PENGARUH SiO_2 PADA MEMBRAN PAN (*POLYACRYLONITRILE*) TERHADAP JUMLAH PENURUNAN KADAR ION LOGAM Zn^{2+}

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains (S.Si) dalam Ilmu Kimia

Disusun Oleh :
Permas Rabiah Indah

NIM 2108036021

PROGRAM STUDI KIMIA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO

SEMARANG

2025

PENGARUH SiO_2 PADA MEMBRAN PAN (*POLYACRYLONITRILE*) TERHADAP JUMLAH PENURUNAN KADAR ION LOGAM Zn^{2+}

SKRIPSI

Oleh
Permas Rabiah Indah
2108036021

Untuk Memenuhi Syarat Melaksanakan Skripsi
Strata Satu Program Studi Kimia
Fakultas Sains Dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Program Studi Kimia
Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang
2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Permas Rabiah Indah

NIM : 2108036021

Menyatakan dengan sebesar-besarnya bahwa skripsi saya berjudul :

"PENGARUH SiO_2 PADA MEMBRAN PAN (*POLYACRYLONITRILE*) TERHADAP JUMLAH PENURUNAN KADAR ION LOGAM Zn^{2+}"

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian atau karya sendiri dan bukan jiplakan hasil karya orang lain, kacuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 30 Juni 2025

Pembuat Pernyataan



Permas Rabiah Indah

NIM.2108036021

ii

PENGESAHAN

Naskah skrpsi berikut ini:

Judul : **PENGARUH SiO_2 PADA MEMBRAN PAN (*POLYACRYLONITRILE*) TERHADAP JUMLAH PENURUNAN KADAR ION LOGAM Zn^{2+}**

Nama : Permas Rabiah Indah

NIM : 2108036021

Jurusan : Kimia

Telah diujikan dalam sidang munaqosah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains Dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam bidang ilmu kimia.

Semarang, 29 Agustus 2025

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang	Sekretaris Sidang
Wirda Udaibah, M.Si	**Ir., Eng. Anissa Adiwena Putri, M.Sc**
NIP.198501042009122003	**NIP.198504052011012015**
Penguji Utama 1	Penguji Utama 2
Dr. Ervin Tri Suryandari, M.Si	**Deni Ebit Nugroho, M.Pd**
NIP.197407162009122001	**NIP.198507202019031007**

Pembimbing

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

NIP. 198304152009122006

NOTA DINAS

Semarang, 30 Juni 2025

Yth.Ketua Program Studi Kimia

Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum, wr.wb.

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

Judul	: **PENGARUH SiO_2 PADA MEMBRAN PAN (*POLYACRYLONITRILE*) TERHADAP JUMLAH PENURUNAN KADAR ION LOGAM Zn^{2+}**
Nama	: Permas Rabiah Indah
NIM	: 2108036021
Jurusan	: Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikandalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum wr.wb.

Dosen Pembimbing

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

NIP. 198304152009122006

Dipindai dengan CamScanner

ABSTRAK

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan dan karakterisasi membran *Polyacrylonitrile* (PAN) dan PAN-SiO_2. Penambahan SiO_2 bertujuan untuk meningkatkan nilai fluks serta rejeksi membran dalam menurunkan kadar ion logam Zn^{2+}. Pembuatan membran dilakukan menggunakan metode inversi fasa dengan polimer *Polyacrylonitrile* (PAN) 15%, 20%, 25%, dan 30% yang dilarutkan dalam pelarut *Dimethylformamide* (DMF). Dari keempat variasi konsentrasi yang digunakan, membran PAN 25% dipilih karena terbukti memiliki nilai kekuatan mekanik terbaik. Membran PAN 25% ditambah dengan SiO_2 0,5%, 1%, dan 1,5%. Membran PAN dan membran PAN-SiO_2 diuji kekuatan mekaniknya (kuat tarik, elongasi, dan *modulus young*), sudut kontaknya (*contact angle*), serta karakterisasi dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi, dan *Scanning Electron Microscope-Mapping-Energy Dispersive X-Ray* (SEM EDX *Mapping*) untuk mengetahui morfologi dan kandungan unsur kimia. Hasil karakterisasi kekuatan mekanik dengan *universal testing machine* menunjukkan bahwa membran PAN 25% memiliki kuat tarik 1,341 MPa dan *modulus young* 0,405 MPa. Setelah penambahan SiO_2 1,5%, nilai kuat tarik meningkat menjadi 9,713 MPa dan *modulus young* 1,713 MPa. Melalui uji *contact angle* diketahui membran PAN 25% memiliki sudut kontak sebesar $63{,}13^0$, setelah penambahan SiO_2, sudut kontak meningkat menjadi $67{,}87^0$. Karakterisasi FTIR membran PAN menunjukkan pita serapan khas (-C≡N) pada bilangan gelombang 2243,19 cm^{-1}, setelah penambahan SiO_2 muncul puncak baru di sekitar bilangan gelombang 1170,89 cm^{-1} yang menunjukkan pita serapan khas Si-O-Si. Karakterisasi SEM menunjukkan morfologi membran PAN setelah penambahan SiO_2 permukaan yang menunjukkan adanya partikel SiO_2 dalam matriks membran. Dengan SEM EDX *Mapping* dapat terlihat adanya sebaran Si pada permukaan membran. Uji filtrasi dengan *cross flow filtration* membran PAN dengan penambahan SiO_2

1,5% mampu meningkatkan nilai fluks dan rejeksi sebesar 28,30 L/m^2.jam dan 0,4%.

Kata Kunci : Membran, PAN, SiO_2, dan ion logam Zn^{2+}

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan Syukur penulis panjatkan kehadrat Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi yang berjudul "Pengaruh SiO_2 Pada Membran PAN (*Polyacrylonitrile*) Terhadap Jumlah Penurunaan Kadar Ion Logam Zn^{2+}". Tidak lupa penulis sampaikan shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW dengan harapan semoga mendapatkan syafaat kelak d hari kiamat.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Strata Satu Program Studi Kimia Fakultas Sains Dan Teknologi UIN Walisongo Semarang. Penulis menyadari bahwa dalam pelaksanaan penelitian dan penyusun skripsi tentunya tidak lepas dari dukungan, arahan, bimbingan, serta motivasi dari banyak pihak. Oleh karenaitu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Nizar, M.Ag., selaku Rektor UIN Walisongo Semarang.
2. Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag., selaku dekan fakultas Sains Dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
3. Dr. Mulyatun, M.Si., selaku ketua program Studi Kimia UIN Walisongo Semarang.

4. Dosen Pembimbing Dr. Hj. Malikhatul Hidayah, S.T, M.P.d. M.T., yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penulis menyusun skripsi.
5. Wirda Udaibah, M.Si., selaku Dosen Wali yang senantiasa memberikan arahan, dukungan, dan motivasi kepada penulis selama melaksanakan studi di UIN Walisongo Semarang.
6. Bapak dan Ibu dosen Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang telah memberikan ilmu, pengetahuan, pengalaman, motivasi, dan pelajaran berharga bagi penulis.
7. Teristimewa penulis ucapkan terima kasih kepada kedua orang tua tercinta penulis yakni Ayahanda Jaenudin dan Ibunda Masliah, terima kasih atas setiap tetes keringat dalam setiap langkah pengorbanan dan kerja keras yang dilakukan untuk memberikan yang terbaik kepada penulis, mengusahakan segala kebutuhan penulis, mendidik, membimbing, dan selalu memberikan kasih sayang yang tulus, motivasi, serta dukungan dan mendoakan penulis dalam keadaan apapun agar penulis mampu bertahan untuk melangkah setapak demi setapak dalam meraih mimpi di masa depan. Terima kasih untuk selalu berada di sisi penulis dan menjadi alasan bagi penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini hingga memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si).

8. Kepada kakak saya Ibrahim, Kurniamas, dan Hana Puspita Indah, terima kasih banyak atas dukungannya secara moril dan materil, terima kasih atas segala motivasi dan dukungannya yang diberikan kepada penulis, sehingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana.
9. Teruntuk teman terkasih penulis Daffa, Una, Habibah terima kasih untuk menjadi partner bertumbuh di Semarang dari segala kondisi yang tidak terduga, menjadi teman *hangout* disemua tempat yang kita datangi, menjadi pendengar yang sangat baik untuk penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan juga ketidaksempurnaan karena terbatasnya pengetahuan penulis. Maka, dengan segala kerendahan hati penulis meminta maaf atas segala kekurangan serta mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak. Penulis berharap semoga skripsi ini berkah dan bermanfaat bagi penulis dan pembacanya, *Aamiin Ya Rabbal'Alamin.*

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Semarang, 20 Juni 2025

Penulis

Permas Rabiah Indah

NIM.2108036021

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
PERNYATAAN KEASLIAN ..... Error! Bookmark not defined.
PENGESAHAN ..... Error! Bookmark not defined.
NOTA DINAS ..... Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK ..... **iv**
KATA PENGANTAR ..... **vii**
DAFTAR ISI ..... **x**
DAFTAR TABEL ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiii**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xiv**
BAB I PENDAHULUAN **1**
A. Latar Belakang 1
B. Rumusan Masalah 10
C. Tujuan Penelitian 10
D. Manfaat Penelitian 10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **12**
A. Landasan Teori 12
1. Teknologi Membran 12
2. *Polyacrylonitrile* (PAN) 27
3. Silikon Dioksida (SiO_2) 29
4. *N,N-Dimethylformamide* (DMF) 30
5. Ion Logam Zn^{2+} 31
6. Karakterisasi Membran 32
B. Kajian Pustaka 44
C. Hipotesis Penelitian 47
BAB III METODOLOGI PENELITIAN **48**
A. Alat dan Bahan 48
A. Alat 48
B. Bahan 48
B. Langkah Kerja 49
1. Cara Membuat Membran 49
c. Karakteristik Membran 50
d. Pengukuran Kadar Ion Logam Zn^{2+} 54

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 57
A. Pembuatan Membran 57
1. Membran PAN 57
2. Membran PAN-SiO_2 60
B. Karakterisasi Membran 62
1. Uji Kekuatan Mekanik Dengan Uji Tarik 62
2. Analisis Uji Sudut Kontak 66
3. Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR 68
4. Karakterisasi Morfologi membran menggunakan SEM *Mapping* EDX 71
5. Uji Fluks Membran 77
6. Pengukuran Kadar Ion Logam Zn^{2+} 79
7. Uji Rejeksi Membran 82
BAB V PENUTUP 85
A. Kesimpulan 85
B. Saran 86
DAFTAR PUSTAKA 87
LAMPIRAN 96
DAFTAR RIWAYAT HIDUP 115

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan gaya dorong tekanan pada membran 21
Tabel 2.2 Karakteristik PAN..... 28
Tabel 2.3 Karakteristik SiO_2..... 30
Tabel 2.4 Karakteristik Dimethylformamide..... 31
Tabel 2.5 Kisaran nilai fluks..... 33
Tabel 2.6 Data bilangan gelombang PAN..... 39
Tabel 3.1 Data Kurva Standa…….....55
Tabel 4.1 Hasil uji kekuatan mekanik membran PAN……..63
Tabel 4.2 Hasil uji kekuatan mekanik membran PAN-SiO2..... 65
Tabel 4.3 Hasil sudut kontak membran..... 67
Tabel 4.4 Analisis gugus fungsi membran PAN dan PAN-SiO_2.... 70
Tabel 4.5 Komponen unsur membran..... 75
Tabel 4.6 Hasil uji filtrasi membran PAN dan PAN-SiO_2..... 78
Tabel 4.7 Hasil Persen Rejeksi Membran..... 82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema pemisahan membran 15
Gambar 2.2 Struktur pori pada membran simetrik (A) dan membran asimetrik (B) 18
Gambar 2.3 Pembuatan membran dengan metode phase inversion 25
Gambar 2.4 Perbandingan sistem filtrasi dead end (A), dan cross flow (B) 27
Gambar 2.5 Struktur PAN 28
Gambar 2.6 Struktur SiO_2 29
Gambar 2.7 Penampang alat FTIR a) T-FTIR, b) ATR-FTIR 38
Gambar 2.8 Penampang alat SEM Mapping EDX 41
Gambar 2.9 Morfologi Membran PAN (dilihat dengan SEM) a) PAN 10%, b) PAN 12%, c) PAN 14% 42
Gambar 2.10 Penampang alat AAS 43
Gambar 4.1 Membran a) PAN 15%, b) PAN 20%, c) PAN 25%, d) PAN 30% 58
Gambar 4.2 Membran a) PAN-SiO_2 0,5%, b) PAN-SiO_2 1%, c) PAN-SiO_2 1,5% 61
Gambar 4.3 Spektra FTIR Membran PAN 25%, Membran PAN-SiO_2 0,5%, Membran PAN-SiO_2 1%, dan Membran PAN-SiO2 1,5% 69
Gambar 4.4 Morfologi a) membran PAN 25%, b) PAN-SiO2 1,5% 72
Gambar 4.5 Grafik EDX membran (a) PAN 25%, (b) PAN-SiO2 1,5% 74
Gambar 4.6 Mapping membran a) PAN 25%, b) PAN-SiO2 1,5% 76
Gambar 4.7 Kurva kalibrasi larutan standar 80
Gambar 4.8 Pengaruh konsentrasi SiO_2 terhadap rejeksi membran A) PAN, B) PAN-SiO_2 0,5%, C) PAN-SiO_2 1%, dan D) PAN-SiO_2 1,5% 83

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Preparasi membran PAN.....96
Lampiran 2 : Preparasi membran PAN-SiO_2 97
Lampiran 3 : Pengukuran kadar ion logam Zn^{2+}.....98
Lampiran 4 : Uji kinerja membran pada limbah.....100
Lampiran 5 : Hasil Uji Kuat Tarik.....101
Lampiran 6 : Hasil Uji Sudut Kontak 102
Lampiran 7 : Hasil Uji FTIR Membran PAN dan Membran PAN-SiO_2 103
Lampiran 8 : Perhitungan Fluks Membran 105
Lampiran 9 : Perhitungan pembuatan larutan Zn^{2+} 107
Lampiran 10 : Kurva Standar 108
Lampiran 11 : Perhitungan ion logam Zn^{2+} hasil filtrasi 109
Lampiran 12 : Perhitungan persen rejeksi membran.....111
Lampiran 13 : Dokumentasi pembuatan membran.....113
Lampiran 14 : Dokumentasi Proses Filtrasi Membran.....114

BAB I
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sungai ialah suatu fenomena alam yang terbentuk secara alamiah. Fungsi sungai merupakan penampung, penyimpan irigasi dan sebagai bahan baku air minum bagi sejumlah kota di sepanjang aliran sungai tersebut. Sungai yang menjadi tempat utama berkumpulnya air yang mengalir dari daerah dataran tinggi menuju daerah yang lebih rendah dijadikan sebagai penyedia air paling utama bagi manusia dan makhluk hidup lainnya. Perairan sungai menjadi tempat yang memiliki peran penting bagi makhluk hidup. Sungai merupakan tempat mudah dan praktis untuk pembuangan limbah, baik padat maupun cair yang dihasilkan dari kegiatan industri rumah tangga, garmen, peternakan, maupun usaha lainnya. Adanya pembuangan berbagai jenis limbah dan sampah yang mengandung beraneka ragam jenis bahan pencemar di dalam sungai baik yang terurai maupun yang tidak terurai. Jenis limbah yang tidak dapat terurai akan menyebabkan semakin berat beban yang diterima oleh sungai tersebut. Jika beban yang diterima oleh sungai tersebut melampaui ambang batas yang ditetapkan berdasarkan baku mutu, maka sungai

tersebut dikatakan tercemar, baik secara fisik, kimia, dan biologi (Siri *et al*., 2024).

Seiring dengan perkembangan peradaban dan bertambahnya jumlah penduduk maka akan menambah aktivitas kehidupan menjadi penambah pengotor atau pencemaran air. Masalah penyediaan air bersih harus perlu ditangani secara detail dan menyeluruh karena masalah akan terus-menerus bertambah seiring dengan pertumbuhan penduduk tersebut (Village *et al*., 2024). Meningkatnya perkembangan industri baik industri migas, pertanian, maupun industri non migas, maka semakin meningkat pula tingkat pencemaran lingkungan yang meliputi perairan, udara dan tanah yang disebabkan oleh hasil buangan limbah industri tersebut. Limbah yang dibuang secara langsung dapat mengakibatkan pencemaran tanah dan sungai disekitarnya. Maka dilakukan proses menghilangkan pengotor dari limbah industri seperti pencemaran ion logam berat, senyawa organik, padatan tersuspensi dan kontaminan biologis untuk mendapatkan air bersih (Yunus & Mitrohardjono, 2019).

