jumlah dan ukuran pori, viskositas larutan dan tekanan dari luar (Azzahra, 2021). Nilai fluks dihitung menggunakan Persamaan 3.1.



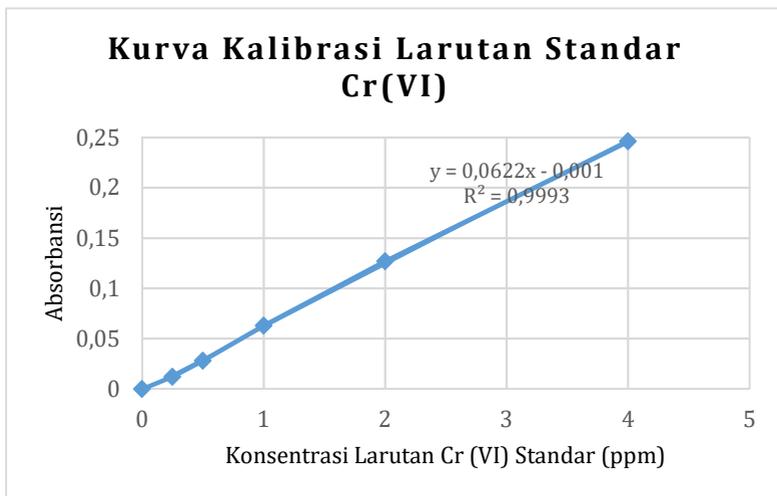
Gambar 4.15 Hubungan Konsentrasi ZnO terhadap Nilai Fluks Membran

Data pengamatan menunjukkan nilai flux terendah adalah membran PVDF 20% dengan nilai $2,13 \text{ Lm}^{-2}\text{h}^{-1}$, sementara itu nilai tertinggi dimiliki oleh membran $19,22 \text{ Lm}^{-2}\text{h}^{-1}$. Menurut Hidayah et al., (2022) Membran yang ditambahkan dengan ZnO memiliki nilai fluks yang lebih tinggi daripada membran tanpa ZnO. Efek ini berkorelasi dengan peningkatan porositas yang disebabkan adanya ZnO. Menurut Fathanah et al., (2021) penurunan fluks air terjadi bukan karena disebabkan oleh adanya pengotor (*foulant*), tetapi kemungkinan adanya kompaksi tekanan sehingga menutup atau memperkecil sebagian pori-pori membran. Hal tersebut dapat terjadi karena struktur pori membran tidak seragam, sehingga arah aliran menyebabkan perubahan pada struktur pori menjadi morfologi tertentu dan fluks menjadi lebih konstan. Kemudian menurut Ariadi Lusiana et al., (2019) hidrofilitas berperan sebagai parameter penting karena memiliki pengaruh dalam nilai fluks dan tingkat permeabilitas membran ketika proses transpor berlangsung.

2. Rejeksi

Rejeksi menjadi tolak ukur kemampuan membran menahan spesi. Rejeksi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti interaksi antara membran, besarnya ukuran partikel yang akan melewatinya, ukuran pori, dan larutan umpan (Azzahra, 2021).

Hasil rejeksi ditentukan menggunakan instrumen AAS. Pengujian diawali dengan pengukuran kurva kalibrasi standar larutan Cr (VI). Kurva standar merupakan kurva yang digunakan untuk menyatakan hubungan berkas radiasi yang diabsorpsi (Kuddus, 2019). Konsentrasi larutan Cr (VI) standar yang digunakan adalah 0 ppm; 0,25 ppm; 0,5 ppm; 1 ppm; 2 ppm; dan 4 ppm. Larutan standar tersebut kemudian diukur menggunakan instrumen AAS. Hubungan nilai konsentrasi larutan standar Cr (VI) dengan absorbansi kemudian dibuat kurva sehingga didapat persamaan kurva regresi dan R^2 . Kurva kalibrasi larutan standar Cr (VI) dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Kurva kalibrasi larutan standar Cr (VI)

Menurut Pirdaus et al., (2018) Metode US.EPA 200.7 mensyaratkan nilai keberterimaan metode yaitu nilai R^2 lebih

besar dari 0,995. Hasil pengukuran R^2 pada penelitian ini adalah 0,9993 yang menunjukkan bahwa nilai tersebut menyatakan instrumen AAS dalam kondisi baik. Nilai persamaan regresi yang diperoleh adalah $y = 0,0622x - 0,001$.

Pengujian AAS kemudian dilakukan pada larutan kromium heksavalen sebelum dan setelah dilakukan filtrasi sehingga didapatkan nilai absorbansinya. Data nilai absorbansi larutan Cr(VI) sebelum dan setelah dilakukan filtrasi dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data Absorbansi larutan Cr(VI) sebelum dan setelah dilakukan filtrasi

Larutan Cr(VI)		Absorbansi
Sebelum filtrasi		0,63
Setelah filtrasi menggunakan membran:	A3	0,48
	B1	0,66
	B2	0,58
	B3	0,62

Data absorbansi yang telah diperoleh dapat dihitung besar konsentrasi pada masing-masing larutan menggunakan persamaan regresi. Setelah diketahui konsentrasi larutan Cr(VI) sebelum dan setelah dilakukan filtrasi maka dapat diketahui nilai rejeksinya menggunakan Persamaan 3.2. Nilai koefisien rejeksi membran dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Nilai Koefisien Rejeksi Membran

Membran Filtrasi	Konsentrasi Larutan Cr(VI)		Rejeksi (%)
	Awal (ppm)	Akhir (ppm)	
PVDF 20%	10,14	7,73	23,76
PVDF-ZnO 5%		10,63	-4,83
PVDF-ZnO 7.5%		9,34	7,89
PVDF-ZnO 10%		9,98	1,57

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa membran PVDF 20% memiliki nilai rejeksi 23,76%. Nilai tersebut lebih tinggi dari pada membran PVDF yang ditambah dengan ZnO. Nilai rejeksi yang dimiliki membran PVDF 20% berbanding terbalik dengan nilai fluksnya. Nilai fluks membran PVDF 20% memiliki nilai yang rendah dibanding dengan membran PVDF yang ditambahkan ZnO. Hal tersebut merupakan ciri-ciri membran yang mengalami *fouling*. Menurut Shalahuddin & Utara, (2019) penumpukan material atau partikel di permukaan membran yang disebut *fouling* umumnya muncul pada pengaplikasian membran. *Fouling* menyebabkan laju perpindahan massa atau volume melalui membran (*flux*) menurun, sehingga akan mempengaruhi penurunan akumulasi produk (*permeate*). Walaupun dengan terjadinya *fouling* dapat meningkatkan pemisahan (*rejection*) pada membran, namun menurunnya *fluks* merupakan suatu kerugian dalam sebuah proses pemisahan menggunakan membran.