Jenis pencemaran yang masuk ke dalam sungai salah satunya adalah limbah industri yang mengandung logam berat menjadi isu lingkungan yang telah menyita

perhatian banyak pihak, karena dampak yang ditimbulkannya berakibat buruk bagi kehidupan makhluk hidup terutama manusia. Pencemaran logam berat yang tidak diolah secara sempurna akan memicu terjadinya keracunan pada manusia dan ikan, limbah logam berat yang meresap ke dalam tanah dan membuat sumur penduduk tercemar. Pada akhirnya dampak pencemaran ini sampai kepada manusia melalui rantai makanan (Wu *et al*., 2024). Salah satu faktor yang menyebabkan logam berat dikelompokkan ke dalam zat pencemar karena logam berat tidak dapat terurai melalui biodegradasi. Logam berat bersifat toksik, mengendap di dasar perairan dan memiliki waktu tinggal hingga ribuan tahun. Logam berat yang terlarut dapat teradsorpsi pada partikel sedimen sungai, sedimen sungai merupakan pembawa logam berat dan dapat menjadi sumber pencemaran. Berbagai proses bahan kimia dan biologi melepaskan logam berat dari sedimen ke dalam air, yang akan menyebabkan potensi resiko ekologis. Salah satu pencemaran logam berat yang terjadi berupa logam seng (Zn) (Arianti *et al*., 2024).

Logam seng (Zn) merupakan logam esensial yang dalam jumlah tertentu sangat diperlukan oleh

organisme hidup. Ion logam Zn^{2+} dalam jumlah besar dapat menimbulkan bahaya bagi manusia seperti mental keterbelakangan, kerusakan ginjal, kerusakan hati, paru-paru, kerapuhan tulang, dan kematian (Mahatmanti *et al*., 2023). WHO merekomendasikan konsentrasi Zn maksimum yang dapat diterima dalam air minum sebesar 5,0 mg/L (Sen & Gomez, 2011). Pada penelitian Arianti *et al.*, (2024) menemukan pencemaran ion logam Zn^{2+} yang melebihi baku mutu terdapat pada sungai Asahan Kota Tanjungbalai dengan kandungan ion logam Zn^{2+} berkisar antara 8,38-11,45 mg/L. Perairan pantai Kelurahan Mangunharjo Kota Semarang melampaui baku mutu dengan kandungan ion logam Zn^{2+} pada sedimen berkisar antara 8,225-27,26 mg/kg (Muhtaroh *et al*., 2024). Pada perairan Teluk Jakarta menemukan konsentrasi ion logam Zn^{2+} berkisar antar 26,14-241 mg/L (Muhtaroh *et al*., 2024). Dengan demikian, ion logam Zn^{2+} dikonfirmasi sebagai bahan beracun apabila kandungan ion logam Zn^{2+} dalam air memiliki nilai lebih tinggi dari nilai baku mutu yang ditetapkan. Terjadinya peningkatan ion logam Zn^{2+} pada air sungai berasal dari daratan pada aktivitas pelabuhan seperti pengecetan kapal, pembuangan air ballast, docking kapal, pengisian bahan

bakar, serta adanya berbagai industri di kawasan pesisir seperti pabrik kimia, cat, tektil, dan batu baterai yang membuang limbahnya melalui sungai (Kusuma *et al*., 2015).

Salah satu cara menjaga untuk kelestarian lingkungan adalah melakukan pengolahan air limbah, seperti yang dijelaskan dalam Al-qur'an pada Q.S Al-Qasas ayat 77 sebagai berikut:

وَٱبْتَغِ فِيمَآ ءَاتَىٰكَ ٱللَّهُ ٱلدَّارَ ٱلْـَٔاخِرَةَ ۖ وَلَا تَنسَ نَصِيبَكَ مِنَ ٱلدُّنْيَا ۖ وَأَحْسِن كَمَآ أَحْسَنَ ٱللَّهُ إِلَيْكَ ۖ وَلَا تَبْغِ ٱلْفَسَادَ فِى ٱلْأَرْضِ ۖ إِنَّ ٱللَّهَ لَا يُحِبُّ ٱلْمُفْسِدِينَ

Artinya : "*Dan carilah pada apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu (pahala) negeri akhirat, janganlah kamu lupakan bagianmu di dunia. Berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik kepadamu dan janganlah kamu berbuat kerusakan di muka bumi. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan".*

Berdasarkan ayat di atas, menerangkan bahwa Allah SWT. melarang perbuatan yang menimbulkan kerusakan di muka bumi dari hal yang dapat membahayakan kelestariannya. Allah menitipkan kepada manusia agar kita dapat memelihara alam dan kehidupan ini supaya tetap menjadi kebaikan bagi umat. Usaha pengelolaan dan pelestarian lingkungan

harus dilakukan dengan sebaik-baiknya. Salah satu upaya dalam menjaga karuniaNya adalah dengan melakukan pengolahan limbah untuk mengurangi logam berat yang terkandung dan membahayakan manusia dan makhluk bumi lainnya.

Pencemaran ion Zn^{2+} pada air sungai perlu diatasi dengan upaya mengatasi dan mengurangi pencemaran lingkungan perairan yang mengancam ekosistem pada sungai. Ada beberapa cara untuk mengurangi logam berat dengan pengendapan kimia, ekstraksi pelarut, elektrolisa, pertukaran ion, dan menggunakan teknologi membran dengan metode reverse osmoses (Aznur *et al.,* 2023*)*. Kekurangan beberapa metode tersebut seperti metode adsorbsi menggunakan karbon aktif dari tempurung kelapa tidak optimal untuk konsentrasi ion Zn^{2+} yang terlalu tinggi karena kapasitas absorbsi tempurung kelapa berjumlah 43,60% (Komari *et al*., 2021). Berdasarkan kekurangan-kekurangan metode terdahulu maka upaya yang tepat untuk mengurangi kadar ion logam seng (Zn^{2+}) dilakukan dengan metode pengolahan yang efisien, cepat, dan ramah lingkungan dengan menggunakan teknologi membran (Jauhari et al., 2021).

Teknologi membran merupakan solusi yang tepat mengatasi pencemaran limbah karena membran memiliki banyak keunggulan antara lain kemurnian yang dihasilkan lebih baik dari proses pemisahan lainnya. Membran merupakan teknologi pemisahan dengan efisiensi tinggi serta harga yang cukup murah untuk memenuhi kebutuhan pemurnian air. Membran berbasis polimer merupakan membran yang sering digunakan dalam industri karena lebih murah serta mempunyai kinerja tinggi. Beberapa membran dapat diartikan menjadi suatu lapisan film (lapisan tipis) yang bersifat fleksibel dan menjadi pemisah atau penyaring (filter). Membran berasal dari berbagai macam-macam bahan logam, keramik, zeolite, silika, biopolimer dan polimer. Biopolimer dikembangkan sebagai bahan dasar membran yaitu kitosan dan selulosa asetat. Bahan polimer yang digunakan sebagai bahan utama adalah *polyvinylidene fluoride* (PVDF), *polysulfone* (PSF), *polyetersulfone* (PES), *polyacrylonitrile* (PAN), *polypropilena* (PP), dan sebagainya (Fathanah et al., 2021). Salah satu jenis polimer yang digunakan adalah PAN. PAN merupakan polimer hidrofilik dengan ketahanan kimia yang baik, memiliki stabilitas termal, sifat mekanik yang baik, mempunyai kekuatan

elastisitas yang tinggi, dan bersifat stabil pada suhu tinggi. Menurut penelitian Wianto *et al*., (2024) yaitu penyisihan logam seng (Zn^{2+}) pada limbah elektroplating menggunakan membran kitosan dan zeolit menghasilkan nilai rejeksi 54,6% dengan konsentrasi awal 3,12 mg/L menjadi 1,418 mg/L dan menghasilkan nilai fluks hingga 80,61 $L/m^{2,}$ membran yang diperoleh belum sepenuhnya memenuhi syarat-syarat untuk pemisahan logam Zn dikarenakan membran tersebut masih memiliki pori yang lebih besar dari ukuran jari-jari logam Zn. PAN dapat larut dalam pelarut *N,N-Dimethylformamide* (DMF). DMF dipilih sebagai pelarut karena mempunyai kelarutan yang tinggi terhadap bahan anorganik dan organik sehingga memiliki stabilitas yang baik (Anis Shofiyani, Edi Sukirno, 2017).

Polimer PAN memiliki kelemahan yaitu bersifat hidrofilk yang dapat menghambat sifat dan kinerja pada membran, karena polimer tersebut mudah dilalui air dan rentan *fouling* (Chand *et al*., 2022). Pengembangan yang tepat serta dapat dilakukan untuk meningkatkan sifat dan kinerja membran yaitu dilakukan dengan menambahkan bahan anorganik sebagai aditif pada proses pembuatan membran. Material anorganik yang

digunakan sebagai bahan aditif dalam membran polimer antara lain nanotube, Fe_2O_3, TiO_2, ZnO, Al_2O_3, dan SiO_2. Bahan material anorganik yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan *Silicon Diokside* (SiO_2). Penambahan SiO_2 memiliki keunggulan seperti bereaksi dengan polimer yang dapat mudah larut, meningkatkan permeabilitas, stabilitas termal, dan ketahanan terhadap *fouling*. Menurut penelitian Sugiharto, (2022) yaitu preparasi dan karakterisasi membran PVDF-SiO_2 untuk penyaringan ion logam Pb^{2+} menghasilkan membran PVDF dengan penambahan silika mampu memfiltrasi ion logam Pb^{2+} dan mengurangi hasil kadar timbal dari 10 mg/L menjadi 0,09 mg/L pada membran 10%, dan 0,02 mg/L pada membran PVDF-SiO_2 15%, serta meningkatkan nilai fluks sebesar 41,886 L/m^2.jam dengan persen rejeksi sebesar 99,8% pada membran. Penambahan SiO_2 pada membran PAN diharapkan mampu menurunkan sifat kehidrofilikan pada PAN dan meningkatkan kinerja membran. Membran yang telah dibuat diuji kinerjannya dengan menggunakan uji filtrasi, dikarakterisasi dengan uji kekuatan mekanik dengan uji kuat tarik (*tensile strength*), uji *contact angle* (sudut kontak), uji gugus fungsi menggunakan *Spektrofotometer Fourier*

Transform InfraRed (FTIR), dan *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX Mapping).

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik membran PAN dan membran PAN-SiO_2 yang memiliki kekuatan mekanik terbaik dilihat dari gugus fungsi, morfologi, nilai fluks, dan nilai rejeksi?
2. Bagaimana kinerja membran PAN dan membran PAN-SiO_2 dengan kekuatan mekanik terbaik dalam penurunan kadar ion logam Zn^{2+}?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui karakteristik membran PAN dan membran PAN-SiO_2 yang memiliki kekuatan mekanik terbaik dilihat dari gugus fungsi, morfologi, nilai fluks, dan nilai rejeksi?
2. Untuk mengetahui kinerja membran PAN dan membran PAN-SiO_2 dengan kekuatan mekanik terbaik dalam penurunan kadar ion logam Zn^{2+}.

D. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi bagaimana karakteristik dari membran PAN dan membran PAN-SiO_2 yang memiliki

kekuatan mekanik terbaik dilihat dari gugus fungsi, morfologi, nilai fluks, dan nilai rejeksi.

2. Memberikan informasi bagaimana kinerja membran PAN dan membran PAN-SiO_2 dengan kekuatan mekanik terbaik dalam penurunan kadar ion logam Zn^{2+}.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Teknologi Membran

1.1 Pengertian Membran

Membran berasal dari bahasa latin yaitu "*membrana*" memiliki arti kulit kertas. Saat ini, penggunaan kata membran digunakan untuk menggambarkan suatu lembaran tipis dengan memiliki sifat fleksibel. Sifat membran yang semipermeabel mampu menjadikan membran sebagai pemisah yang selektif antara dua fasa (Rahayu, 2019).

Membran merupakan suatu lapisan tipis antara dua fasa fluida yaitu fasa umpan (*feed*) dan fasa permeat yang memiliki sifat penghalang (*barrier*) terhadap suatu spesi tertentu, dapat memisahkan zat dengan ukuran yang berbeda serta membatasi transpor dari berbagai spesi berdasarkan sifat fisik dan kimia. Membran bersifat semipermeabel karena membran dapat menahan spesi tertentu yang lebih besar dari ukuran pori membran dan melewatkan spesi dengan ukuran lebih kecil. Sifat selektif dari membran ini dapat

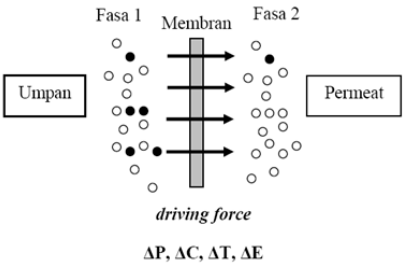
digunakan dalam proses pemisahan, pemurnian, dan pemekatan suatu larutan (Fathanah *et al*., 2021)

Teknologi membran mempunyai banyak keunggulan dibandingkan metode pemisahan lainnya, antara lain proses pemisahannya dapat dilakukan dengan secara berkelanjutan, material membran divariasi, mudah digabungkan dengan pemisahan lainnya. Membran bersifat ramah dan aman ingkungan, penggunaanya tidak dapat mengakibatkan dampak buruk dan membran yang dihasilkan dapat digunakan kembali. Membran berfungsi penyaring yang spesifik (Husni *et al*., 2018)

Peningkatan penggunaan membran di berbagai aplikasi industri memiliki keunggulan utama pada penggunaan membran untuk unit pemisahan yaitu pemisahan dapat dilakukan secara terus-menerus, konsumsi energi yang relatif lebih rendah, proses membran mudah digabungkan dengan proses pemisahan lainnya, pemisahan pada membran dapat dilakukan dalam kondisi mudah diciptakan, dan material yang digunakan pada membran bervariasi sehingga pemakainnya sangat mudah digunakan untuk di adaptasikan (Arahman *et al*., 2018).

Pada penggunaan membran memiliki beberapa kelemahan yaitu dengan terjadinya *pore blockage* atau *fouling* pada membran. Fouling adalah masalah yang terjadi pada pemisahan membran, terutama membran ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi. Kelemahan lainnya yaitu jangka waktu pemakaian membran terbatas, dimana antara fluks dan rejeksi memiliki nilai berbanding terbalik. Proses pemisahan membran dilakukan karena membran mempunyai kemampuan memindahkan suatu komponen lebih cepat dari komponen lain berdasarkan perbedaan sifat fisik dan kimia dari membran dan komponen yang dipisahkan. Perpindahan pada membran dapat terjadi karena adanya gaya dorong atau *driving force* dalam umpan dapat berupa beda tekanan, konsentrasi, potensial listrik, temperatur, dan selektifitas pada membran yang dinyatakan dengan rejeksi (R). Hasil pemisahan yaitu berupa permeat (bagian suatu campuran yang akan melewati membran tersebut) (Bahiyyah, 2023).

Secara umum, proses pemisahan yang terjadi pada membran dapat disimpulkan pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Skema pemisahan membran (Sugiharto, 2022)

1.2 Klasifikasi Membran

a. Berdasarkan Bahan

1. Membran Polimer

Bahan polimer pada membran yang sering digunakan untuk pembuatan membran yaitu polimer *polisulfon* (PSf), *polietersulfon* (PES), *polyvnylidene fluoride* (PVDF), *poliakrilonitril* (PAN) dan *cellulose acetate* (CA). Selain itu, membran polimer diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu membran berpori dan membran nonpori. Membran berpori diaplikasikan untuk mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi, sedangkan membran nonpori diaplikasikan untuk pemisahan-pemisahan berupa gas serta pervaporation (Fathanah *et al*., 2021).

2. Membran Anorganik

Membran anorganik mempunyai sifat stabilitas kimia dan termalnya berhubungan dengan material polimer. Pembagian tipe membran anorganik dibedakan menjadi 3, yaitu:

a. Membran keramik: dibentuk menggunakan perpaduan sebuah logam dengan non logam sehingga membentuk oksida, dan nitride atau karbida.
b. Membran gelas (silika, SiO_2): dibentuk menggunakan teknik-teknik *demixed glasses.*
c. Membran metalik: membran ini ditentukan dengan menggunakan *sintering* bubuk logam, namun penjelasannya masih terbatas.