Membran PVDF dengan penambahan ZnO terbaik terjadi pada konsentrasi ZnO 7,5% dengan nilai 7,89%, sedangkan Membran PVDF-ZnO 10% menunjukkan rejeksi 1,57%; dan Membran PVDF-ZnO 5% dengan rejeksi -4,83%. Hal ini dapat disebabkan karena partikel ZnO pada membran PVDF-ZnO 7,5% tersebar merata, sehingga ukuran porinya relatif kecil dan seragam. Akibatnya, membran partikel yang tertahan pada permukaan membran lebih banyak.

Membran ZnO 5% yang memiliki ukuran pori yang lebih besar dan persebaran partikel ZnO yang tidak merata. Ukuran pori yang besar menyebabkan partikel yang tertahan pada permukaan membran lebih sedikit. Sedangkan persebaran partikel ZnO yang tidak merata pada seluruh permukaan membran menyebabkan sifat hidrofilitasnya juga tidak tersebar merata. Akibatnya beberapa bagian membran masih bersifat hidrofobik dan justru sulit melewatkan akuades melalui membran. Hal ini terjadi pula pada membran PVDF-ZnO 10% yang memiliki bentuk pori tidak teratur dan persebaran partikel ZnO yang tidak merata. Hal ini yang dapat menyebabkan nilai %rejeksi pada membran PVDF-ZnO 10% lebih kecil.

Nilai %rejeksi membran dapat bergantung pada konsentrasi umpan yang akan melewati membran. Penelitian yang dilakukan oleh Wicaksono & Kusumawati, (2019) menunjukkan bahwa konsentrasi umpan dapat

memengaruhi nilai rejeksi pada membran. Hal tersebut ditunjukkan pada hasil penelitiannya di mana selektivitas membran PVDF pada filtrasi asam humat yang mengandung Al^{3+} nilainya akan terjadi peningkatan seiring dengan peningkatan konsentrasi Al^{3+} . Larutan asam humat dengan konsentrasi Al^{3+} 0,03 M memiliki koefisien rejeksi sebesar 9,3%, Al^{3+} 0,06 M memiliki koefisien rejeksi sebesar 21,1%, dan Al^{3+} 0,09 M memiliki koefisien rejeksi sebesar 79,5%.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Membran *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF) yang terbaik adalah pada konsentrasi 20% (b/v). Konsentrasi ini memiliki nilai kuat tarik tertinggi, yaitu 7,55 MPa.
2. Kinerja membran dinyatakan dalam bentuk fluks dan rejeksinya. Nilai fluks tertinggi dimiliki oleh membran B1 dengan nilai 19,22 Lm⁻²h⁻¹. Sedangkan nilai rejeksi tertinggi dimiliki oleh membran A3 dengan nilai 23,76%.
3. Karakteristik membran dinyatakan dalam uji kuat tarik, uji sudut kontak, uji FTIR, dan uji SEM-EDX. Hasil uji kuat tarik menunjukkan membran A3 yang merupakan membran tanpa penambahan ZnO memiliki nilai kuat tarik terbesar, yaitu 7,55 MPa. Hasil uji sudut kontak menunjukkan bahwa penambahan ZnO pada membran PVDF dapat mengurangi sudut kontakannya, sehingga berdampak pada meningkatnya hidrofilisitas membran. Hasil uji FTIR tidak menunjukkan adanya perbedaan gugus fungsi membran A3 dan membran B1, B2, dan B3. Hasil analisis SEM dapat digunakan untuk mengukur diameter pori, porositas, komposisi unsur, dan persebaran partikel ZnO

pada membran. Membran A3, B1, B2, dan B3 termasuk dalam membran mikrofiltrasi dengan ukuran pori berkisar antara 0,31 hingga 0,18 μm . Penambahan ZnO pada membran menyebabkan pori-pori membran semakin kecil. Nilai %porositas membran tertinggi dimiliki oleh membran B1 dengan nilai 11,222%. Penambahan ZnO pada membran menyebabkan nilai %porositas membran meningkat. Analisis komponen unsur pada membran menunjukkan bahwa unsur karbon (C) dan fluor (F) merupakan komponen utama penyusun membran. Persentase massa unsur karbon sekitar 44,49% hingga 46,39% dengan persentase jumlah atom sekitar 56,92% hingga 58,46%. Persentase massa unsur fluor diketahui sekitar 48,81% hingga 52,50% dengan persentase jumlah atom sekitar 40,07% hingga 42,39%. Keberadaan Zn pada membran yang sebetulnya tidak terdeteksi pada FTIR juga telah dikonfirmasi keberadaannya. Komponen unsur Zn pada membran disebabkan oleh penambahan ZnO pada membran. Unsur pengotor membran juga terdeteksi pada hasil EDX. Unsur pengotor pada membran antara lain Cl, Ca, Cu, Zr dengan masing masing persentase massa dan persentasi jumlah atom di bawah 1%. Hasil analisis persebaran Zn menunjukkan membran B2 memiliki persebaran partikel ZnO yang lebih merata dibanding membran B1 dan membran B3.

B. Saran

Penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan kinerja membran *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF)-ZnO dapat dilakukan dengan memperhatikan beberapa faktor berikut:

1. Memperhatikan suhu saat pengadukan komposisi membran, karena suhu merupakan faktor yang dapat memengaruhi homogenitas suatu campuran.
2. Menggunakan konsentrasi sampel larutan kromium heksavalen yang lebih tinggi misalnya 100 ppm, sehingga dapat melihat kinerja membran pada sampel yang memiliki konsentrasi tinggi.
3. Perlu dilakukan studi literatur lebih lanjut mengenai penyebab hasil rejeksi membran PVDF-ZnO 5% yang menghasilkan konsentrasi larutan permeat yang lebih tinggi daripada larutan umpan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, S. G. I., Mahardinata, A. M. I., Suhartono, & Dharmayati, I. C. (2022). Rancang Bangun Hot Plate Magnetic Stirrer Berbasis Mikrokontroler Atmega8. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputasi (ELKOM)*, 4(2), 1–3. <http://repository.umy.ac.id/handle/123456789/16001>
- Agustina, P., & Kusumawati, N. (2020). Pengaruh Komposisi Polimer Terhadap Permeabilitas Membran Polisulfon (PSf) (Effect of Polymer Composition on Polysulfone (PSf) Membrane Permeability). *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, 216–220.
- Alhoshan, M., Alam, J., Dass, L. A., & Al-Homaidi, N. (2013). Fabrication of polysulfone/ZnO membrane: Influence of ZnO nanoparticles on membrane characteristics. *Advances in Polymer Technology*, 32(4). <https://doi.org/10.1002/adv.21369>
- Alsahy, Q. F., Al-Ani, F. H., Al-Najar, A. E., & Jabuk, S. I. A. (2018). A study of the effect of embedding ZnO-NPs on PVC membrane performance use in actual hospital wastewater treatment by membrane bioreactor. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 130, 262–274. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2018.06.019>
- Alzahrani, S., Mohammad, A. W., Abdullah, P., & Jaafar, O. (2013). Potential tertiary treatment of produced water using highly hydrophilic nanofiltration and reverse osmosis membranes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(4), 1341–1349. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.10.002>
- Andika, B., Wahyuningsih, P., & Fajri, R. (2020). Penentuan Nilai BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah Di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 2(1), 14–22. <https://ejurnalunsam.id/index.php/JQ>
- Andina, K. (2016). Aplikasi Teknologi Membran untuk