3. Membran Biologi

Membran biologi memiliki bentuk karakteristik berupa membran sel yang mengandung struktur *lipid bilayer* dan struktur yang sangat kompleks (Bahiyyah, 2023).

b. Berdasarkan Struktur

1. Membran Simetrik

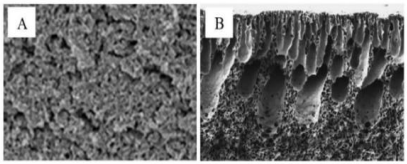
Membran simetrik merupakan membran yang memiliki ketebalan pori 10-200 μm. Pada membran ini memiliki struktur pori homogen

diseluruh bagian membran. Jenis membran simetrik kurang efektif dengan membran simetrik karena memungkinkan dapat lebih cepat terjadinya penyumbatan pada pori dan mengakibatkan *fouling* atau penyumbatan membran (Sugiharto, 2022).

2. Membran Asimetrik

   Membran asimetrik adalah membran yang terdiri dari dua lapisan antara lain: kulit yang tipis dan rapat dengan ketebalan 0,1-0,5 μm dan pada lapisan pendukung berpori besar memilki ketebalan 50-150 μm. Membran asimetris dibedakan menjadi dua yaitu membran asimetris integral dan membran asimetris komposit. Membran asimetrik menghasilkan selektivitas lebih tinggi karena disebabkan rapatnya lapisan atas membran dengan mempunyai kecepatan permeat tinggi dikarenakan tipisnya membran (Huwidah & Hidayah, 2024).

   Seperti pada Gambar 2.2 menjelaskan perbedaan struktur pori simetrik dan asimetrik.



Gambar 2. 2 Struktur pori pada membran simetrik (A) dan membran asimetrik (B)

c. Berdasarkan Prinsip Pemisahan

1. Membran Berpori

   Membran berpori merupakan membran yang memiliki pori-pori dengan prinsip pemisahan yang didasarkan pada perbedaan antara partikel dengan ukuran pori membran. Selektifitas pemisahan yang akan ditentukan pada ukuran-ukuran pori serta hubungannya dengan partikel yang akan dipisahkan. Membran berpori mempunyai peranan penting dalam proses pemisahan untuk digunakan mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi (Kiswandono, 2016).

2. Membran nonpori

   Membran nonpori merupakan membran dengan memisahkan molekul yang tidak dapat dipisahkan oleh membran berpori. Prinsip pemisahan membran nonpori didasarkan perbedaan kelarutan dengan kemampuan difusi.

Membran nonpori diaplikasikan pada pemisahan molekul dengan ukuran yang partikel sangat kecil (Bahiyyah, 2023).

3. Membran Cair

Membran cair adalah membran dengan pemisahan yang tidak dapat ditentukan oleh membran ataupun bahan pembentuk membran tersebut, tetapi oleh sifat molekul pembawa yang spesifik. Media pembawa cairan yang terdapat dalam pori membran berpori (Fitri & Fitriana, 2020).

d. Berdasarkan Fungsi

1. Membran *reverse osmosis* (RO)

Reverse Osmosis merupakan proses perpindahan pelarut dengan gaya dorong perbeedaan tekanan, dimana beda pada tekanan yang digunakan harus lebih besar dari beda tekanan osmosa. Ukuran pori pada proses osmosa balik antara 1 sampai 20 dan berat molekul solut digunakan antara 100 sampai 1000. Tekanan operasi pada osomosis balik akan sangat besar untuk menghasilkan fluks sama dengan proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Membran osmosis balik memiliki struktur

asimetrik dengan lapisan atas yang tipis dan padat serta matriks penyokong tebal 50 sampai 150 μm (Fathanah *et al*., 2021).

2. Ultrafiltrasi (UF)

   Membran yang memiliki ukuran pori antara 0,01 μm sampai dengan 0,1 μm. Ultrafiltrasi biasanya digunakan untuk memisahkan mikropartikel dan koloid dari larutannya. Membran ultrafiltrasi dan makrofiltrasi merupakan bagian dari membran berpori. Rejeksi suatu zat pelarutnya dipengaruhi oleh ukuran dan besar zat terlarut relative dan ukuran pori-pori membran (Fathanah *et al*., 2021).

3. Nanofiltrasi

   Merupakan membran yang digunakan jika membran ultrafiltrasi dan makrofiltrasi tidak dapat memisahkan air dengan secara sempurna sesuai yang akan diharapkan. Nanofiltrasi akan menghasilkan proses pemisahan yang sangat terjangkau dan ekonomis, tetapi membran ini belum dapat mengolah mineral tersebut warna dan salinan air. Biasanya nanofiltras digunakan untuk menyaring pemisahan gula, eliminasi

warna, dan kesadahan logam berat pada air Sungai (Fathanah et al., 2021).

e. Berdasarkan Gaya Dorong Tekanan

Membran berdasarkan daya dorong tekanan memiliki perbedaan kemampuan membran dalam memfilter suatu partikel dalam air sesuai pada ukurannya. Perbedaan terdapat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbedaan gaya dorong tekanan pada membran (Said, 2018)

Jenis Membran	**Tekanan (bar)**	**Ukuran partikel (mm)**	**Fluks (L/m^2.jam)**
Mikrofiltrasi	0,1 - 2	>0,2	>50
Ultrafiltrasi	1-5	0,1-0,001	10-50
Nanofiltrasi	5-20	0,01-0,001	1,4 - 12
Reserve Osmosis	10-100	<0,001	0,005 – 1,4

f. Berdasarkan Bentuknya

1. Membran datar merupakan membran yang mempunyai penampang pada lintas besar dan lebar. Pada operasi membran datar terbagi atas:

a. Membran datar yang terdiri dari satu lembar saja.
b. Membran dasar yang tersusun pada beberapa lembar bertingkat dengan ditempatkannya pemisah membran yang berdekatan (Bahiyyah, 2023).

2. Membran spiral yaitu membran datar tersusun bertingkat kemudian digulung dengan menggunakan pipa sentral menyerupai spiral (Marlina et al., 2017).
3. Membran tubular adalah membran dengan berbentuk pipa memanjang. Membran tubular terbagi menjadi tiga kelompok, antara lain:
   a. Membran berongga (d < 0,5 mm).
   b. Membran kapiler (d 0,5 – 5,0 mm).
   c. Membran tubular berukuran
   d. (d > 5,0 mm) (Fitri & Fitriana, 2020).

1.3 Metode Sintesis Membran

Beberapa teknik pembuatan membran sebagai berikut:

a. *Stretching*

Stretching merupakan proses produksi membran yang terbuat menggunakan dari polimer semikristalin diregangkan searah dengan arah

proses esktrusi sehingga molekul kristal sejajar satu sama lain. Saat terkena tekanan mekanis, membran tersebut pecah dan membentuk struktur pori. Porositas membran yang dihasilkan melalui teknik 90% (Putri, 2017).

b. *Sintering*

Sintering merupakan teknik yang sangat sederhana dapat dilakukan pada bahan organik dan anorganik. Berbentuk bubuk dan memiliki ukuran tertentu yang dikompresi dan disinter pada suhu tinggi. Metode ini digunakan untuk menghasilkan membran mikrofiltrasi organik dan anorganik yang berpori (Sugiharto, 2022).

c. *Track-etching*

Track-Etching merupakan proses di mana film atau lembaran dipancarkan oleh partikel radiasi dengan energi tinggi tegak lurus terhadap arah film. Metode dikenal dengan metode litografi. Membran dari polimer dengan partikel radiasi berenergi tinggi pada arah tegak lurus terhadap membran. Pori-pori yang akan menghasilkan ukuran seragam (simetri) dan distribusi pori sempit (porositas menurun). Ukuran pori yang diperoleh berkisar antara 0,02-10 μm (Putri, 2017).

d. *Template Leaching*

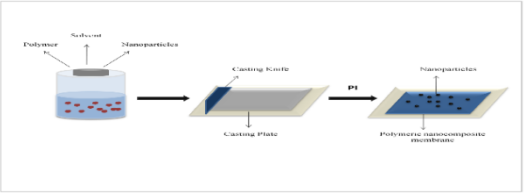
Template-Leaching merupakan metode lain untuk menghasilkan membran berpori dengan menghilangkan atau meleburkan salah satu komponennya. Fasa pertama adalah fasa tidak larut dan mengandung SiO_2 sedangkan fasa kedua adalah fasa yang lariut. Fasa kedua ini, akan dilepas dengan penambahan asam atau basa (Bahiyyah, 2023).

e. *Coating*

Coating merupakan teknik pembuatan membran komposit untuk memperoleh lapisan atas padat sangat tipis. Proses pembuatannya adalah dengan mencelupkan membran asimetrik ke dalam larutan pelapis yang mengandung polimer, pre-polimer, serta pelapis monomer dengan konsentrasi padatan dalam larutan rendah (kurang dari 1%). Membran asimetrik dipisahkan dari bak yang mengandung material pelapis dan pelarut, selanjutnya diperoleh lapisan tipis dari larutan yang menempel pada bak. Film dimasukkan ke dalam oven sehingga pelarut akan menguap dan terjadi *cross linking* (berikatan silang) (Bahiyyah *et al.*, 2023).

f. *Phase Inversion*

Inversi fasa merupakan proses dimana bentuk polimer berubah dari fasa cair menjadi fasa padat dalam kondisi terkendali. Teknik pembuatan membran dengan mentransformasi polimer dari fasa cair ke fasa padat sehingga membentuk membran. Pada teknik ini, diawali dengan pencampuran polimer dengan pelarut hingga homogen, Kemudian pencentakan pada plat kaca dan perendaman dalam bak koagulan yang berisi nonsolvent. Kelarutan polimer dalam non solvent berpengaruh pada pori yang terbentuk (Putri, 2017). Metode inversi fasa dapat dilakukan seperti pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Pembuatan membran dengan metode phase inversion (Behavior et al., 2021)

1.4 Metode Filtrasi Membran

a. *Dead-end*

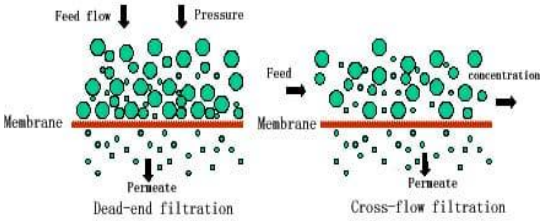
Metode aliran *dead end* adalah metode tegak lurus terhadap membran. Pada sistem dead end,

larutan diberi gaya dorong tekanan untuk melewati membran dengan arah aliran tegak lurus terhadap membran. Kelemahan metode ini yaitu terjadinya *fouling* dan mengakibatkan permeat semakin menurun, dan pada permukaan membran terbentuk lapisan partikel (Jayanti, 2021).

b. *Cross flow filtration*

Metode aliran *cross flow* sejajar dengan membran. Aliran yang digunakan proses ini adalah umpan yang dialirkan melalui suatu membran dengan arah sejajar dengan hanya sebagian yang melewati pori membran untuk menghasilkan permeat, sedangkan aliran pelarut akan melewati permukaan membran sehingga larutan, koloid, padatan yang tersuspensi tertahan oleh membran akan terus terbawa menjadi aliran balik. Penurunan fluks dapat disesuaikan dengan pengaturan kecepatan dari aliran *cross flow*. Pada sistem *cross flow* merupakan jenis aliran yang sering digunakan dan diaplikasikan pada indutrsi daripada *dead end* karena memiliki kecenderungan terjadinya *fouling* yang relatif rendah (Jayanti, 2021).

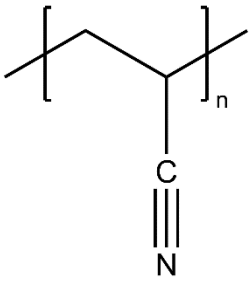
Perbedaan kedua tipe pemisahan dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut:



Gambar 2. 4 Perbandingan sistem filtrasi dead end (A), dan cross flow (B)(Jayanti, 2021)

2. *Polyacrylonitrile* (PAN)

Polyacrylonitrile (PAN) adalah suatu polimer dengan memiliki densitas rendah, elastisitas yang besar dengan kekuatan tinggi. *Polyacrylonitrile* (PAN) dengan nama IUPAC adalah poli(1-akrilonitril) dikenal polimer sintetik dengan struktur semikristalin dengan rumus kimia $(C_3H_3N)n$. Poliakrilonitril mempunyai titik leleh tinggi, serat PAN cenderung terurai sebelum titik lelehnya 317^{o}-330^{o}C (Saufi *et al*., 2002). Keunggulan polimer PAN adalah densitasnya yang rendah, kekuatan mekanik yang tinggi, ketahanan pelarutnya yang baik, dan PAN memiliki ketahanan yang baik terhadap berbagai jenis pelarut. Poliakrilonitril bersifat hidrofilik karena polaritas molekul lebih tinggi, dikaitkan dengan keberadaan gugus nitril polar (Putra *et al*., 2021).



Gambar 2. 5 Struktur PAN (Saufi *et al*., 2002)

Gambar 2.5 menunjukkan struktur PAN dengan menyatakan PAN adalah salah satu polimer serbaguna yang banyak digunakan untuk membuat membran karena sifat yang tahan terhadap pelarut. Digunakan Sebagian untuk nanofiltrasi (NF) dan reverse osmosis (RO) (Saufi *et al*., 2002). Karakteristik fisika dari *Polyacrylonitrile* tercantum pada Tabel 2.2

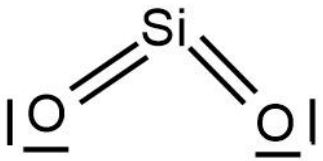
Tabel 2. 2 Karakteristik PAN (Kwon *et al*., 2023)

Sifat	Keterangan
Wujud	Serbuk Putih
Kelarutan Dalam Air	Larut
Titik Didih (^{0}C)	85 ^{o}C
Temperatur Leleh	317^{o}C
Densitas	1,184

3. Silikon Dioksida (SiO_2)

Silikon dioksida (SiO_2) adalah elemen yang paling penting melimpah ditemukan di alam. Dalam industri SiO_2 dikenal sebagai pasir, silika, kuarsa, dan batu api. Silika atau pasir digunakan dalam kaca industri. bentuk tembikar dan industri keramik elektronik (Road *et al*., 2020).

SiO_2 merupakan suatu padatan yang memiliki struktur berpori, dengan adanya struktur berpori dalam silika ini berhubungan dengan luas permukaan. Semakin besar luas permukaan, maka semakin kecil pori-pori yang dimiliki oleh suatu silika sehingga kemampuan adsorpsi silika tersebut bertambah. Struktur SiO_2 dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2. 6 Struktur SiO_2 (Fadhlulloh et al., 2014)

Karakteristik yang dimiliki SiO_2 diantaranya yaitu memiliki struktur titik lebur tinggi, tahan terhadap asam basa serta tidak larut dalam air. SiO_2 relatif terhadap asam kecuali asam hidrofluorida dan asam phospat dapat bereaksi dengan basa kuat seperti hidroksida alkali (Marlina *et al*., 2017). Beberapa karakteristik SiO_2 tercantum pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Karakteristik SiO_2 (Marlina et al., 2017)

Sifat	Keterangan
Wujud	Solid
Konduktivitas Thermal	0,013-0,014
Titik Lebur	1600°-1725°C
Titik Didih	2230°C

Unsur SiO_2 memiliki sifat yang dapat menambah kekuatan lentur pada bahan baku membran dan kekuatan produk. Oleh sebab, itu silika secara luas digunakan dalam bahan industri keramik, polimer, dan komposit. Diameter partikel serbuk silika sangat baik digunakan dalam bidang teknologi seperti analisis terma. Saat ini, aplikasi penggunaan silika pada industri semakin meningkat terutama dalam penggunaan silika pada ukuran partikel yang kecil sampai skala mikron atau nanosilika. Kondisi ukuran partikel bahan baku diperkecil sehingga membuat produk memiliki sifat yang berbeda dan meningkatkan kualitas (Fadhlulloh et al., 2014).