- Pengolahan Air Terproduksi untuk Discharge dan Reuse. *Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung, June*, 0–13.
- Apriana Putri Husni, D., Abd Rahim, E., Soekarno Hatta Km, J., & Bumi Tadulako Tondo Palu, K. (2018). Pembuatan Membran Selulosa Asetat Dari Selulosa Pelepah Pohon Pisang. *Kovalen*, 4(1), 41–52.
- Ardehshiri, F., Salehi, S., Peyravi, M., Jahanshahi, M., Amiri, A., & Rad, A. S. (2018). PVDF membrane assisted by modified hydrophobic ZnO nanoparticle for membrane distillation. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 13(3). <https://doi.org/10.1002/apj.2196>
- Ariadi Lusiana, R., Pangestica Saputry, A., & Basid Adiwibawa Prasetya, N. (2019). Pengaruh Sulfonasi terhadap Karakteristik Fisiko-Kimia Membran Polisulfon. *Jurnal MIPA*, 42(1), 35–42. <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JM>
- Arini, D., Ulum, M. S., & Kasman, K. (2017). Pembuatan dan Pengujian Sifat Mekanik Plastik Biodegradable Berbasis Tepung Biji Durian. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 6(3), 276–283. <https://doi.org/10.22487/25411969.2017.v6.i3.9202>
- Arularasu, M. V., Harb, M., Vignesh, R., Rajendran, T. V., & Sundaram, R. (2020). PVDF/ZnO hybrid nanocomposite applied as a resistive humidity sensor. *Surfaces and Interfaces*, 21, 100780. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100780>
- Aryanti, P. T. P., Nugroho, F. A., Widiasta, I. N., Sutrisna, P. D., & Wenten, I. G. (2022). Preparation of highly selective PSf/ZnO/PEG400 tight ultrafiltration membrane for dyes removal. *Journal of Applied Polymer Science*, 139(33). <https://doi.org/10.1002/app.52779>
- Asmadi, A., S, E., & Oktiawan, W. (2018). Pengurangan Chrom (Cr) Dalam Limbah Cair Industri Kulit Pada Proses Tannery Menggunakan Senyawa Alkali Ca(OH)₂, NaOH Dan Nahco₃ (Studi Kasus Pt. Trimulyo Kencana Mas Semarang). *Jurnal Air Indonesia*, 5(1). <https://doi.org/10.29122/jai.v5i1.2431>

- Asrini, K., Sandi Adnyana, I. W., & Rai, I. N. (2017). Studi Analisis Kualitas Air Di Daerah Aliran Sungai Pakerisan Provinsi Bali. *ECOTROPHIC: Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, 11(2), 101. <https://doi.org/10.24843/ejes.2017.v11.i02.p01>
- Ayyaru, S., Dinh, T. T. L., & Ahn, Y. H. (2020). Enhanced antifouling performance of PVDF ultrafiltration membrane by blending zinc oxide with support of graphene oxide nanoparticle. *Chemosphere*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125068>
- Azzahra, A. (2021). *Pengaruh Nilai Fluks Dan Rejeksi Terhadap Membran Kitosan Yang Dimodifikasi Dengan Polietilen Glikol (Peg)*. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry. Banda Aceh
- Bizzi, C. A., Zanatta, R. C., Santos, D., Giacobe, K., Dallago, R. M., Mello, P. A., & Flores, E. M. M. (2020). Ultrasound-assisted extraction of chromium from residual tanned leather: An innovative strategy for the reuse of waste in tanning industry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 64, 104682. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104682>
- Byrne, F. P., Nussbaumer, C. M., Savin, E. J., Milescu, R. A., McElroy, C. R., Clark, J. H., van Vugt-Lussenburg, B. M. A., van der Burg, B., Meima, M. Y., Buist, H. E., Kroese, E. D., Hunt, A. J., & Farmer, T. J. (2020). A Family of Water-Immiscible, Dipolar Aprotic, Diamide Solvents from Succinic Acid. *ChemSusChem*, 13(12), 3212–3221. <https://doi.org/10.1002/cssc.202000462>
- Chao, Zhang, G. F., Liu, X. T., Qin, Y. X., Shao, L., Zhao, Y. P., & Chen, L. (2015). Study on the Adsorption Kinetics and Isotherms of Cr(VI) of PVDF/ATP Hybrid Membrane. *Applied Mechanics and Materials*, 713–715, 2889–2892. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.713-715.2889>
- Costa, M. Da. (2019). Studi Penurunan Kadar Logam Kromium (Cr) Dalam Limbah Buatan Elektroplating Menggunakan Metode Presipitasi dan Adsorpsi. *Tesis*. Departemen Teknik Lingkungan. Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan

- Kebumian. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 47-57.
- Dewi, S. H., & Ridwan. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Fe₃O₄ Magnetik untuk Adsorpsi Kromium Heksavalen. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 13(2), 136–140.
- Esnahati., H. S. dan S. (2016). Pengaruh Penambahan Nano-TiO₂ Sebagai Agen Anti- Bakterial Dalam Pembuatan Membran Selulosa Asetat-Kitosan Terhadap Biofouling Yang Disebabkan Oleh Bakteri Gram Negatif Dan Positif. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(4), 1–11.
- Etiana, R. (2017). Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Membran Rapat Asimetris Perivskit yang Disiapkan dengan Metode Infersi Fasa. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Fadhilla, R. (2022). Pembuatan dan Karakterisasi Minyak Biji Alpukat (*Persea Americana*) Sebagai Membran dengan Metode Inversi Fasa. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Ar – Raniry.
- Fahmey, M. S., El-Aassar, A. H. M., M.Abo-Elfadel, M., Orabi, A. S., & Das, R. (2019). Comparative performance evaluations of nanomaterials mixed polysulfone: A scale-up approach through vacuum enhanced direct contact membrane distillation for water desalination. *Desalination*, May, 111–116. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.08.020>
- Faizah, K. (2017). Estimasi Luasan Porositas Pada Citra Digital Fiberat Poly (Vynil Alcohol) Dengan *Software* Imagej 14.7v. *Jurnal Agroteknose*, 8(2), 27–35.
- Farahdiba, A. U. (2022). Pengolahan Air Limbah Penyamakan Kulit Dengan Modifikasi Teknik Aerasi. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 14(1), 12–21. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol14.iss1.art4>
- Fathanah, U., Lubis, M. R., Mahyuddin, Z., Muchtar, S., Yusuf, M., Rosnelly, C. M., Mulyati, S., Hazliani, R., Rahmanda, D., Kamaruzzaman, S., & Busthan, M. (2021). Sintesis, Karakterisasi dan Kinerja Membran Hidrofobik Menggunakan Polyvinyl Pyrrolidone (PVP) sebagai Aditif. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 17(2), 140.

- <https://doi.org/10.20961/alchemy.17.2.48435.140-150>
Fathanah, U., Machdar, I., Riza, M., Rahman, N. A., Lubis, M. R., Qibtiyah, M., & Jihannisa, R. (2019). Pembuatan dan Karakterisasi Membran Polyethersulfone (PES) -Kitosan Secara Blending Polimer. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 3(1), 62–66.
- Febriasari, A., Purnawan, I., Chalid, M., Ismojo, I., & Kartohardjono, S. (2020). A direct comparison between poly(vinylidene) flouride and polysulfone flat sheet membrane; characterization and mechanical strength. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 442(1), 0–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/442/1/012002>
- Fitradi, R. B. (2015). Preparasi dan Modifikasi Membran untuk Pengolahan Air. *Chemical Product, December*, 1–15.
- Haji, A. T. S., Sulianto, A. A., & Miranda, F. (2020). Uji Kemampuan Membran Komposit Kitosan-Selulosa Terhadap Penurunan Kadar Kromium Pada Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 7(1), 18–27. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2020.007.01.3>
- Hamdini, M., Diana, N. sari, Susanti, & Yuant, T. (2020). Aplikasi Imagej Dengan Variasi Metode Threshold. *Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat 2021*, 138–141.
- Hermanto, D., Mudasir, M., Siswanta, D., & Kuswandi, B. (2019). Synthesis of Alginate-Chitosan Polyelectrolyte Complex (PEC) Membrane and Its Physical-Mechanical Properties. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 22(1), 11–16. <https://doi.org/10.14710/jksa.22.1.11-16>
- Hidayah, M., Kusworo, T. D., & Susanto, H. (2021). Improvement of PES Nanocomposit Membrane Performance Through UV and ZNO Concentration for Refinery Waste Water Purification. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1053(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1053/1/012021>
- Hidayah, M., Kusworo, T. D., & Susanto, H. (2022). Improving

- the performance of polysulfone-nano zno membranes for water treatment in oil refinery with modified uv irradiation and polyvinyl alcohol. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 66(1), 43–53. <https://doi.org/10.3311/PPch.17029>
- Hong, J., & He, Y. (2014). Polyvinylidene fluoride ultrafiltration membrane blended with nano-ZnO particle for photocatalysis self-cleaning. *Desalination*, 332(1), 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.10.026>
- Humairo, F. Y. (2015). Preparasi Dan Karakterisasi Membran Serat Berongga PVDF/PEG400-TiO₂ Untuk Pemisahan Limbah Sintetik Air-Minyak. *Tesis*. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 1–136.
- Indriyani, V., Novianty, Y., & Mirwan, A. (2017). Pembuatan Membran Ultrafiltrasi Dari Polimer Selulosa Asetat Dengan Metode Inversi Fasa. *Konversi*, 6(1), 11. <https://doi.org/10.20527/k.v6i1.2994>
- Jannah, M. (2022). Pengaruh Penambahan Aseton Sebagai Pelarut Dalam Pembuatan Membran Dari Minyak Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*). *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
- Juansah, J., Dahlan, K., & Huriati, F. (2010). Peningkatan Mutu Sari Buah Nanas Dengan Memanfaatkan Sistem Filtrasi Aliran Dead-End Dari Membran Selulosa Asetat. *Makara Journal of Science*, 13(1), 94–100. <https://doi.org/10.7454/mss.v13i1.12266>
- Judistira. (2016). Aplikasi Proses-Proses Berbasis Membran dengan Gaya Dorong Tekanan dalam Pengolahan Air dan Limbah. *Journal of Teknik Kimia ITB*, May, 0–8.
- Kausar, A. (2019). Structure and Properties of Polyacrylonitrile/Polystyrene and Carbon Nanoparticle-Based Nanocomposite Foams. *Advances in Materials Science*, 19(1), 5–20. <https://doi.org/10.2478/adms-2019-0001>
- Kuddus, M. (2019). Perbandingan Metode Analisis Logam Berat Kromium dan Timbal Menggunakan Inductively

- Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP OES) dan Atomic Absorbtion Spectrometry (AAS). *Skripsi*. Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Kurniawati, S., Nurjazuli, & Raharjo, M. (2017). Risiko Kesehatan Lingkungan Pencemaran Logam Berat Kromium Heksavalen (Cr VI) pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) di Aliran Sungai Garang Kota Semarang. *Higiene*, 3(penelitian), 150–160.
- Li, N., Tian, Y., Zhang, J., Sun, Z., Zhao, J., Zhang, J., & Zuo, W. (2017). Precisely-controlled modification of PVDF membranes with 3D TiO₂/ZnO nanolayer: enhanced anti-fouling performance by changing hydrophilicity and photocatalysis under visible light irradiation. *Journal of Membrane Science*, 528, 359–368. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.01.048>
- Li, Y. (2017). *The Investigation of ZnO / Poly (vinylidene) Fluoride Nanocomposites for Orthopedic Applications with Improved Mechanical , Piezoelectric , and Antimicrobial Properties A Thesis Presented By Yuan Li to The Department of Chemical Engineering In partial f. 73*. <https://pdfs.semanticscholar.org/5fd0/d27ea74d9c49383fd8b1c51053a75cdc6224.pdf>
- Lusiana, R. A., Sangkota, V. D. A., & Santosa, S. J. (2018). Chitosan succinate/PVA-PEG Membrane: Preparation, Characterization and Permeation Ability Test on Creatinine. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 21(2), 80–84. <https://doi.org/10.14710/jksa.21.2.80-84>
- Ma'mun, S., Theresa, M., & Alfirmiona, S. (2016). Penggunaan Membran Kitosan Untuk Menurunkan Kadar Logam Krom Pada Limbah Industri Penyamakan Kulit. *Teknoin*, 22(5), 367–371. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol22.iss5.art6>
- Mardiatin, P., & Purwoto, S. (2014). Penurunan Kandungan Bakteri Escherichia Coli Dan Timbal Pada Air Bersih Menggunakan Membran Reverse Osmosis. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 12(1), 65–70.