4. *N,N-Dimethylformamide* (DMF)

Dimetilformamida adalah pelarut polimer yang baik dengan memiliki rumus kimia C_3H_7NO. DMF larut dalam pelarut organik. Dimetilformamida mempunyai ciri-ciri yaitu tidak berbau dan berbentuk cairan. DMF merupakan turunan pelarut aprotik polar dengan titik didih yang tinggi. DMF memiliki kegunaan bagi dunia industri yaitu *coupling*

peptide untuk obat-obatan, pembuatan perekat, kulit sintesis, serat, film, lapisan permukaan dan bahan intermediet industri plastik (Mustabsyirah *et al*., 2022). Karakteristik dari DMF tercantum pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Karakteristik *Dimethylformamide* (Mustabsyirah *et al*., 2022)

Karakteristik	Keterangan
Rumus Kimia	C_3H_7NO
Massa Molar	73,10 $g \cdot mol^{-1}$
Penampilan	Tidak berwarna
Bau	Amis, Amonia
Titik Didih	154^oC
Titik Leleh	60,5^oC
Viskositas	0,92

5. Ion Logam Zn^{2+}

Logam *Zink* (Zn) merupakan salah satu logam berat, industri menggunakannya untuk bahan dasar proses industri. Seng sulfat heptahidrat ($ZnSO_4.7H_2O$) adalah salah-satu turunan dari seng yang sering ditemukan. Zn digunakan dalam proses pengolahan logam, pengolahan makanan, hingga industri rumah tangga. Zn sangat berbahaya bagi lingkungan terutama bagi hewan laut dan juga manusia pada konsentrasi tinggi (Harefa, 2018).

Zink memiliki kerapatan 7,14 g/mL karena seng digolongkan sebagai logam berat. Meskipun seng merupakan mikronutrien yang essensial pada konsentrasi rendah, tetapi pada konsentrasi tinggi bersifat racun. Seng dan senyawanya termasuk relatif toksik bila masuk dalam tubuh melalui mulut, larutan garam pada Zn dalam dosis yang sangat besar dapat mengakibatkan radang usus lambung akut ditandai dengan mual, muntah, diare, serta mengakibatkan infeksi pada jaringan selaput lendir (Irfan & Sosiati, 2020).

Logam ini memiliki nomer atom sebesar 30 dengan konfigurasi (Ar) $3d^{10}4s^{2}$. Zn memiliki massa atom yaitu sebesar 65,39 g/mol, titik lebur sebesar 419,53^{o}C, dan titik didih sebesar 907^{o}C (Harefa, 2018).

6. Karakterisasi Membran

Beberapa metode digunakan untuk karakterisasi membran antara lain :

a. Fluks (Permeabilitas)

Permeabilitas adalah jumlah volume permeat yang akan melewati permukaan luas membran dalam waktu tertentu dengan adanya gaya dorong berupa tekanan. Permeabilitas diukur dengan menentukan rejeksi yaitu kemampuan membran untuk menahan partikel terlarut, Karakterisasi ini diperlukan untuk mengetahui kekuatan

membran terhadap gaya luar yang merusak membran (Suryandari, 2020).

Suatu membran dapat ditentukan efektif dan efisien, jika membran tersebut mempunyai nilai fluks yang tinggi. Masalah yang timbul ketika membran mengalami penurunan nilai fluks terhadap waktu. Terjadinya *fouling* akibat terakumulasinya molekul pada pori membran dan terjebak didalamnya (Komari *et al*., 2021). Nilai fluks dihitung menggunakan Persamaan 2.1

$$J = \frac{V}{A\ X\ t} \quad \text{..... (2.1)}$$

J adalah nilai fluks (L/m^2.jam), V merupakan volume permeat (L), A adalah luas permukaan membran (m^2), dan t adalah waktu (jam). Jenis besaran nilai fluks dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2. 5 Kisaran nilai fluks (Bahiyyah, 2023)

Proses Membran	**Besaran nilai fluks (L/m^2.jam)**
Mikrofiltrasi	>50
Ultrafiltrasi	10 - 50
Nanofiltrasi	1,40 - 12
Osmosis Balik	0,05 – 1,4

b. Rejeksi (*Selektivitas*)

Nilai rejeksi ditentukan oleh pori-pori membran. Membran dapat dikatakan mengalami rejeksi sempurna, apabila nilai hasil rejeksinya menunjukkan nilai 100% karena zat terlarut tertahan membran, sedangkan nilai rejeksinya 0%, maka zat terlarut dan pelarut melewati membran tanpa tertahan (Bahiyyah, 2023). Nilai rejeksi dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2.2

$$\% R = \left(1 - \frac{Cp}{Cf}\right) \times 100\% \quad (2.2)$$

R merupakan koefisien rejeksi (%), C_p adalah konsentrat zat terlarut dalam permeat, dan C_f adalah konsentrasi zat terlarut dalam umpan.

c. Uji Kekuatan Mekanik Dengan Uji Kuat Tarik

Uji kekuatan mekanik dengan uji kuat tarik merupakan kemampuan dalam material untuk menahan beban tarikan maksimum yang diberikan terhadap material hingga material dapat tertahan sebelum putus atau sobek. Dengan menarik suatu bahan mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang (Huwidah & Hidayah, 2024). *Modulus young* ialah angka yang digunakan untuk mengukur objek atau ketahanan bahan untuk mengalami deformasi

elastis ketika gaya diterapkan pada benda tersebut (Lestari *et al*., 2018). Pengukuran *tensile strength* akan mendapatkan nilai hasil berupa tegangan *(stress)*, regangan *(strain)*, dan *modulus young*. Tegangan (*stress)* adalah perbandingan antara gaya dengan luas penampang yang mendapat gaya, dinyatakan dalam Persamaan 2.3

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

σ adalah tegangan (MPa), F adalah gaya (N), dan A adalah luas penampang.

Regangan *(strain)* adalah perbandingan antara perubahan panjang terhadap panjang semula, dinyatakan dalam Persamaan 2.4

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{lo} \quad (2.4)$$

ε merupakan regangan, ΔL merupakan perubahan panjang (mm), dan L_0 merupakan panjang awal (mm).

Modulus young adalah perbandingan antara tegangan dan regangan suatu benda, dinyatakan dalam Persamaan 2.5

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.5)$$

E adalah modulus young (MPa), σ merupakan regangan, dan ε merupakan tegangan (MPa) (Suryandari, 2020).

d. *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

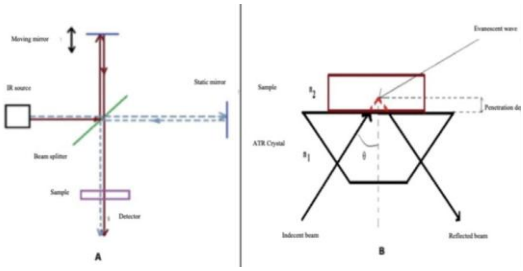
*S*pektroskopi FTIR merupakan metode dengan menggunakan teknik tranformasi *fourier infrared* untuk mendekteksi dan menganalisis spektrum yang dihasilkan. FTIR dapat mengidentifikasi kandungan gugus fungsi senyawa organik dengan menganalisis spektrum yang diperoleh sesuai dengan puncak-puncak yang dibentuk oleh gugus fungsi menggunakan table korelasi dan spektrum senyawa pembanding. Daerah inframerah berada pada spektrum bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1} (Bahiyyah, 2023).

Penggunaan transmisi FTIR (T-FTIR) secara konvensional menggunakan teknil *mull* (KBr-pellets) yaitu spesimen ditumbuk halus dan dicampur dengan KBr, kemudian dibuat seperti bulatan kecil (pellets), sedangkan ATR-FTIR tidak menggunakan teknik KBr (teknik *mull*), namun sampel dapat digunakan maupun di deteksi pada meja spesimen. ATR-FTIR dapat memberikan informasi dan mengidentifikasi gugus fungsional pada sampel (Arsista, 2021).

Spektra yang dihasilkan T-FTIR maupu ATR-FTIR secara fungsional bertujuan untuk mengetahui tipe ikatan dan konformasi molekuler suatu material, namun mekanisme kerjanya berbeda. Pada T-FTIR, sumber sinar

yang dipancarkan akan dipecah oleh pemecah sinar menjadi dua bagian sinar yang saling tegak lurus. Sinar dipantulkan oleh cermin dan akan dipantulkan kembali menuju pemecah sinar untuk saling berinteraksi dan melewati spesimen serta melewati detektor. Sinar yang telah melewati detektor akan menghasilkan bilangan gelombang dan spektra inframerah (IR) yang terlihat pada monitor. Mekanisme kerja yang terjadi pada alat ATR-FTIR adalah sumber sinar yang berasal dari bawah akan dipancarkan sesuai dengan sudut sinar ke arah prisma kristal melewati spesimen dan dipantulkan ke detektor. Sinar yang telah melewati detektor akan menghasilkan bilangan gelombang dan spektra IR yang dapat tercatat dan terlihat pada monitor. Hasil gambaran spektra IR dan bilangan gelombang pada interferogram terjadi karena adanya interaksi antara spektrum IR dengan getaran yang berasal dari ikatan kimia antar atom-atom yang Menyusun suatu material. Penyerapan IR pada suatu senyawa akan mengakibatkan getaran pada atom. Jika getaran terjadi pada jarak interatomik, maka akan mengakibatkan gambaran spektrum IR meregang (*stretching*) dan jika getaran terjadi pada sudut atom, makaakan mengakibatkan gambaran spektrum IR

membengkok (*bending*) (Arsista, 2021). Perbedaan T-FTIR dan ATR-FTIR dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Penampang alat FTIR a) T-FTIR, b) ATR-FTIR

Karakterisasi FTIR memberikan informasi gugus fungsi yang ada dalam sampel berupa keterangan molekul serapan jenis ikatan (O-H, N-H, C-H, C=O, C-N, dan C≡N,) yang dapat diperoleh dalam bagian-bagian kecil tertentu dari daerah vibrasi inframerah (Lusiana *et al*., 2020). Membran PAN akan memiliki gugus fungsi C≡N bilangan gelombang 2242 cm^{-1}, CH_2 bilangan gelombang 2800-3000 cm^{-1}, vibrasi C-H bilangan gelombang 1450 cm^{-1}, gugus fungsi C=C bilangan gelombang 1600-1680 cm^{-1}, dan vibrasi ulur OH pada bilangan gelombang 3400 cm^{-1} (Chand *et al*., 2022). Ringkasan data bilangan gelombang pada PAN dinyatakan pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Data bilangan gelombang PAN (Chand *et al*., 2022)

Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi
2242 cm^{-1}	-C≡N
2800-3000 cm^{-1}	$-CH_2$
1450 cm^{-1}	Vibrasi C-H
1600-1680 cm^{-1}	-C=C
3400 cm^{-1}	Vibrasi ulur -OH

e. *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM *Mapping* EDX)

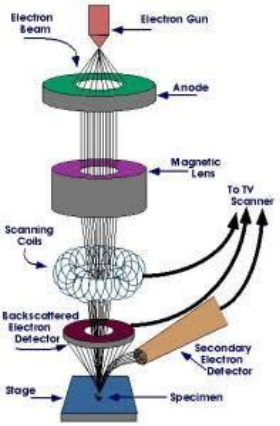
Scanning electron microscopy (SEM) memiliki fungsi untuk mengetahui morfologi secara detail permukaan sampel. SEM adalah salah satu teknik berbasis mikroskop elektron yang sering digunakan untuk melihat detail permukaan suatu padatan. Resolusi dari SEM memiliki batasan berkisar 10 nm dengan perkembangan teknologi, nilai resolusi dapat ditingkatkan hingga mencapai 5 nm. SEM dapat mengamati semuan bentuk struktur membran, diantaranya struktur permukaan membran, dan penampang pada lintang membran (Jayanti, 2021).

Analisa SEM pada membran digunakan untuk mengetahui struktur morfologi dan ukuran pori permukaan membran yang akan berpengaruh terhadap kinerja membran saat proses uji filtrasi. Elektron berinterkasi dengan atom-atom sehingga spesimen

menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang topografi permukaan spesimen, komposisi, dan karakteristik lainnya. Prinsip kerja SEM yaitu dengan menembakkan permukaan benda pada berkas elektron bernergi tinggi dari interaksi tersebut dapat ditentukan diameter partikel penyusun suatu benda (Wijayanto & Bayuseno, 2014).

Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX) adalah teknis analisis untuk menganalisis unsur atau karakteristik kimia dari spesimen. Karakteristik bergantung dari interaksi beberapa eksitasi sinar X dengan spesimen. Kemampuan untuk mengkarateristik sejalan dengan prinsip dasar yang menyatakan bahwa setiap elemen memiliki struktur atom yang unik dari struktur atom suatu unsur, sehingga memungkinkan sinar x mengidentifikasinya. Sinar energi tinggi yang bermuatan partikel seperti elektron atau proton difokuskan ke spesimen yang mengandung elektron dasar di masing-masing tingkat energi. Sinar yang dihasilkan dapat mengeksitasi elektron di kulit dalam ke kulit luar. Sebuah elektron dari luar kulit yang berenergi lebih tinggi dengan kulit yang berenergi rendah dapat dirilis dalam bentuk sinar X. Jumlah energi dari sinar X yang dipancarkan dari spesimen diukur dan

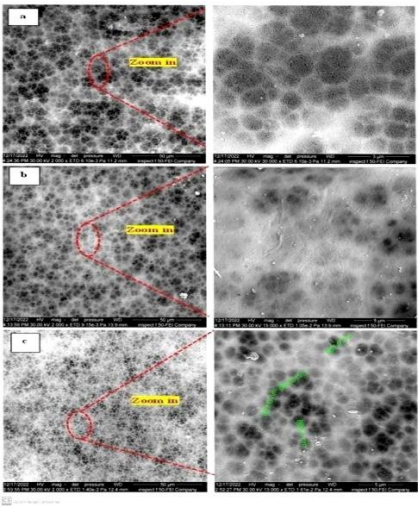
menghasilkan komposisi unsur spesimen. Kelebihan SEM yaitu untuk menghasilkan bayangan dengan resolusi tinggi, sedangkan kekurangannya yaitu SEM tidak sanggup mengamati ukuran partikel dalam orde beberapa nanometer (Wijayanto & Bayuseno, 2014). Skema alat SEM *Mapping* EDX dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Penampang alat SEM *Mapping* EDX

Dapat dilihat Gambar 2.9 menunjukkan gambar SEM membran PAN dengan berbagai konsentrasi yang dibuat dengan metode inversi fasa. Menurut penelitian Putra *et al*., (2021) peningkatan konsentrasi PAN membuat membran lebih padat dengan ukuran pori yang lebih sempit. Hal ini dikarenakan peningkatan viskositas larutan yang membatasi pergerakan rantai polimer

menghasilkan morfologi permukaan yang lebih padat dan lebih halus.

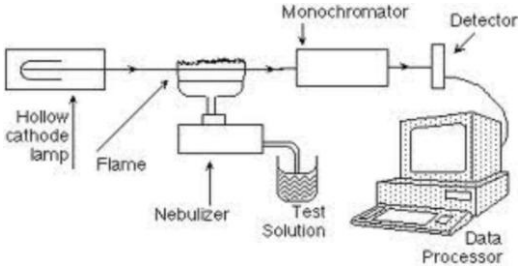


Gambar 2. 9 Morfologi Membran PAN (dilihat dengan SEM) a) PAN 10%, b) PAN 12%, c) PAN 14% (Putra *et* al., 2021)

f. *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS)

AAS adalah alat yang digunakan untuk mengetahui kadar dari suatu logam, baik logam berat maupun logam ringan. Cara kerja AAS berprinsip pada adsorpsi cahaya oleh atom ketika diserap pada panjang gelombang tertentu sesuai dengan sifat unsurnya. Peristiwa yang terjadi dalam AAS meliputi perubahan menjadi atom-atom bebas dari sampel dan absorpsi radiasi sumber

eksternal oleh atom. Alat AAS terbagi menjadi tiga bagian pokok penting yaitu sumber radiasi yang berfungsi menghasilkan sinar berupa lampu katoda cekung, sumber pengatoman sebagai penghasil atom bebas (Anis Shofiyani, Edi Sukirno, 2017).



Gambar 2. 10 Penampang alat AAS

Gambar 2.10 menjelaskan bahwa sampel yang akan dianalisis diubah menjadi bentuk gas atau uap dengan cara pemanasan hingga suhu tinggi. Pemanasan ini dapat mengubah unsur-unsur dalam sampel menjadi atom bebas. Cahaya dari lampu atom unsur yang spesifik dipancarkan melalui sampel yang telah diatomisasi. Atom-atom unsur dalam sampel akan menyerap cahaya pada panjang gelombang yang sesuai dengan sifat atom tersebut. Intesitas cahaya yang diserap kemudian diukur dan dibandingkan dengan intensitas cahaya yang melewati sampel kosong. Perbedaan intensitas ini dapat

memberikan informasi tentang konsentrasi unsur dalam sampel (Bahiyyah *et al*., 2023).

B. Kajian Pustaka

Penelitian ini mengacu penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan. Pada penelitian Aprilia *et al*., (2013) tentang kombinasi proses koagulasi dan sistem ultrafiltrasi dengan membran poliakrilonitril untuk pemurnian air berwarna menyatakan bahwa hasil penelitian ini menunjukkan fluks membran PAN pada konsentrasi 15% paling besar dibandingkan membran PAN dengan konsentrasi 20% dan 25%. Fluks tersebut lebih tinggi karena membran PAN dengan konsentrasi polimer sebesar 15% dan memiliki pori yang besar dibandingkan membran PAN dengan konsentrasi 20% dan 25%. Konsentrasi polimer yang semakin bertambah akan mengurangi nilai fluks karena semakin sedikit jumlah pori yang terbentuk. Berdasarkan hasil penelitian penentuan koefisien permeabilitas membran dapat diketahui bahwa PAN 15% memiliki koefisien permeabilitas 532,17 L/m^2, sedangkan untuk membran PAN 20% dan 25% nilai permeabilitasnya yang dihasilkan yaitu 503,30 L/m^2 dan 259,26 L/m^2. Hasil pengamatan morfologi membran yang dihasilkan menggunakan SEM menunjukkan membran 15% ditandai

dengan bentuk struktur jari yang Panjang dan dengan densitas yang lebih tinggi dari membran PAN 25%.

Penelitian yang dilakukan oleh Tarigan, (2023) tentang karakteristik membran asimetris polietersulfon (PES) dengan pelarut *dimetilformamide* dan *N-Metil-2-pyrolidine* menyatakan bahwa kinerja membran PES/DMF terhadap pemisahan larutan dekstran memberikan nilai fluks yang lebih tinggi daripada membran PES/NMP. Fluks tertinggi diperoleh pada membran PES/NMP sebesar 11,4 L/m^2, dan membran PES/NMP sebesar 10,2 L/m^2. Pelarut DMF memiliki fluks yang lebih tinggi karena karakteristik lapisan yang tipis dan pori-pori makrovoid besar. Rejeksi membran PES/NMP yaitu mencapai 94,6%, sedangkan membran PES/DMF adalah mencapai 91,5%. Membran PES/DMF memiliki pori lebih besar dan lebih bnayak dibandingkan membran PES/NMP. Membran PES/DMF mempunyai lapisan yang rapat *(dense layer)* lebih tipis dibandingkan dengan membran PES/NMP sehingga fluks yang melewati membran akan lebih tinggi.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Wianto et al., (2024) yaitu tentang penyisihan logam seng (Zn^{2+}) pada limbah elektrosplating menggunakan membran kitosan dan zeolit menghasilkan nilai rejeksi 54,6% dengan konsentrasi awal 3,12 mg/L menjadi 1,418 mg/L dan menghasilkan nilai fluks

hingga 80,61 L/$m^{2,}$ membran yang diperoleh belum sepenuhnya memenuhi syarat untuk pemisahan logam Zn dikarenakan membran tersebut masih meiliki pori yang lebih besar dari ukuran jari-jari logam Zn. Banyaknya kandungan zeolite dalam membran mempengaruhi penyerapan logam Zn dan membran yang dihasilkan belum sepenuhnya memenuhi syarat untuk pemisahan logam Zn dikarenakan membran tersebut masih memiliki pori yang lebih besar dari ukuran jari-jari logam Zn.

Penelitian lain dilakukan oleh Sugiharto, (2022) yaitu tentang preparasi dan karakterisasi membran PVDF-SiO_2 untuk penyaringan ion logam Pb^{2+} menghasilkan membran PVDF dengan penambahan silika mampu memfiltrasi ion logam Pb^{2+} dan mengurangi hasil kadar timbal dari 10 mg/L menjadi 0,09 mg/L pada membran 10%, dan 0,02 mg/L pada membran PVDF-SiO_2 15%, serta meningkatkan nilai fluks sebesar 41,886 L/m^2.jam dengan persen rejeksi sebesar 99,8% pada membran. Nilai kuat tarik terbesar terdapat pada membran-SiO_2 dengan konsentrasi 15%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan silika maka nilai kuat tariknya semakin besar. Penambahan SiO_2 lebih tinggi daripada membran PVDF dapat meningkatkan sifat hidrofilitas pada membran, sehingga pori-pori pada membran juga semakin besar.

C. Hipotesis Penelitian

Jika penambahan SiO_2 ditambahkan ke dalam membran poliakrilonitril (PAN), maka diharapkan mampu meningkatkan kekuatan mekanik, fluks, dan rejeksi. Karena SiO_2 memiliki sifat porositas dan gugus -OH pada permukaan SiO_2 dapat memperkuat matriks polimer serta mempermudah air untuk melewati pori-pori membran, sehingga mampu menurunkan kadar ion logam Zn^{2+}.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

A. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah batang pengaduk, gelas beaker, gelas ukur, labu ukur, pipet volume, pipet tetes, kaca arloji, bak koagulasi, lakban, alumunium foil, plat kaca ukuran 12 cm x 5 cm, neraca analitik, magnetic bar, magnetic stirrer, satu set uji filtrasi *cross-flow*, alat uji kuat tarik *(Brookfield CT 3 4500)*, *Instrumen Fourier Transform Infra-red (*FTIR*) (PerkinElmer Spectrum IR Version 10.6.1)*, Instrumen SEM-EDX *mapping (Jeol JSM-6510 La)*, dan *Atomic Absorption Spektrofotometer* (AAS) (*Thermo Scientific iCE 3000 AA05194702*).

B. Bahan

Polyacrylonitrile (PAN) (*Merck, China*), *Silicon Dioksida* (SiO_2) *(Merck)*, *Dimethylformamide* (DMF) (*Merck, Germany*), aseton, serbuk $ZnSO_4.7H_2O$ (*Merck*), dan akuades (H_2O).

B. Langkah Kerja

1. Cara Membuat Membran

a. Membran Poliakrilonitril *(*PAN)

Pada langkah pertama dibuatkan membran PAN ini yaitu dengan dicampurkan polimer PAN dengan pelarut DMF. Poliakrilonitril dengan variasi % berat yang berbeda-beda yaitu 15%, 20%, dan 25% dilarutkan ke dalam 10 mL pelarut DMF. Dilarutkan pelarut dan polimer dengan *magnetic stirrer* selama 1 jam pada kecepatan putaran 300 rpm. Metode ini dilakukan dengan cara dicetak membran di atas plat kaca, kemudian membran diratakan menggunakan batang pengaduk. Plat kaca dicelupkan ke dalam bak koagulasi berisi aquades dan ditunggu hingga membran memisah dari cetakannya. Membran yang sudah terbentuk diangkat dan ditiriskan selama 1 hari hingga mengering dan dilakukan uji karakterisasi. Semua variasi PAN diuji dengan kuat tarik, sedangkan PAN yang paling optimum berdasarkan hasil kuat tarik diuji dengan sudut kontak, FTIR, SEM-EDX dan mapping (Hidayah *et al*., 2021).

b. Membran PAN-SiO_2

Pada tahap pembuatan membran PAN-SiO_2 dimulai dengan disiapkan berat PAN dengan konsentrasi optimum berdasarkan uji kuat tarik, ditambahkan SiO_2 dengan konsentrasi 5%, 10%, dan 15% dilarutkan dalam 10 mL pelarut DMF. Dilarutkan pelarut dan polimer seluruhnya dengan magnetic stirrer pada kecepatan 300 rpm selama 1 jam hingga campuran homogen dan terbentuk gel, dan membran di cetak pada plat kaca. Kemudian plat kaca dicelupkan ke dalam bak koagulasi. Membran yang telah terbentuk diangkat dan ditiriskan selama 1 hari hingga membran mengering dan dilakukan uji karakterisasi(Aprilia et al., 2013). Semua variasi PAN-SiO2 dilakukan uji kuat tarik, sudut kontak, dan FTIR, sedangkan variasi PAN-SiO2 paling optimum dikarakterisasi dengan SEM-EDX dan mapping (Hidayah *et al*., 2021).

c. Karakteristik Membran

a. Uji Kekuatan Mekanik Menggunakan Uji Tarik

Karakterisasi membran PAN dan PAN-SiO_2 dengan pengujian pada kuat tarik menggunakan alat *Universal Testing Machine* dengan tujuan

untuk mengetahui sifat mekanik membran. Sampel membran dipotong melingkar 2,5 x 0,5 cm, kemudian kedua ujungnya dijepit dengan alat uji kuat tarik dan ditarik hingga membran terputus. Data yang diperoleh meliputi strain (regangan) dan stress (tegangan) pada kondisi minimal dan maksimal. Uji ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro. Untuk menghitung nilai tegangan digunakan Persamaan 2.3, untuk menghitung regangan digunakan Persamaan 2.4, dan untuk menghitung *modulus young* digunakan Persamaan 2.5 (Hidayah et al., 2021).

b. Uji *Contact Angle* (Sudut Kontak)

Karakterisasi dengan uji sudut kontak pada membran PAN dan PAN-SiO_2 dilakukan dengan memotong membran ukuran 2 cm x 2 cm, kemudian diteteskan air dan diambil gambar menggunakan alat sudut kontak. Hasil pengujian berupa data besaran sudut yang terbentuk antara tetesan cairan dengan permukaan padat tempat keduanya bertemu, membran bersifat hidrofilik, jika membran memiliki tingkat kebasahan yang tinggi dilihat dari nilai sudut kontak kurang dari

90^0, sedangkan membran bersifat hidrofobik, jika membran memiliki tingkat kebasahan yang rendah yaitu dilihat dari nilai sudut kontak lebih dari 90^0. Uji ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Diponogoro (Hidayah et al., 2021).

c. Analis FTIR

Analisa setiap membran menggunakan ATR-FTIR bertujuan untuk menentukan gugus fungsi pada membran PAN dan membran PAN-SiO_2. Sampel membran dipotong 2 cm x 2cm, kemudian sinar inframerah diarahkan sesuai dengan sudut sinar kritis ke arah prisma ATR melewati spesimen dan dipantulkan ke detektor. Sinar yang telah melewati detektor akan menghasilkan bilangan gelombang dan spektra IR yang dapat tercatat dan terlihat pada monitor. Hasil bilangan gelombang, muncul pada rentang bilangan gelombang 4000-500 cm^{-1}. Karakterisasi FTIR dilakukan di Laboratorium Fisika Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang (Zulaekah, 2021).

d. Uji SEM Mapping EDX

Karakterisasi dengan menggunakan SEM bertujuan untuk menentukan morfologi pada membran PAN dan PAN-SiO_2 optimum. Sampel yang akan diuji dipotong dengan diameter 0,8 cm. Potongan membran kemudian dilapisi emas (Au) agar sampel lebih konduktif melalui proses pelapisan *sputter coater*. Sampel dimasukkan ke ruang vakum instrumen SEM dan diamati pada perbesaran tertentu. Analisis diawali dengan penentuan morfologi membran menggunakan SEM, kemudian analisis EDX menghasilkan peta distribusi unsur (*mapping*) berdasarkan karakteristik energi sinar-X spesifik dari setiap unsur pada membran (Bahiyyah et al., 2023; Wijayanto & Bayuseno, 2014). Karakterisasi dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

e. Uji Filtrasi

Membran PAN dan PAN-SiO_2 dipotong sesuai ukuran diameter sel filtrasi membran dan kertas saring yaitu diameter 4,5 cm, selanjutnya dimasukkan kertas saring dan membran pada alat filtrasi, kemudian dimasukkan sampel

larutan ion logam Zn^{2+} konsentrasi 10 ppm pada tempat yang terdapat dalam alat filtrasi dan ditutup rapat. Membran diberi tekanan 4 bar sampai larutan dapat menembus selama 30 menit. Nilai fluks yang didapatkan dengan mengukur volume larutan yang akan melewatinya. Nilai rejeksi didapatkan dengan mengukur konsentrasi pada sampel sebelum dan sesudah melewati membran. Untuk menghitung nilai fluks dan rejeksi dapat digunakan Persamaan 2.1 dan Persamaan 2.2 (Hidayah *et al*., 2021).

d. Pengukuran Kadar Ion Logam Zn^{2+}

a. Pembuatan larutan baku ion logam Zn^{2+} 1000 ppm

$ZnSO_4.7H_2O$ ditimbang sebanyak 0,4415 gram kemudian dilarutkan dengan akuades, kemudian dimasukkan ke labu ukur 100 mL dan ditambahkan akuades hingga tanda batas lalu dikocok hingga homogen (Ujianti *et al*., 2022).

b. Pembuatan larutan ion logam Zn^{2+} 10 ppm

Larutan ion logam Zn^{2+} 1000 ppm yang sudah dibuat, lalu dipipet 10 mL dan dimasukkan ke

dalam labu ukur 1000 mL, ditambahkan akuades hingga tanda batas dan dihomogenkan sehingga didapatkan konsentrasi larutan sebesar 10 ppm (Ujianti *et al*., 2022).

c. Pembuatan Kurva Standar

Tabel 3. 1 Data Kurva Standar

Larutan Standar Ion Zn^{2+} 10 ppm (mL)	**Konsentrasi (mg/L)**
0	0
0,2 mL	0,0002
0,5 mL	0,0005
1 mL	0,001

Larutan standar ion logam Zn^{2+} 10 ppm dipipet sebanyak 0, 0,2 mL, 0,5 mL, dan 1 mL, dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, ditambahkan aquades sampai tanda batas dan dihomogenkan hingga diperoleh larutan standar ion Zn^{2+} dengan konsentrasi 0; 0,0002; 0,0005; dan 0,001 mg/L, kemudian dianalisis nilai absorbansinya dengan *Atomic Absorption Spektrofotometer* (AAS). Hasil yang diperoleh dibuat kurva kalibrasi absorbasi dan konsentrasi

sehingga didapatkan persamaan garis lurus y = ax + b (Blesstinov *et al*., 2017).

d. Pengukuran Ion Logam Zn^{2+}

Larutan ion Zn^{2+} sebelum dan sesudah filtrasi dianalisis dengan menggunakan *Atomic Absorption Spektrofotometer* pada rentang panjang gelombang 213,86 nm. Absorbansi yang diperoleh dapat dihitung menggunakan persamaan garis lurus y = ax + b sehingga didapatkan konsentrasi ion logam Zn^{2+} (Blesstinov *et al*., 2017).

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

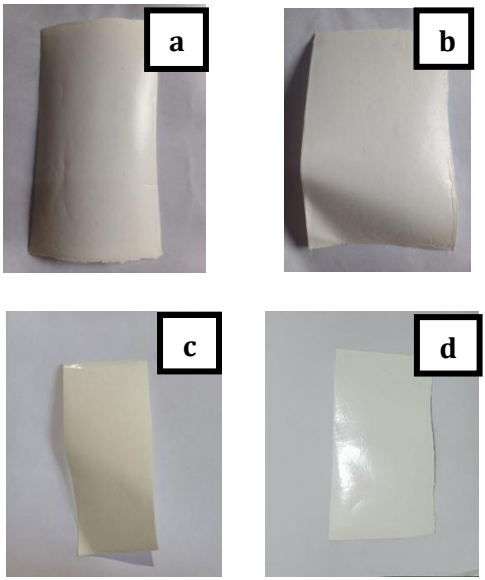
Bab ini menyajikan hasil dan pembahasan pembuatan membran PAN dan PAN-SiO_2. Membran yang sudah dibuat kemudian dikarakterisasi uji kekuatan mekanik menggunakan uji *tensile strength*, sudut kontak (*contact angel*), uji filtrasi untuk mengetahui nilai fluks dan nilai persen rejeksinya. *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi pada membran dan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX Mapping) untuk identifikasi morfologi membran, komponen pada membran dan persebaran unsur-unsur pada membran.

A. Pembuatan Membran

1. Membran PAN

Proses pembuatan membran poliakrilonitril (PAN) dimulai dengan membuat variasi konsentrasi 15%, 20%, dan 25% dengan polimer PAN sebagai polimer utama dan larutan *Dimethylformamide* (DMF) sebagai pelarut. Tujuan variasi membran untuk mengetahui konsentrasi membran PAN paling optimum. Membran dicetak menggunakan metode inversi fasa (*wet phase inversion*). Metode ini dilakukan dengan cara

mencetak membran di atas plat kaca kemudian diratakan menggunakan batang pengaduk. Sebelum dicetak menjadi membran, larutan didiamkan selama 30 menit untuk mengurangi gelembung dalam larutan. Membran yang telah dicetak di atas plat kaca kemudian dimasukkan ke dalam bak koagulasi berisi aquades dan ditunggu hingga membran terlepas dari plat kaca, kemudian diangkat dan dikeringkan. Gambar 4.1 menunjukkan membran PAN.