- <https://doi.org/10.36456/waktu.v12i1.840>
- Mardiyah, U. (2022). Karakterisasi Mikrostruktur dan Komposisi Unsur Gelatin Ikan Kurisi (*Nemipterus Bathybius*) Menggunakan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (Sem-Edx). *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 6(2). <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2022.006.02.3>
- Marshall, J. E., Zhenova, A., Roberts, S., Petchey, T., Zhu, P., Dancer, C. E. J., McElroy, C. R., Kendrick, E., & Goodship, V. (2021). On the solubility and stability of polyvinylidene fluoride. *Polymers*, 13(9), 1–31. <https://doi.org/10.3390/polym13091354>
- Martini, N., Williams, P. A. M., & Ferrer, E. G. (2022). N,N-dimethylacetamide. A versatile solvent for pharmacological applications: antithyroid activity? *Afinidad*, 79(595), 282–287.
- Maulida, L. N., & Primary Putri, N. (2020). Karakteristik Komposit Pani/Zno Sebagai Bahan Dasar Sensor Gas 1). *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 11, 38–43.
- Mod, N., Anuar, F. H., & Othaman, R. (2016). Penyediaan dan pencirian membran komposit getah asli terepoksida (ENR) / poli (vinilida fluorida) (PVDF) (ENR/PVDF). *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 20(5), 1090–1094. <https://doi.org/10.17576/mjas-2016-2005-14>
- Mohammad, A. W., Teow, Y. H., Ang, W. L., Chung, Y. T., Oatley-Radcliffe, D. L., & Hilal, N. (2015). Nanofiltration membranes review: Recent advances and future prospects. *Desalination*, 356, 226–254. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.10.043>
- Mustabsyirah, M., Shinta, A., Lubis, M. R., Sofyana, S., Mukramah, M., Mukhriza, M., Rinaldi, W., & Fathanah, U. (2022). Peningkatan Kinerja Membran Polietersulfon (PES) dengan Modifikasi Menggunakan Aditif Hidrofilik. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(1), 2656–2662. <https://doi.org/10.32672/jse.v7i1.3828>
- Muthia, E. (2017). Proses Pemisahan Menggunakan Teknologi Membran. In *Journal of Chemical Information and*

Modeling (Vol. 53, Issue 9).

- Notodarmodjo, S., Gustiani, S., Radiman, C., & Syafila, M. (2016). Pengaruh Fouling Pada Permukaan Membran Serat Nano Selulosa Bakterial Dengan Nanopartikel Ag dan TiO₂. *Arena Tekstil*, 31(1), 35–42. <https://doi.org/10.31266/at.v31i1.1445>
- Nurratri, A. M., Khabibi, Abdul, H., Lusiana, R., & Nuryanto, R. (2020). Pembuatan Dan Karakterisasi Membran Paduan Kitosan- Polietilen glikol6000. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 14(9), 5–24.
- Pascariu, P., Cojocar, C., Samoila, P., Olaru, N., Bele, A., & Airinei, A. (2021). Novel electrospun membranes based on PVDF fibers embedding lanthanide doped ZnO for adsorption and photocatalytic degradation of dye organic pollutants. *Materials Research Bulletin*, 141(April), 111376. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2021.111376>
- Pirdaus, P., rahman, M., Rinawati, R., Gede Ratna juliasih, N. L., Pratama, D., & Kiswandono, A. A. (2018). Verifikasi Metode Analisis Logam Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Co, Fe, Mn dan Ba pada Air Menggunakan Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES). *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 3(01), 1–10.
- Purnamasari, L., & Oktaviani, B. D. W. I. (2022). Karakterisasi Membran PES / CNT dengan Impregnasi TiO₂ dan ZnO. *Prosiding Diseminasi FTI Genap 2021/2022*. Bandung.
- Putra, D. I. (2017). Blending Polymer Selulosa Asetat/Polisulfon Terhadap Ketahanan Fouling Protein. *Skripsi*. Jurusan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Jember.
- Putri, L. N., Alhakim, R. R., Ichwan, A. R. Al, & Dyartanti, E. R. (2020). Review : Separator Baterai Ion Litium Dengan Penambahan Filler Dalam Membran PVDF/Selulosa. *Proceedings National Conference PKM Center*, 1(1), 169–176.
- Quraish Shihab, K. M. (2011). Pendidikan Lingkungan Hidup Dan Implementasinya Dalam Pendidikan Islam (Analisis

Surat Al-A'raf Ayat 56-58 Tafsir Al Misbah.

- Rahmadi, D., Mulyati, S., Rosnelly, C. M., Ambarita. (2021). Modifikasi Membran Ultrafiltrasi PVDF dengan Penambahan Aditif Dopa/Pei Untuk Aplikasi Penyisihan Asam Humus Dalam Air. *15(2)*, 157–167.
- Rakhmawaty Eddy, D., Ernawati, E. E., Noviyanti, R., & Lubis, R. A. (2016). Pembuatan Fotokatalis Seng Oksida Termodifikasi Silika Sekam Padi. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, *06(02)*, 18–23.
- Redjeki, S. (2011). *Proses Desalinasi Dengan Membran*. UPN "Veteran" Jawa Timur Press. Surabaya. ISBN 978-602-9372-09-0.
- Ren, Y., Ma, Y., Min, G., Zhang, W., Lv, L., & Zhang, W. (2021). A mini review of multifunctional ultrafiltration membranes for wastewater decontamination: Additional functions of adsorption and catalytic oxidation. *Science of the Total Environment*, *762*.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143083>
- Ronanda, H. A. T., & Marsono, B. D. (2021). Kajian Penerapan Membran Mikrofiltrasi Terendam pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) Siwalanpanji PDAM Sidoarjo. *Jurnal Teknik ITS*, *10(2)*.
- Rosyidah, M. (2018). Analisis Pencemaran Air Sungai Musi Akibat Aktivitas Industri (Studi Kasus Kecamatan Kertapati Palembang). *Jurnal Online Universitas PGRI Palembang*, *3(1)*, 21–32.
- Rusli, A., Metusalach, M., & Tahir, M. M. (2017). Characterization of Carrageenan Edible films Plasticized with Glycerol. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, *20(2)*, 219.
<https://doi.org/10.17844/jphpi.v20i2.17499>
- Sathya, U., Nithya, M., & Keerthi. (2020). Fabrication and characterisation of fine-tuned Polyetherimide (PEI)/WO₃ composite ultrafiltration membranes for antifouling studies. *Chemical Physics Letters*, *744*, 137201.
<https://doi.org/10.1016/j.cplett.2020.137201>
- Shalahuddin, I., & Utara, C. (2019). Mekanisme Fouling pada