Gambar 4. 1 Membran a) PAN 15%, b) PAN 20%, c) PAN 25%, d) PAN 30%

Gambar 4.1 menunjukkan hasil dari membran PAN dengan variasi konsentrasi. Menurut Tan & Rodrigue, (2019) menyatakan bahwa konsentrasi pada polimer merupakan komponen pembentuk matriks dan akan mempengaruhi morfologi akhir pada membran.

Pada konsentrasi membran PAN 15% jumlah rasio polimer yang dilarutkan terlalu sedikit dibandingkan pelarut, menyebabkan konsentrasi membran PAN 15% tidak cukup tinggi untuk membentuk membran yang baik, sehingga interaksi antar rantai PAN menjadi minim. Hal ini terjadi karena jumlah molekul polimer yang rendah tidak mampu membentuk jaringan antar rantai yang rapat dan terbentuk ruang kosong pada matriks membran (Tan & Rodrigue, 2019). Ketika konsentrasi dinaikan menjadi 20% jumlah rantai polimer yang terlarut meningkat, sehingga jarak antar rantai PAN berkurang, pada membran PAN 25% perbandingan polimer dan pelarut berada pada titik optimum. Dalam kondisi ini, viskositas larutan cukup tinggi untuk mengontrol laju difusi pelarut keluar saat proses pembentukan membran menghasilkan permukaan yang semakin baik, interaksi antar rantai PAN menjadi semakin kuat dan rapat (Putra *et al*., 2021). Oleh karena itu,

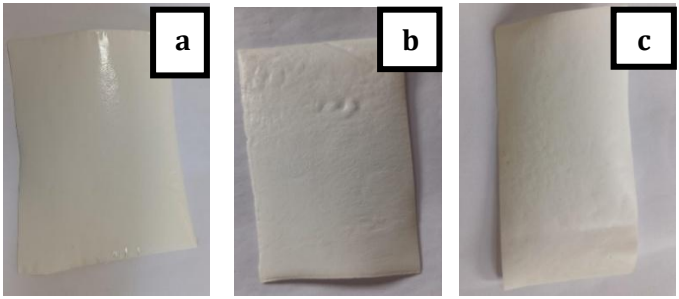
peningkatan konsentrasi PAN 25% menghasilkan struktur yang merata antar molekul pada membran PAN, sehingga memiliki kekuatan mekanik yang tinggi (Fathanah *et al*., 2019).

Namun, pada konsentrasi PAN 30% rasio polimer yang ditambahkan melebihi batas optimum, viskositas larutan yang dihasilkan terlalu tinggi dan sulit homogen menyebabkan pergerakan rantai polimer berkurang (Tan & Rodrigue, 2019), pada membran PAN 30% tidak cukup untuk membentuk pori-pori, sehingga struktur membran PAN 30% tidak merata dan menurunkan kekuatan mekaniknya (Fathanah *et al*., 2019).

2. Membran PAN-SiO_2

Pada pembuatan membran PAN-SiO_2 sama dengan pada proses pembuatan membran PAN. Namun, pada pembuatan membran PAN-SiO_2 ditambahkan SiO_2 yang berperan sebagai zat aditif yang dapat meningkatkan kekuatan mekanik, fluks, rejeksi, pembentukan permukaan membran, dan mengurangi hidrofilisitas. Pembuatan membran PAN-SiO_2 dimulai membuat larutan terdiri dari konsentrasi terbaik PAN yaitu konsentrasi PAN 25%. Penambahan SiO_2 dilakukan dengan konsentrasi yang berbeda yaitu

0,5%, 1%, dan 1,5% yang bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum membran dari berbagai variasi. Membran PAN-SiO_2 dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Membran a) PAN-SiO_2 0,5%, b) PAN-SiO_2 1%, c) PAN-SiO_2 1,5%

Gambar 4.2 menunjukkan hasil membran PAN-SiO_2 dengan berbagai konsentrasi. Pada konsentrasi PAN-SiO_2 0,5% partikel SiO_2 mulai berinteraksi dengan gugus nitril PAN melalui ikatan hidrogen. Jumlah SiO_2 yang terdispersi masih sedikit, sehingga penguatan terhadap matriks PAN belum maksimal menyebabkan kekuatan mekaniknya cenderung rendah, karena peran SiO_2 dalam memperkuat ikatan rantai polimer belum signifikan (Fathanah *et al.*, 2019). Ketika nilai konsentrasi PAN-SiO_2 dinaikan menjadi 1%, terjadi aglomerasi pada membran yang mempengaruhi stabilitas struktural membran PAN, dispersi SiO_2 yang

tidak merata dalam matriks membran mengakibatkan partikel SiO_2 tidak dapat memberikan energi yang seragam dan pembentukan interaksi ikatan antar molekul menjadi lemah mengakibatkan penurunan sifat mekaniknya (Ahmed & Siraj, 2021). Pada membran PAN-SiO_2 1,5% membran berada pada titik optimum, partikel SiO_2 yang terdispersi lebih banyak dan merata dapat bertindak sebagai penguat yang signifikan, hal ini disebabkan interaksi -C≡N dari PAN dengan gugus -OH dari SiO_2 semakin kuat membentuk struktur membran yang rapat, sehingga membran mempunyai nilai kekuatan mekanik yang besar (Khedr & Elhady, 2025).

B. Karakterisasi Membran

1. Uji Kekuatan Mekanik Dengan Uji Tarik

Pengujian kekuatan mekanik pada membran PAN bertujuan untuk mendapatkan konsentrasi optimum PAN yang akan digunakan sebagai komposisi pembuatan membran PAN-SiO_2. Pengukuran sifat mekanik umumnya digunakan untuk mengukur kekuatan membran terhadap gaya yang dibutuhkan dalam membuat membran terputus.

Pengujian kekuatan mekanik dilakukan dengan menyiapkan sampel membran yang dipotong ukuran 2,5 x 0,5 cm, selanjutnya diuji dengan alat *tensile strength* (*Brookfield CT 3 4500*). Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian kekuatan mekanik membran PAN.

Tabel 4. 1 Hasil uji kekuatan mekanik membran PAN

Membran PAN (b/v)	Kuat Tarik (MPa)	Elongasi (%)	Modulus Young (MPa)
15%	0,189	1,314	0,143
20%	0,250	3,436	0,072
25%	1,341	3,306	0,405
30%	1,191	10,423	0,114

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan komposisi PAN, maka sampel memiliki kecenderungan pada kenaikan kekuatan mekaniknya. Namun, pada membran PAN 30% mengalami nilai penurunan kekuatan mekanik. Hal ini dikarenakan penambahan polimer secara berlebihan atau melewati batas optimum, akan terbentuk aglomerasi pada membran PAN, sehingga cenderung melemahkan ikatan antar molekul pada membran PAN (Prayoga *et*

al., 2020). Selain itu, penyebaran partikel yang tidak merata juga akan menyebabkan membran mudah rapuh dan memiliki nilai kekuatan mekanik lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi optimum (Fathanah *et al*., 2019).

Membran dengan kekuatan mekanik terbaik diperoleh pada membran PAN 25% dengan nilai kuat tarik 1,341MPa, nilai elongasi 3,306%, dan *modulus young* 80,225 MPa. Hal ini disebabkan oleh tingginya interaksi antar rantai polimer yang mampu membentuk jaringan yang rapat dan saling berikatan (Putra *et al*., 2021). Selain itu, distribusi partikel lebih seragam, membuat beban mekanik dapat tersebar merata dan meningkatkan nilai kekuatan mekaniknya (Fathanah *et al*., 2019). Membran PAN 25% dilakukan uji filtrasi karena semakin kuat ikatan antar rantai PAN dalam membran, sehingga membran PAN 25% ini yang akan digunakan dalam pembuatan membran PAN-SiO_2 dengan variasi 0,5%, 1%, dan 1,5%. Dilakukan pengujian kekuatan mekanik untuk mengetahui sifat mekanik membran. Tabel 4.2 menunjukkan hasil uji kekuatan mekanik membran PAN- SiO_2.

Tabel 4. 2 Hasil uji kekuatan mekanik membran PAN-SiO_2

PAN-SiO_2 (b/v)	Kuat Tarik (MPa)	Elongasi (%)	Modulus Young (MPa)
0%	1,341	3,306	0,405
0,5%	15,661	15,667	0,677
1%	5,101	12,167	0,419
1,5%	9,713	5,667	1,713

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa penambahan silika meningkatkan nilai *modulus young*. Tingginya nilai *modulus young* merupakan ukuran baik dan tidaknya kinerja pada membran. Nilai kekuatan mekanik berdasarkan nilai *modulus young* paling besar terdapat pada membran PAN-SiO_2 1,5%. Hal ini disebabkan adanya SiO_2 yang berinteraksi secara kompleks dengan matriks polimer, sehingga ikatan hidrogen mampu meningkatkan kekuatan mekanik (Acarer, 2022). Penambahan SiO_2 1,5% terdispersi merata dan mengisi ruang kosong dalam matriks PAN menyebabkan jarak antar molekul membran semakin rapat, sehingga distribusi beban mekanik lebih merata ketika membran mengalami regangan (Fathanah *et al*., 2019). Adanya SiO_2 yang terdispersi pada matriks

polimer membantu menahan beban ketika membran diberi gaya tarik, sehingga tegangan tidak hanya di tanggung oleh rantai PAN, tetapi adanya kontribusi partikel SiO_2 (Emamirad & Javadpour, 2020). Selain itu, interaksi ikatan antara polimer PAN dengan partikel SiO_2 membentuk jaringan yang saling berhubungan secara kuat untuk menahan deformasi, meskipun pada konsentrasi 1% tidak memberikan peningkatan terhadap kekuatan mekanik, namun pada konsentrasi 1,5% terjadi peningkatan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah SiO_2 yang lebih tinggi mampu berinteraksi lebih optimal dengan matriks polimer, sehingga meningkatkan sifat kekuatan mekanik, meningkatkan sudut kontak, fluks, rejeksi, dan morfologi pada membran (Khedr & Elhady, 2025).

2. Analisis Uji Sudut Kontak

Hidrofisilitas dan hidrofibisitas membran dianalisis melalui pengukuran sudut kontak antara permukaan membran dan tetesan air dengan memanfaatkan *contact angle meter* (Rahmadi *et al*., 2021). Membran yang diklasifikasikan bersifat hidrofilik harus mempunyai sudut kontak melebihi 0^0 dan kurang dari 90, sedangkan sudut kontak lebih dari 90^0,maka

membran tersebut memiliki sifat hidrofobik (Khedr & Elhady, 2025). Uji sudut kontak membran dilakukan pada membran PAN 25%, PAN-SiO_2 0,5%, PAN-SiO_2 1%, dan PAN-SiO_2 1,5%. Hasil uji sudut kontak dapat dilihat pada Tabel 4.3. Tabel 4.3 menunjukkan hasil analisis sudut kontak membran PAN dan PAN-SiO_2.

Tabel 4. 3 Hasil sudut kontak membran

Membran	Sudut Kontak (^{o})
PAN	63,13
PAN-SiO_2 0,5%	64,64
PAN-SiO_2 1%	66,03
PAN-SiO_2 1,5%	67,87

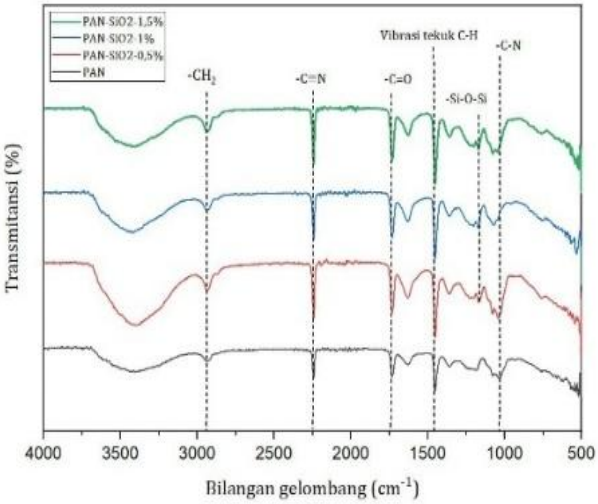
Tabel 4.3 menunjukkan terjadinya kenaikan nilai derajat sudut kontak seiring dengan bertambahnya SiO_2. Membran PAN-SiO_2 menunjukkan sudut kontak sebesar $67{,}87^0$ yang masih berada dibawah 90^0, sehingga permukaan membran tetap tergolong hidrofilik (Khedr & Elhady, 2025).

Penambahan SiO_2 ke dalam membran PAN menyebabkan terjadinya interaksi antara gugus nitril (-C≡N) PAN dengan gugus (-OH) pada permukaan SiO_2. Interaksi ini mengurangi jumlah gugus polar yang ada pada matriks PAN. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya kandungan SiO_2 pada membran, maka

menyebabkan sedikit menurunkan sifat hidrofisilitas PAN (Andinnawati, 2024). SiO_2 yang terdispersi secara merata dalam matriks PAN dapat membatasi pergerakan rantai polimer, sehingga mengurangi kemampuan PAN berinteraksi dengan molekul air (Khedr & Elhady, 2025). Selain itu, gugus -OH pada SiO_2 bertanggung jawab atas sifat hidrofilik, karena gugus -OH pada permukaan SiO_2 tetap berinteraksi dengan molekul air melalui ikatan hidrogen yang akan mendukung proses penyerapan air pada membran, sehingga meningkatkan nilai fluks dan rejeksi (Emamirad & Javadpour, 2020)

3. Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR

Membran PAN dan membran PAN-SiO_2 hasil sintesis dilakukan karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dengan tujuan untuk mengindentifikasi gugus fungsi dan ikatan yang terjadi antara material yang digunakan. Pengujian FTIR dilakukan pada rentang bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1} seperti Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Spektra FTIR Membran PAN 25%, Membran PAN-SiO_2 0,5%, Membran PAN-SiO_2 1%, dan Membran PAN-SiO2 1,5%

Spektra FTIR setiap membran yang ditunjukkan pada Gambar 4.3, dilakukan analisis gugus fungsinya. Hasil analisis gugus fungsi yang diperoleh dari Gambar 4.3 dipaparkan melalui Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Analisis gugus fungsi membran PAN dan PAN-SiO_2

Gugus	Bilangan Gelombang (cm^{-1})			
	PAN	PAN-SiO_2		
		0,5%	1%	1,5%
Si-O-Si	-	1168,31	1171,42	1170,89
-C≡N	2243,19	2242,87	2242,82	2243,01
-C=O	1731,46	1627,52	1632,22	1627,09
C-N	1041,50	1041,84	1071,69	1077,17
$-CH_2$	2937,83	2939,11	2937,21	2940,08
Vibrasi O-H	-	3402,19	3412,73	3427,45
Vibrasi tekuk C-H	1453,12	1453,05	1452,84	1452,97

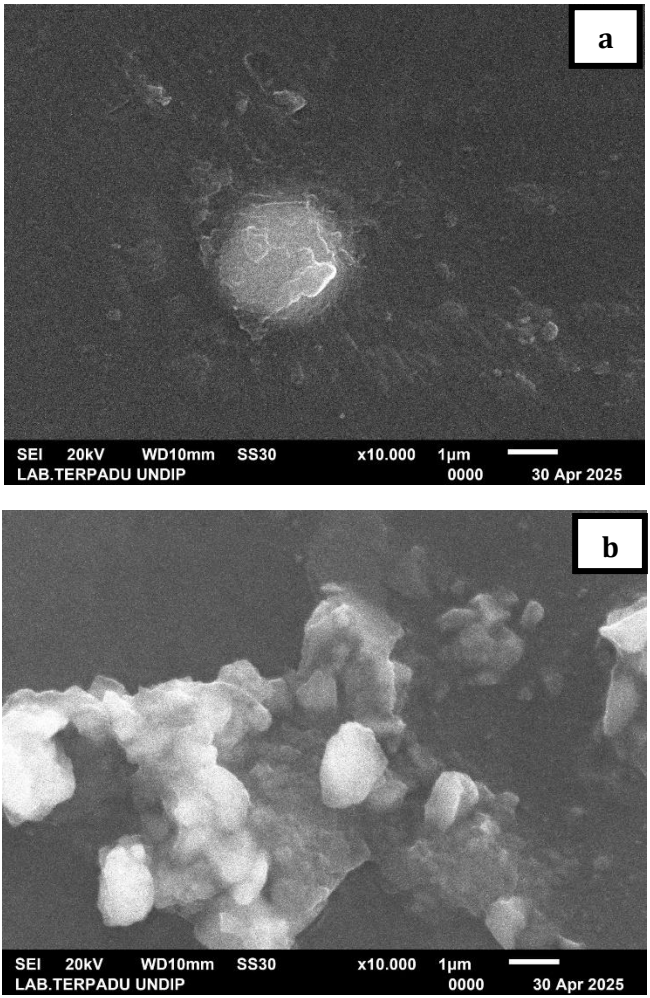
Membran PAN dan PAN-SiO_2 yang telah dianalisis menggunakan FTIR, hasil analisis ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan interpretasi serapan ditampilkan pada Tabel 4.4. Berdasarkan spektrum FTIR diketahui bahwa setiap sampel menunjukkan pita serapan yang khas mengindikasi keberadaan gugus fungsi tertentu. Penambahan SiO_2 pada membran PAN sudah berhasil, yang ditunjukkan dari serapan Si-O-Si pada bilangan gelombang 1168,31 cm^{-1} (Pirzada *et al*., 2012), dalam membran PAN yang memiliki serapan gugus nitril (-C≡N) pada 2243,19 (Xu *et al*.,2025).

Selain itu, pita serapan yang menunjukkan pita serapan C=O, yaitu munculnya puncak pada bilangan

gelombang sekitar 1620 cm^{-1} menunjukkan adanya getaran *stretching* dari gugus karbonil C=O berasal dari pelarut DMF (Kumar Panda, 2018). Kemunculan puncak pada bilangan gelombang pada rentang bilangan 1040 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi C-N *stretching* yang berasal dari DMF (Saufi *et al*., 2002). Serapan pita lebar pada bilangan gelombang 2937,83 cm^{-1} merupakan vibrasi gugus metilen (CH_2) (Charazi, 2023). Puncak lebar bilangan gelombang sekitar 3400 cm^{-1} adanya vibrasi ulur gugus hidroksil (O-H) (Sudiarta, 2015).

4. Karakterisasi Morfologi membran menggunakan SEM *Mapping* EDX

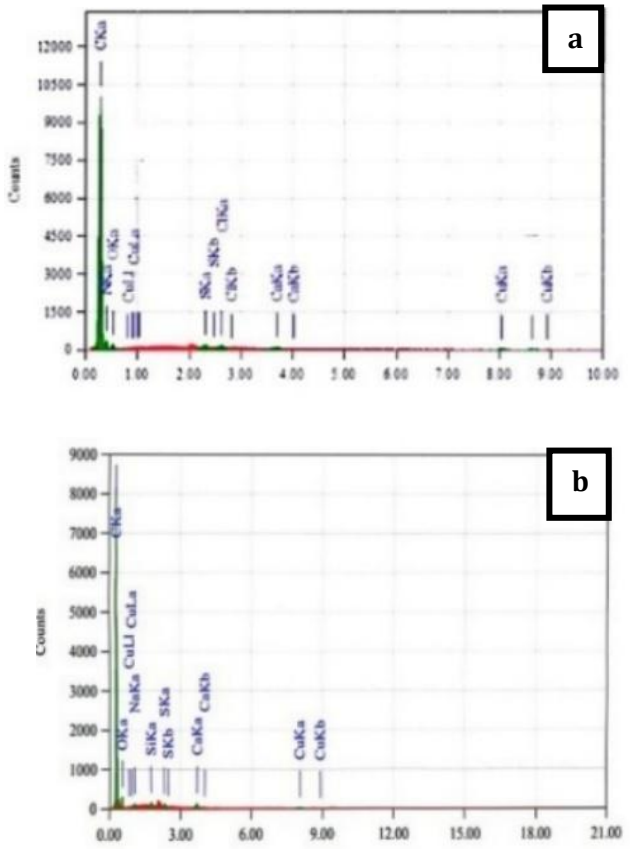
Scanning Electron Microscope (SEM) dilakukan untuk menunjukkan morfologi membran, sedangkan *Mapping* EDX berfungsi untuk melihat sebaran partikel dalam membran. Penelitian ini dilakukan analisis SEM Mapping EDX untuk melihat morfologi membran PAN 25% dan PAN-SiO_2 1,5% ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Morfologi a) membran PAN 25%, b) PAN-SiO_2 1,5%

Gambar 4.4 menunjukkan morfologi membran PAN 25% dan membran PAN-SiO_2 1,5%. Morfologi

membran PAN 25% menunjukkan permukaan kasar dengan adanya penggumpalan partikel pada matriks membran PAN (Dewi *et al*., 2025). Morfologi PAN-SiO_2 terlihat dengan permukaan membran yang terdapat adanya partikel SiO_2 dalam matriks membran. Kehadiran partikel SiO_2 dalam matriks PAN berperan penting untuk memperkuat struktur membran melalui interaksi antara gugus PAN dengan SiO_2 yang dapat meningkatkan nilai kekuatan mekanik, meningkatkan nilai sudut kontak, serta meningkatkan nilai fluks dan rejeksi dalam proses filtrasi limbah (Khedr & Elhady, 2025). Untuk menentukan bahwa SiO_2 sudah tercampur dengan PAN dapat dianalisis menggunakan EDX. Analisis EDX dilakukan untuk mengetahui komponen apakah unsur SiO_2 sudah tercampur dalam membran. Gambar 4.5 menunjukkan hasil EDX membran PAN 25% dan PAN-SiO_2 1,5%.



Gambar 4. 5 Grafik EDX membran (a) PAN 25%, (b) PAN-SiO_2 1,5%

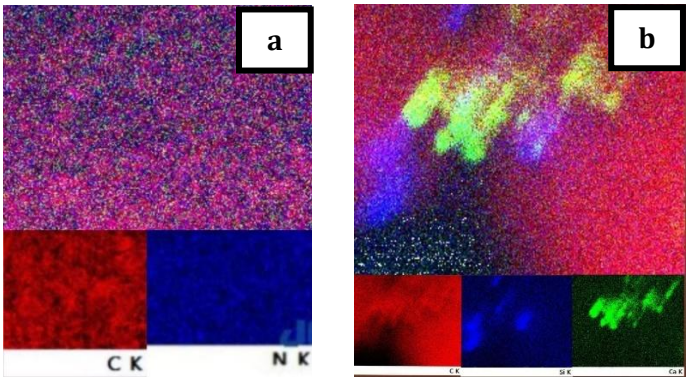
Gambar 4.5 menunjukkan bahwa penambahan SiO_2 telah berhasil dilakukan. Grafik EDX membran PAN-SiO_2 1,5% terlihat adanya unsur Si, sedangkan pada membran PAN murni tidak mengandung unsur Si. Untuk hasil analisis komponen unsur yang terdapat

pada membran lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4. 5 Komponen unsur membran

Komponen Unsur	**PAN**		**PAN-SiO_2 1,5%**	
	Massa (%)	**Atom (%)**	**Massa (%)**	**Atom (%)**
C	98,03%	99,68%	97,43%	99,53%
N	29,50	27,40	-	-
O	0,74%	-	0,98	-
Si	-	-	0,21%	0,09%
S	0,27%	0,10%	0,24%	0,09%
Ca	0,17%	0,05%	0,51%	0,15%
Cu	0,41%	0,08%	0,46%	0,09%
Na	-	-	0,17%	0,05%
Zn	0,30%	0,06%	-	-

Analisis *mapping* dapat dilakukan untuk melihat distribusi persebaran elemen atau komponen tertentu pada permukaan membran. Mapping berfungsi untuk membantu mengetahui persebaran dari unsur-unsur yang ada di permukaan membran.



Gambar 4. 6 *Mapping* EDX membran a) PAN 25%, b) PAN-SiO_2 1,5%

Gambar 4.6 menunjukkan *mapping* membran PAN dan membran PAN-SiO_2. Pada membran PAN tersusun atas dua unsur, yaitu unsur komponen utama C yang ditandai dengan warna merah dan unsur N yang ditandai dengan warna biru. Persebaran unsurnya terlihat berwarna ungu yang merupakan perpaduan dari komponen C dan N yang jumlahnya memenuhi permukaan membran PAN. Membran PAN-SiO_2 tersusun atas tiga unsur, yaitu C yang ditampilkan dengan warna merah, Si dengan warna biru, dan Ca dengan warna hijau. Pada persebaran unsurnya terlihat warna kuning dengan beberapa titik warna biru yang menandakan bahwa unsur Si sudah berhasil tersebar dan melapisi permukaan membran PAN.

Namun, pada membran PAN-SiO_2 terdeteksi adanya unsur Ca yang bukan komponen utama. Berdasarkan penelitian Dewi *et al*., (2025) menyatakan bahwa unsur tersebut kemungkinan berasal dari kontaminasi permukaan, alat uji, dan residu dari proses persiapan sampel, seperti *sputter coating* logam yang umum dilakukan untuk meningkatkan konduktivitas permukaan pada analisis SEM *Mapping* EDX.

5. Uji Fluks Membran

Salah satu cara untuk mengetahui kinerja pemisahan membran adalah dengan melakukan uji fluks pada membran. Fluks adalah ukuran kecepatan suatu spesi melewati membran persatuan luas dan waktu dengan adanya gaya dorongan tekanan yang masuk ke dalam alat uji filtrasi (Fathanah *et al*., 2019). Uji fluks dilakukan secara *cross flow filtration* menggunakan tekanan 4 bar selama 30 menit. Nilai fluks dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.1. Hasil perhitungan nilai fluks dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil uji filtrasi membran PAN dan PAN-SiO_2

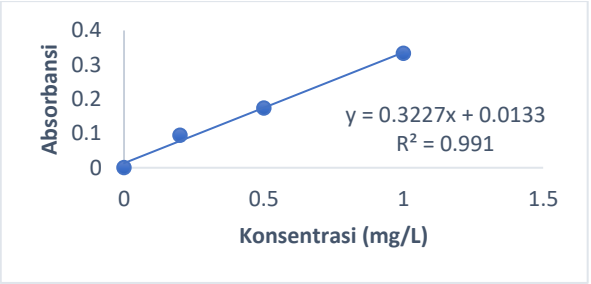
Membran	Volume Permeat (L)	Luas Permukaan (m^2)	Waktu (Jam)	Fluks ($L/m^2.jam$)
PAN	0,0135	0,0015896	0,5	16,985
PAN-SiO_2 0,5%	0,016	0,0015896	0,5	20,130
PAN- SiO_2 1%	0,027	0,0015896	0,5	34,027
PAN- SiO_2 1,5%	0,036	0,0015896	0,5	45,294

Tabel 4.6 menunjukkan hasil uji filtrasi diketahui bahwa penambahan SiO_2 berpengaruh terhadap nilai fluks. Semakin banyak penambahan SiO_2 pada membran, maka semakin meningkatkan nilai fluksnya. Membran PAN-SiO_2 1,5% dengan nilai 45,294 $L/m^2.jam$ menunjukkan hasil nilai fluks lebih tinggi daripada membran PAN dengan nilai 16,985 $L/m^2.jam$. Hal ini dikarenakan SiO_2 memfasilitasi masuknya molekul air ke dalam pori membran, sehingga memudahkan membran menyerap air, karena air dapat lebih mudah untuk melewati pori-pori membran (Acarer, 2022). Terjadi adanya interaksi ikatan antara polimer dengan partikel SiO_2 membentuk struktur yang saling berhubungan secara kuat untuk menahan tekanan saat membran

mengalami deformasi yang menyebabkan pori-pori membran melebar, sehingga menghasilkan fluks yang tinggi (Khedr & Elhady, 2025). Selain itu, semakin tinggi konsentrasi SiO_2, struktur yang dihasilkan semakin stabil, sehingga aliran air yang melewati membran tetap terjaga optimal dan tidak mengalami penyumbatan pori (*fouling*) (Fathanah et al., 2019). Peningkatan nilai fluks berpengaruh ditandai dengan sedikitnya penumpukan partikel (*fouling*) di permukaan atau dalam pori-pori membran pada saat proses filtrasi (Bahiyyah *et al*., 2023). Pada data yang dihasilkan menunjukkan membran PAN dan membran PAN-SiO_2 tergolong dalam membran ultrafiltrasi dengan nilai fluks berada pada kisaran 10-50 L/m^2.jam (Mulyati *et al*., 2017).

6. Pengukuran Kadar Ion Logam Zn^{2+}

Pembuatan larutan standar ion logam Zn^{2+} dibuat dari larutan induk $ZnSO_4.7H_2O$ dengan variasi larutan Zn^{2+} 0; 0,2; 0,5; dan 1 mg/L. Tabel 4.8 menunjukkan hasil adsorbansi uji AAS larutan standar dan Gambar 4.7 menunjukkan kurva kalibrasi larutan.



Gambar 4. 7 Kurva kalibrasi larutan standar

Gambar 4.6 didapatkan hasil bahwa nilai y = 0,3227x + 0,0133 dan nilai R^2 sebesar 0,991. Nilai R^2 sebesar 0,991 menunjukkan bahwa sekitar 99,1% variasi absorbansi dapat dijelaskan oleh variasi konsentrasi larutan standar ion logam Zn^{2+}. Menurut Khaira, (2014) hasil tersebut menunjukkan bahwa antara kandungan ion logam Zn^{2+} dalam konsentrasi dan absorbansi berkorelasi positif. Dengan demikian, meskipun R^2 belum mencapai 0,995 yang biasa dijadikan acuan ideal pada validasi metode spektrofotometri, kurva standar ini tetap dapat dianggap memiliki linearitas yang baik, perbedaan dari nilai ideal dapat disebabkan oleh beberapa faktor eksperimental, seperti ketidakpastian dalam pembuatan larutan standar dan fluktuasi intensitas sumber cahaya pada instrumen AAS. Maka, kurva

standar ini tetap memenuhi kriteria linearitas yang layak untuk digunakan dalam penentuan kadar ion logam Zn^{2+} pada larutan uji, untuk menganalisis kadar ion logam Zn^{2+} menggunakan *Atomic Absorption Spektrofotometer* di Laboratorium Riset Universitas Negeri Semarang.

Sampel limbah sintetik $ZnSO_4.7H_2O$ dibuat dengan konsentrasi sebesar 10 mg/L, pada saat diuji menggunakan AAS menghasilkan konsentrasi sebesar 7,418 mg/L. Faktor yang mempengaruhi penurunan hasil AAS yaitu karena gangguan kimia berupa terjadinya reaksi kimia antara pengotor (kontaminan) dengan analit yang menghasilkan senyawa stabil secara thermal dan ionisasi atom gas sehingga mengurangi sensitifitas pada sampel (Bahiyyah, 2023). Sampel ion logam Zn^{2+} dilakukan uji filtrasi untuk mengetahui apakah membran PAN dan membran PAN- SiO_2 dapat mengurangi kadar limbah tersebut.

Proses filtrasi limbah ion logam Zn^{2+} dilakukan menggunakan alat filtrasi dengan cara mengalirkan limbah ion logam Zn^{2+} melewati membran yang telah dipotong sesuai alat set filtrasi menggunakan metode cross flow filtration. Sampel limbah ion logam Zn^{2+}

yang berhasil melewati membran, kemudian ditampung pada gelas kimia. Sampel limbah ion logam Zn^{2+}, kemudian setelah filtrasi dilakukan pengujian menggunakan alat AAS untuk mengetahui kadar limbah ion logam Zn^{2+}. Hasil konsentrasi awal dan konsentrasi akhir limbah ion logam Zn^{2+} digunakan untuk menghitung persen rejeksi.

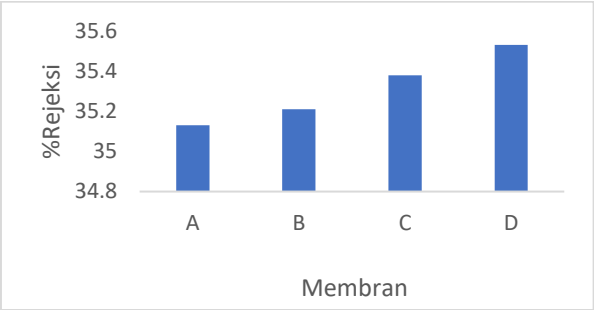
7. Uji Rejeksi Membran

Pengujian rejeksi atau selektivitas dilakukan untuk mengetahui kinerja membran. Nilai rejeksi membran dapat diukur dengan melakukan proses filtrasi. Perhitungan rejeksi dapat dilihat dari konsentrasi sebelum filtrasi dan konsentrasi setelah filtrasi menggunakan Persamaan 2.2. Tabel 4.7 menunjukkan hasil perhitungan rejeksi pada masing-masing membran terhadap ion Zn^{2+}.