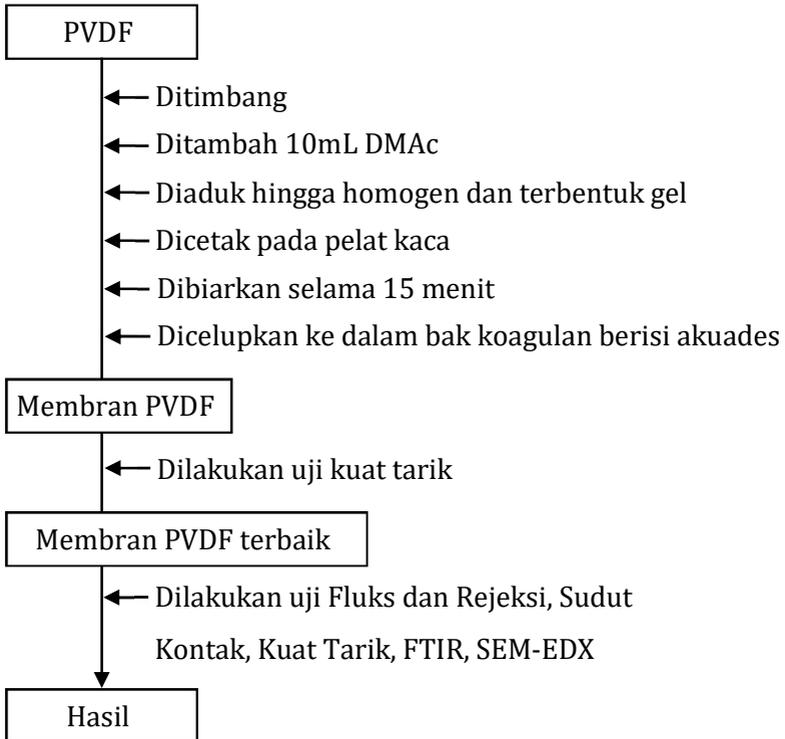
- Membran Mikrofiltrasi Mode Aliran Searah.
<https://doi.org/10.22146/jrekpros.40458>
- Shen, L., Huang, Z., Liu, Y., Li, R., Xu, Y., Jakaj, G., & Lin, H. (2020). Polymeric Membranes Incorporated With ZnO Nanoparticles for Membrane Fouling Mitigation: A Brief Review. *Frontiers in Chemistry*, 8(April), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00224>
- Sjahfirdi, L., Aldi, N., Maheshwari, H., & Astuti, P. (2015). Aplikasi Fourier Transform Infrared (Ftir) dan Pengamatan Pembengkakan Genital pada Spesies Primata, Lutung Jawa (*Trachypithecus Auratus*) untuk Mendeteksi Masa Subur. *Jurnal Kedokteran Hewan - Indonesian Journal of Veterinary Sciences*, 9(2). <https://doi.org/10.21157/j.ked.hewan.v9i2.2837>
- Sofyana, Aprilia, S., & Assaki, M. (2020). Karakteristik Membran Selulosa Triasetat yang Dipreparasi Secara Inversi Fasa Presipitasi Imersi. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan (JIRL)*, 1(1), 1–5.
- Suhaim, N. S., Kasim, N., Mahmoudi, E., Shamsudin, I. J., Mohammad, A. W., Zuki, F. M., & Jamari, N. L. A. (2022). Rejection Mechanism of Ionic Solute Removal by Nanofiltration Membranes: An Overview. *Nanomaterials*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/nano12030437>
- Suhartono, J., Putra, M. T. R., D, A. N., Pertiwi, D. S., & Noersalim, C. (2017). Penyisihan Logam Fe Menggunakan Membran Polyvinylidene Fluoride / Carbon Nanotube (PVDF / CNT). *Jurnal Itenas*, 27–34.
- Sulistyowati, R. Z., & Yanti, I. (2021). Determination of Cr (VI) and SO 4²⁻ Using UV-Vis Spectrophotometry in River Water Samples at the Environment Office of Semarang City Penentuan Cr (VI) and SO 4²⁻ Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis dalam Sampel Air Sungai di Dinas Lingkungan Hidup Kot. *IJCR-Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(2), 51–58.
- Suryandari, E. T. (2020). Sintesis Membran Komposit PVDF-Zeolit untuk Penghilangan Metilen Biru. *Al-Kimiya*, 6(2), 58–66. <https://doi.org/10.15575/ak.v6i2.6491>

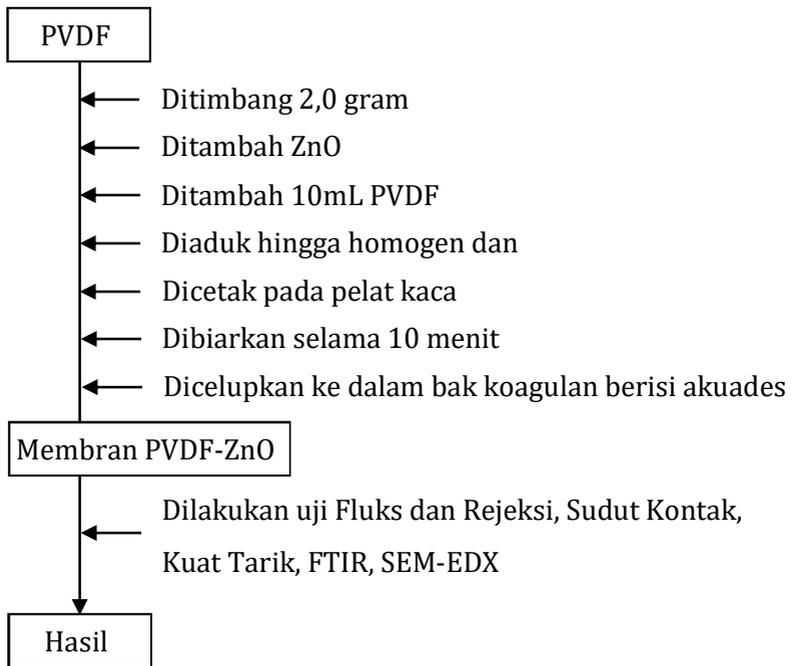
- Syahara, M. A. (2016). *Pengukuran Sudut Kontak Untuk Mengetahui Polaritas Cairan Sebagai Bahan Modul Praktikum Tegangan Permukaan*. 66.
- Tan, K. S., Gan, W. C., Velayutham, T. S., & Majid, W. H. A. (2014). Pyroelectricity enhancement of PVDF nanocomposite thin films doped with ZnO nanoparticles. *Smart Materials and Structures*, 23(12). <https://doi.org/10.1088/0964-1726/23/12/125006>
- Wati, E. A. F., & Al-Ma'mun, H. (2022). Etika Menjaga Lingkungan Hidup Dalam Perspektif Ibnu Khaldun: Analisis Tafsir Maqasidi Qs. Al-A'raf Ayat 56. *Kaca (Karunia Cahaya Allah): Jurnal Dialogis Ilmu Ushuluddin*, 12(2), 115–131.
- Wenten, I. G. (2016). Teknologi Membran: Prospek dan Tantangannya Di Indonesia. *Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung*, 1-54
- Wicaksono, A. H., & Kusumawati, N. (2019). Pengaruh Ion Al³⁺ dalam Larutan Asam Humat terhadap Permeabilitas dan Selektivitas Membran. *Prosiding Seminar Nasional Kimia 2019*, 115–121.
- Widayanti, N. (2013). Karakterisasi Membran Selulosa Asetat Dengan Variasi Komposisi Pelarut Aseton dan Asam Format. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas. Universitas Jember.
- Winata, N. A. (2016). Teknologi Membran untuk Purifikasi Air. *Jurnal Teknik Kimia ITB*, 1-9. <https://www.researchgate.net/publication/301694675>
- Xu, X., Guo, H., Wang, X., Zhang, M., Wang, Z., & Yang, B. (2019). Physical properties and anti-aging characteristics of asphalt modified with nano-zinc oxide powder. *Construction and Building Materials*, 224, 732–742. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.097>
- Yuni, U., Istirokhatun, T., & Susanto, H. (2015). Pengaruh Penambahan Nano-Zno dan Nano-Al₂O₃ Sebagai Agen Anti Bakteri Dalam Pembuatan Membran Selulosa Asetat-Kitosan Terhadap Biofouling Yang Disebabkan Oleh Bakteri Gram Negatif. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(4).

- Zhang, X., Wang, Y., Liu, Y., Xu, J., Han, Y., & Xu, X. (2014). Preparation, performances of PVDF/ZnO hybrid membranes and their applications in the removal of copper ions. *Applied Surface Science*, 316(1), 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.08.004>
- Zulfi, F., Dahlan, K., & Sugita, P. (2014). Karakteristik Fluks Membran Dalam Proses Filtrasi Limbah Cair Industri Pelapisan Logam. *Jurnal Biofisika*, 10(11), 19–29.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1 Diagram Alir Pembuatan Membran PVDF



Lampiran 2 Diagram Alir Pembuatan Membran PVDF-ZnO

Lampiran 3 Perhitungan Preparasi Larutan

1. Preparasi 1 liter Larutan Kromium Heksavalen 100 ppm

$$BA \text{ Cr (VI)} = 51,996 \text{ g/mol}$$

$$BM \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 294,19 \text{ g/mol}$$

$$\text{Massa Cr (VI)} = \frac{100 \text{ mg}}{1 \text{ L}} \times 1 \text{ L} = 100 \text{ mg}$$

Sehingga $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ yang dibutuhkan adalah :

$$\text{Massa K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = \frac{BM \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7}{BA \text{ Cr(VI)}} \times \text{Massa Cr(VI)}$$

$$\text{Massa K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = \frac{294,19 \text{ g/mol}}{51,996 \text{ g/mol}} \times 100 \text{ mg}$$

$$\text{Massa K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 282,89 \text{ mg} \approx 0,2829 \text{ g}$$

2. Preparasi 500 mL larutan Kromium Heksavalen 10 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$10 \text{ ppm} \cdot 500 \text{ mL} = 100 \text{ ppm} \cdot V_2$$

$$V_2 = \frac{10 \text{ ppm} \cdot 500 \text{ mL}}{100 \text{ ppm}} = 50 \text{ mL}$$

Lampiran 4 Perhitungan *Modulus Young*

Modulus Young dihitung menggunakan persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{e}$$

Dimana

E = *Modulus young*

σ = tegangan (kuat tarik)

e = Regangan (elongasi)

1. *Modulus Young* membran PVDF

a. Membran A1

$$E = \frac{4,91 \text{ MPa}}{0,13}$$

$$E = 37,77 \text{ MPa}$$

b. Membran A2

$$E = \frac{3,58 \text{ MPa}}{0,4}$$

$$E = 8,95 \text{ MPa}$$

c. Membran A3

$$E = \frac{7,55 \text{ MPa}}{1,205}$$

$$E = 6,27 \text{ MPa}$$

d. Membran A4

$$E = \frac{6,27 \text{ MPa}}{0,033}$$

$$E = 190 \text{ MPa}$$

e. Membran A5

$$E = \frac{6,51 \text{ MPa}}{0,033}$$

$$E = 197,27 \text{ MPa}$$

2. *Modulus Young* membran PVDF-ZnO

a. Membran B1

$$E = \frac{2,69 \text{ MPa}}{0,55}$$

$$E = 4,89 \text{ MPa}$$

b. Membran B2

$$E = \frac{3,88 \text{ MPa}}{0,655}$$

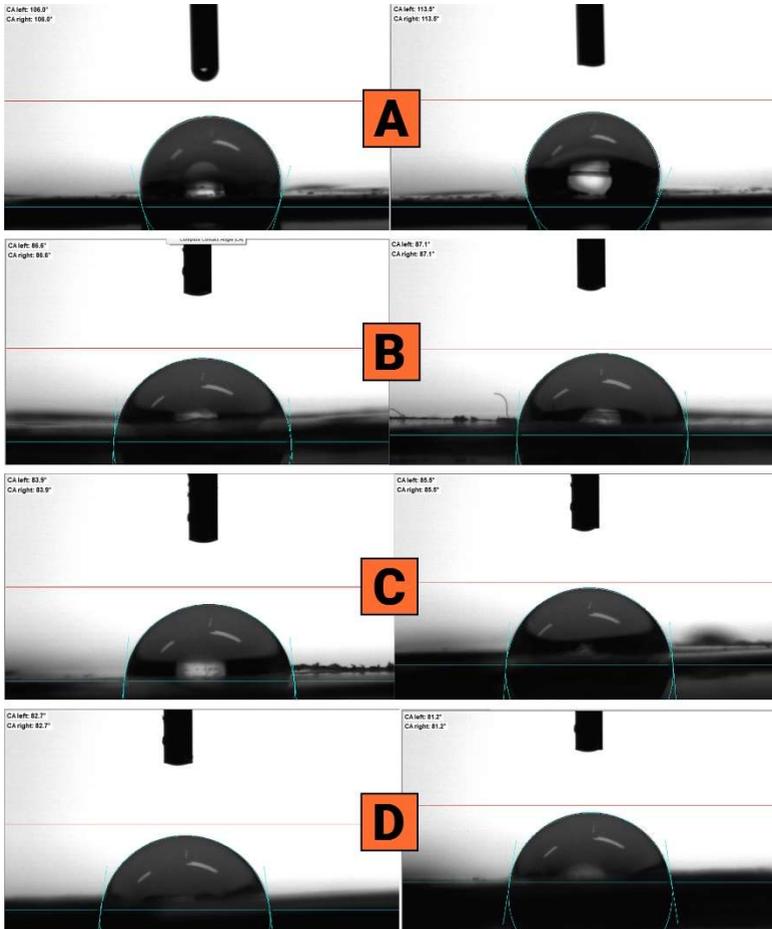
$$E = 5,92 \text{ MPa}$$

c. Membran B1

$$E = \frac{2,66 \text{ MPa}}{0,248}$$

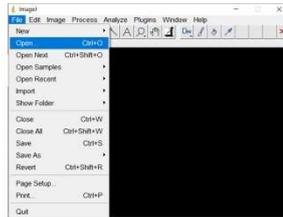
$$E = 10,72 \text{ MPa}$$

Lampiran 5 Gambar Hasil Uji Sudut Kontak Membran

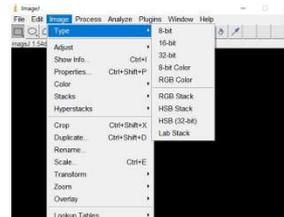


Gambar Uji Sudut Kontak Membran (A) A3, (B) B1, (C) B2
(D) B3

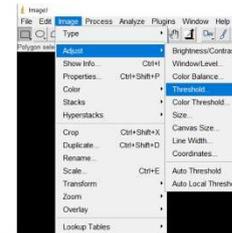
Lampiran 6 Penggunaan Aplikasi ImageJ untuk Mengukur Porositas Membran



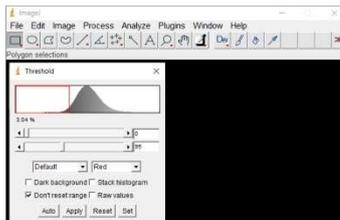
1 Buka gambar yang akan diproses



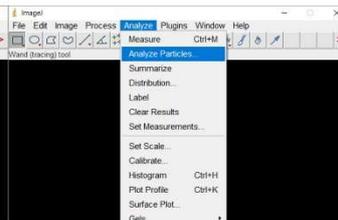
2 Pastikan format gambar sudah 8-bit



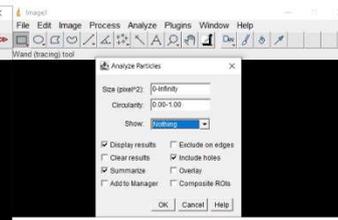
3 Pilih menu "Threshold" untuk memulai *Thresholding*



4 Sesuaikan, agar tanda merah menutupi semua area pori membran



5 Pilih menu "Analyze Particles" untuk memulai proses pengukuran porositas



6 Sesuaikan pengaturan, kemudian tekan "OK" untuk memulai menjalankan program. Nilai porositas akan muncul sebagai %Area

Lampiran 7 Perhitungan Nilai Fluks Membran

$$J_v = \frac{V}{A \cdot t}$$

Diketahui:

r membran = 3,5 cm atau $3,5 \times 10^{-2}$ m

t = 0,5 h

Volume Permeat:

Membran	PVDF 20%	PVDF- ZnO 5%	PVDF- ZnO 7,5%	PVDF- ZnO 10%
Volume Permeat (L)	$4,1 \times 10^{-3}$	37×10^{-3}	22×10^{-3}	24×10^{-3}

Menghitung Nilai A (Luas permukaan membran)

$$A = \pi r^2$$

$$A = \frac{22}{7} \cdot (3,5 \times 10^{-2} \text{ m})^2$$

$$A = 38,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Menghitung Nilai Fluks

1. Membran PVDF 20%

$$J_v = \frac{4,1 \times 10^{-3} \text{ L}}{38,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 0,5 \text{ h}}$$

$$J_v = 2,13 \text{ Lm}^{-2}\text{h}^{-1}$$

2. Membran PVDF-ZnO 5%

$$J_v = \frac{37 \times 10^{-3} L}{38,5 \times 10^{-4} m^2 \cdot 0,5 h}$$

$$J_v = 19,22 Lm^{-2}h^{-1}$$

3. Membran PVDF-ZnO 7,5%

$$J_v = \frac{22 \times 10^{-3} L}{38,5 \times 10^{-4} m^2 \cdot 0,5 h}$$

$$J_v = 11,43 Lm^{-2}h^{-1}$$

4. Membran PVDF-ZnO 10%

$$J_v = \frac{24 \times 10^{-3} L}{38,5 \times 10^{-4} m^2 \cdot 5 \times 10^{-1} h}$$

$$J_v = 12,47 Lm^{-2}h^{-1}$$

Lampiran 8 Perhitungan Konsentrasi Larutan

Diketahui:

Persamaan regresi:

$$y = 0,0622x - 0,001$$

Data absorbansi:

Larutan Cr(VI)		Absorbansi
Sebelum filtrasi		0,63
Setelah filtrasi menggunakan membran:	A3	0,48
	B1	0,66
	B2	0,58
	B3	0,62

Dicari: Konsentrasi Larutan

Dijawab:

1. Larutan Cr(VI) sebelum filtrasi

$$y = 0,0622x - 0,001$$

$$0,63 = 0,0622x - 0,001$$

$$x = \frac{0,63 - 0,001}{0,0622}$$

$$x = 10,14 \text{ ppm}$$

2. Larutan Cr(VI) setelah filtrasi menggunakan membran A3

$$y = 0,0622x - 0,001$$

$$0,48 = 0,0622x - 0,001$$

$$x = \frac{0,48 - 0,001}{0,0622}$$

$$x = 7,73 \text{ ppm}$$

3. Larutan Cr(VI) setelah filtrasi menggunakan membran B1

$$y = 0,0622x - 0,001$$

$$0,66 = 0,0622x - 0,001$$

$$x = \frac{0,66 - 0,001}{0,0622}$$

$$x = 10,63 \text{ ppm}$$

4. Larutan Cr(VI) setelah filtrasi menggunakan membran B2

$$y = 0,0622x - 0,001$$

$$0,58 = 0,0622x - 0,001$$

$$x = \frac{0,58 - 0,001}{0,0622}$$

$$x = 9,34 \text{ ppm}$$

5. Larutan Cr(VI) setelah filtrasi menggunakan membran B3

$$y = 0,0622x - 0,001$$

$$0,62 = 0,0622x - 0,001$$

$$x = \frac{0,62 - 0,001}{0,0622}$$

$$x = 9,98 \text{ ppm}$$

Lampiran 9 Perhitungan Nilai Rejeksi Membran

$$R (\%) = \left[1 - \left(\frac{C_p}{C_f} \right) \right] \times 100\%$$

Diketahui:

$$C_f = 10,348 \text{ ppm}$$

Membran	PVDF 20%	PVDF- ZnO 5%	PVDF- ZnO 7,5%	PVDF- ZnO 10%
C_p (ppm)	7,907	10,717	9,454	10,138

Dicari: Nilai rejeksi membran

Dijawab:

1. Membran PVDF 20%

$$R (\%) = \left[1 - \left(\frac{7,907 \text{ ppm}}{10,348 \text{ ppm}} \right) \right] \times 100\%$$

$$R (\%) = 23,39\%$$

2. Membran PVDF-ZnO 5%

$$R (\%) = \left[1 - \left(\frac{10,717 \text{ ppm}}{10,348 \text{ ppm}} \right) \right] \times 100\%$$

$$R (\%) = -3,56\%$$

3. Membran PVDF-ZnO 7,5%

$$R (\%) = \left[1 - \left(\frac{9,454 \text{ ppm}}{10,348 \text{ ppm}} \right) \right] \times 100\%$$

$$R (\%) = 8,64\%$$

4. Membran PVDF-ZnO 10%

$$R (\%) = \left[1 - \left(\frac{10,138 \text{ ppm}}{10,348 \text{ ppm}} \right) \right] \times 100\%$$

$$R (\%) = 2,03\%$$

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Farhan Surya Maulidan
2. Tempat & Tgl. Lahir : Pemalang, 29 Mei 2001
3. Alamat Rumah : Jl. Lumba-lumba No.10 Rt. 02/08,
Sugihwaras, Pemalang
4. HP : 0895358807182
5. E-mail : farhan48surya@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal:
 - a. MI Negeri Sugihwaras Pemalang
 - b. SMP Negeri 02 Pemalang
 - c. SMA Negeri 01 Pemalang
 - d. UIN Walisongo Semarang
2. Pendidikan Non-Formal:
 - a.
 - b.
 - c.

C. Prestasi Akademik

- a.
- b.
- c.

D. Karya Ilmiah

- a. Efektifitas Membran Nanokomposit Polyamida- Al_2O_3
Untuk Pengolahan Eugenol Oil Menjadi Essential Oil
- b.
- c.