Tabel 4. 7 Hasil Persen Rejeksi Membran

Membran	**Konsentrasi Ion Logam Zn^{2+} (mg/L)**		**Rejeksi (%)**
	Awal	**Akhir**	
PAN	7,418	4,8115	35,13%
PAN-SiO_2 0,5%	7,418	4,8060	35,21%
PAN- SiO_2 1%	7,418	4,7936	35,38%
PAN- SiO_2 1,5%	7,418	4,7824	35,53%

Hasil perbandingan dari perhitungan % koefisien rejeksi dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Pengaruh konsentrasi SiO_2 terhadap rejeksi membran A) PAN, B) PAN-SiO_2 0,5%, C) PAN-SiO_2 1%, dan D) PAN-SiO_2 1,5%

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa nilai rejeksi membran PAN-SiO_2 lebih besar dibanding membran PAN. Menandakan bahwa selektifitas membran PAN-SiO_2 lebih baik dibandingkan membran PAN. Hal ini disebabkan keberadaan SiO_2 yang memiliki gugus -OH yang dapat berikatan koordinasi dengan ion logam Zn^{2+}. Sehingga ion logam Zn^{2+} tertahan pada permukaan dan mengurangi jumlah ion logam Zn^{2+} yang melewati pori-pori membran (Roberts *et al.*, 2003). Penambahan SiO_2 yang terdispersi sempurna menyebabkan jumlah pori yang terbentuk lebih seragam pada membran secara efektif, peran tersebut

meningkatkan kemampuan membran dalam memisahkan limbah dari kontaminan ion logam Zn^{2+}, sehingga meningkatkan rejeksi pada membran (Fathanah *et al*., 2019). Selain itu, semakin tinggi konsentrasi SiO_2, struktur yang dihasilkan semakin stabil, stabilitas ini membuat air tidak melebar berlebihan selama proses filtrasi, maka membran semakin selektif dalam menyaring ion logam Zn^{2+} (Khedr & Elhady, 2025). Membran PAN-SiO_2 1,5% mampu meningkatkan persen rejeksi hingga 35,53%. Hal ini sesuai dengan uji kekuatan mekanik pada membran PAN-SiO_2, uji kekuatan mekanik menunjukkan bahwa membran PAN-SiO_2 1,5% memiliki sifat kekuatan mekanik terbaik, sehingga kualitas mekaniknya yang tinggi mampu mendukung tercapainya kinerja membran yang optimal. Apabila nilai persen koefisien rejeksi membran semakin besar, maka kemampuan membran untuk mengurangi ion logam Zn^{2+} semakin baik. Hal ini sesuai penelitian yang dilakukan Sugiharto, (2022) menyatakan bahwa nilai koefisien rejeksi membran akan meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi SiO_2.

BAB V
PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Membran PAN dan PAN-SiO_2 telah berhasil disintesis dan dikarakterisasi. Membran PAN 25% dan membran PAN-SiO_2 1,5% merupakan membran dengan kekuatan mekanik terbaik yang ditunjukkan dengan nilai kuat tarik berturut-turut sebesar 1,341 MPa dan 9,713 MPa; nilai *modulus young* berturut-turut sebesar 0,405 MPa dan 1,713 MPa. Hasil karakterisasi FTIR membran PAN-SiO_2 menunjukkan bahwa gugus fungsi PAN yaitu -C≡N terlihat pada bilangan gelombang 2243,19 cm^{-1} yang menunjukkan adanya kandungan PAN dan adanya penambahan SiO_2 muncul gugus fungsi pada bilangan gelombang 1170,89 cm^{-1}. Morfologi membran PAN setelah penambahan SiO_2 menunjukkan permukaan yang terdapat adanya partikel SiO_2 dalam matriks membran. Penambahan SiO_2 telah berhasil dilakukan yang ditandai adanya sebaran Si pada permukaan membran pada spektra EDX. Penambahan SiO_2 meningkatkan sudut kontak dari $63{,}13^0$ menjadi

67,87^{O}. Hasil fluks dan rejeksi membran PAN 25% dengan penambahan SiO_2 1,5% mengalami peningkatan sebesar 28,30 L/m^2.jam dan 0,4%.

2. Membran PAN 25% dengan penambahan SiO_2 1,5% mampu menurunkan kadar ion logam Zn^{2+} dari konsentrasi 7,418 mg/L menjadi 4,8115 mg/L.

B. Saran

1. Disarankan penelitian selanjutnya untuk melakukan lebih banyak variasi pada penambahan bahan aditif SiO_2 sehingga mengetahui perbedaan yang signifikan dalam penurunan kadar ion logam Zn^{2+}.
2. Disarankan penelitian selanjutnya untuk melakukan karakterisasi lain guna mengetahui perbedaan antara membran PAN dan PAN-SiO_2 dalam penurunan kadar ion logam Zn^{2+}.
3. Disarankan penelitian selanjutnya untuk menggunakan polimer serta bahan aditif lain guna meningkatkan kinerja membran dalam menurunkan konsentrasi ion logam Zn^{2+}.

DAFTAR PUSTAKA

Acarer, S. 2022. Characterisation and Mechanical Modelling of Polyacrylonitrile-Based Nanocomposite Membranes Reinforced with Silica Nanoparticles. *Nanomaterials*. 12(7): 1-16.

Ahmed, W., & Siraj, S. 2021. Comprehensive Characterization of Polymeric Composites Reinforced with Silica Microparticles Using Leftover Materials of Fused Filament Fabrication 3D Printing. Polymers.13(1): 1-20

Andinnawati, Wi. 2024. Pengaruh Variasi Konsentrasi SiO_2 Terhadap Karakterisasi Membran Mirofiltrasi. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 1(5), 1–10.

Anis Shofiyani, Edi Sukirno, N. 2017. Pembuatan Membran Komposit Si/Pva/Peg Berbahan Dasar Silika Batu Padas Singkup Untuk Menurunkan Konsentrasi Ion Fosfat Dalam Larutan. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. *6*(4): 1-7

Aprilia, S., Arifin, B., Anugerah, R. R., & Safriadi, I. 2013. Kombinasi Proses Koagulasi dan Sistem Ultrafiltrasi dengan Membran Poliakrilonitril untuk Pemurnian Air Berwarna. *9*(4): 173–179.

Arahman, N., Fahrina, A., Wahab, M. Y., & Fathanah, U. 2018. Morphology and performance of polyvinyl chloride membrane modified with Pluronic F127. *F1000Research*, *7*(726): 1-20.

Arianti, R., Febriani, H., & Syukriah, S. 2024. Analisis Kandungan Logam Seng (Zn) pada Air dan Daging IkanTilan (Mastacembelus armatus) di Sungai Asahan Kota Tanjungbalai. *Jurnal Ilmu Perikanan Dan Kelautan Indonesia*. *6*(1): 76–92.

Aznur, B. S., Nisa, S. K., & Septriono, W. A. 2023. Agen Biologis Bioremediasi Logam Berat (Heavy Metal Bioremediation Biologycal Agents). *Jurnal Maiyah.* 1(4): 186-198.

Bahiyyah, W., Hidayah, M., & Syahputra, K. Y. 2023. Pb^{2+} Absorption of Metal Ions Using an Polyvinylidene Fluoride (PVDF) - Al_2O_3 Membrane. *Indonesian Journal of Chemical Science*. *12*(2): 186–193.

Behavior, A., Zahid, M., Rashid, A., Akram, S., Shakir, H. M. F., Rehan, Z. A., Javed, T., Shabbir, R., & Hessien, M. M. 2021. Fabrication and Characterization of Sulfonated Graphene Oxide-Doped Polymeric Membranes with Improved. *Membranes*. 11(563): 1-9.

Blesstinov, A. G., Maddusa, S. S., & Joseph, W. B. S. 2017. Analisis Kandungan Seng (Zn) dalam Air, Sedimen Kerang dan Ikan di Sungai Tondano Tahun 2017. *Kesmas*. *6*(3): 1–8.

Chand, A. A. K., Bajer, B., Schneider, E. S., Mantel, T., Ernst, M., Filiz, V., & Glass, S. 2022. Modification of Polyacrylonitrile Ultrafiltration Membranes to Enhance the Adsorption of Cations and Anions. *Membranes*. 12(6):1-17.

Charazi, S. 2023. Electrospun Silica-Polyacrylonitrile Nanohybrids for Water Treatments. *Membranes*. 13(72): 1-14.

Dewi, A. P., Pramono, A. E., Hayatun, T., Indayaningsih, N., Pascasarjana, P., & Jakarta, P. N. 2025. Analisis Citra Scanning Electron Microscopy dan Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) pada Komposit Konduktif Berbasis PET-Grafit Abstrak. 4(1): 242–249.

Emamirad, M. H., & Javadpour, S. 2020. Effect of Hydrophilic Silica and Dual Coagulation Bath on Structural and

Mechanical Properties of PVDF Membrane for Membrane Distillation. *Journal of Enviromental Health Science and Engineering*. 18(2): 495–504.

Fadhlulloh, M. A., Rahman, T., Nandiyanto, A. B. D., & Mudzakir, A. 2014. Review Tentang Sintesis SiO_2 Nanopartikel. *Jurnal Integrasi Proses*. *5*(1): 30–45.

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.

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.

Fitri, A. S., & Fitriana, Y. A. N. 2020. Analisis Angka Asam pada Minyak Goreng dan Minyak Zaitun. *Sainteks*. 16(2): 115–119.

Harefa, N. 2018. Sensitivitas Ligan Ditizon terhadap Absorbsi Logam Zink dengan Teknik Emulsi Membran Cair. *Jurnal EduMatSains*. *3*(1): 57–68.

Hidayah, M., Kusworo, T. D., & Susanto, H. 2021. Mechanical Properties of Polysulfone-ZnO Nanocomposite Membrane. *Jurnal Teknologi*. *83*(4): 101–109.

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.

Huwidah, I. R., & Hidayah, M. 2024. Dekolorisasi Nira Tebu Menggunakan Membran Nilon/TiO_2. *Scientica: Jurnal Ilmiah Sains Dan Teknologi*. *2*(4): 415–431.

Irfan, A., & Sosiati, H. 2020. Strategi Peningkatan Ion-Ion Logam Berat dalam Air Pada Membran Nanofiber : A Review. *UMY Grace 2020. 55(12):* 315–327.

Jauhari, J., Aj, S., Nawawi, Z., & Sriyanti, I. 2021. Sythesis And Characteristic Of Polyacrylonitrile (PAN) Nanofiber Membrane Using Electrospinning Method. Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 56(4): 698–703.

Jayanti, D. D. 2021. *Karakterisasi Membran Berbasis Polisulfon dengan Berbagai Keasaman Non-Pelarut.* Skripsi.Jember: Program Sarjana Universitas Jember

Khaira, K. 2014. Analisis Kadar Tembaga dan Seng Air Minum Isi Ulang Kemasan Galon di Kecamatan Lima Kaum Kabupaten Tanah Datar. *Jurnal Sainstek. 6*(2): 116–123.

Khedr, R. F., & Elhady, M. A. 2025. Development the Hydrophobic Property of Polyvinyl Alcohol / Silicon Dioxide / Titanium Dioxide Nanocomposites for Self-Cleaning and Soil Stabilization. Molecules. 30(1664): 1–19.

Kiswandono, A. A. 2016. Review Metode membran cair untuk pemisahan fenol. *Analit: Analytical and Enviromental Chemistry*. *1*(1): 74–91.

Komari, N., Baroroh, U., Utami, L., & Malinda, N. 2021. Adsorpsi Pb^{2+} dan Zn^{2+} pada Biomassa Imperata Cylindrica. *Jurnal Kimia Valensi*. 2(5): 557-564.

Kusuma, A. H., Prartono, T., Atmadipoera, A. S., & Arifin, T. 2015. Sebaran Logam Berat Terlarut dan Terendapkan di Perairan Teluk Jakarta pada Bulan September 2014.

Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan. 6(1): 41–49.

Kwon, S. H., Kang, H., Kim, B. J., Lee, H. I., Lee, J. M., Kim, J., & Lee, S. G. 2023. Addressing diffusion behavior and impact in an epoxy–amine cure system using molecular dynamics simulations. *Scientific Reports*. *13*(1): 1–10.

Lusiana, R. A., Saputry, A. P., & Prasetya, N. B. A. 2020. Pengaruh Penambahan Aditif terhadap Karakterisasi Fisikokimia Membran Polisulfon. *Indonesian Journal of Chemical Science*, *9*(3), 195–200.

Mahatmanti, F. W., Jumaeri, J., & Kusumastuti, E. 2023. The Adsorption Behavior of Individual Cu(II), Zn(II), and Cd(II) Ions Over a CuO-Modified Ceramic Membrane Synthesized from Fly Ash. *Journal of King Saud University*. 5(7): 1-5.

Marlina, M., Saiful, S., Mustanir, M., Saleha, S., Fathurrahmi, F., Murniana, M., & Khairan, K. 2017. *Sintesis Membran Poliuretan Berbasis Bahan Alam.*Banda Aceh: Syiah Kuala University Press.

Muhtaroh, N., Hidayat, J. W., Muhammad, F., Biologi, S. M., Sains, F., & Diponegoro, U. 2024. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Seng (Zn) pada Kerang Hijau (Perna Viridis) di Perairan Pantai Kelurahan Mangunharjo Kota Semarang. Jurnal Ilmu Lingkungan. *22*(3): 600–608.

Mulyati, S., Razi, F., & Zuhra, Z. 2017. Karakteristik Membran Asimetris Polietersufone (PES) dengan Pelarut Dimetil Formamide dan N-Metil-2-Pyrolidone. *Biopropal Industri*. *8*(1): 55–62.

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.

Pirzada, T., Arvidson, S. A., Saquing, C. D., Shah, S. S., & Khan, S. A. 2012. Hybrid silica-PVA nanofibers via sol-gel electrospinning. *Langmuir*. *28*(13): 5834–5844.

Prayoga, I., Ardhyananta, H., & Rasyida, A. 2020. Tinjauan Pengaruh Jenis Partikel Halloysite Lapisan Gel pada Kapal Laut. Jurnal Teknik ITS. 9(2): 2337-3539.

Putra, D., Abudi, Z. N., & Al-furaiji, M. H. 2021. A Competitive Study Using Electrospinning and Phase Inversion to Prepare Polymeric Membranes for Oil Removal. *Membranes.* 23(474): 1–21.

Putra, S. N., Sembiring, S., & Riyanto, A. 2021. Karakteristik Struktur Dan Fungsional Aspal Komposit dengan Perbandingan 85%:15%. *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*. *2*(4): 141–146.

Putri, R. F. 2017. *Penyiapan Pencucian Dan Aplikasi Membran Bioreaktor Pada Pengolahan Air Limbah Domestik.* Skripsi.Surabaya: Program Sarjana Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya

Rahayu, L. 2019. Pengolahan Limbah Cair Batik Menggunakan Teknologi Membran Nanofiltrasi di Kota Pekalongan. *Jurnal Litbang Kota Pekalongan. 17*(5): 72–82.

Road, E., Haci, N., Veli, B., & Kampusu, A. 2020. Manufacturing, Characterisation and Mechanical Analysis of Polyacrylonitrile Membranes. *Polymers.* 12(2378): 1-17.

Roberts, D. R., Ford, R. G., & Sparks, D. L. 2003. Kinetics and mechanisms of Zn complexation on metal oxides using EXAFS spectroscopy. *Journal of Colloid and Interface Science.* 263(2003): 364-376.

Said, N. I. 2018. Metoda Penghilangan Logam Berat (As, Cd, Cr,Ag, Cu, Pb,Ni, dan Zn) di Dalam Air Limbah Industri. *Jurnal Air Indonesia*. *6*(2): 136–148.

Saufi, S. M., Abdullah, P. A., & Ismail, A. F. 2002. Pengembangan dan Karakterisasi Membran Serat Berongga Karbon Berbasis Poliakrilonitril (PAN). *Songklanakarin J.Sci. Technol.* 24(7): 843-854

Sen, T. K., & Gomez, D. 2011. Adsorption o Zinc (Zn^{2+}) from Air Solution on Natural Bentonite. *Desalinasi*. *267(2011): 286-294.*

Shekharagouda, V., & Kumar Panda, P. 2018. Electrospinning of Polyacrylonitrile Nanofiber Membrane for Bacteria Removal. *Journal of Materials Sciences and Applications*. *4*(5): 68–74.

Siri, Y., Sthapit, N., Malla, B., Raya, S., & Haramoto, E. 2024. Science of The Total Environment Comparative Performance of Electronegative Membrane Filtration and Automated Concentrating Pipette for Detection of Antibiotic Resistance Genes and Microbial Markers in River Water Samples. *Science of the Total Environment*. *953*(9): 109-176.

Sudiarta, I. W. 2015. Imobilitas Difenilkarbazida Pada Silika Gel Dari Abu Sekam Padi Melalui Teknik Sol Gel. Jurnal Kimia. 9(2): 153–159.

Sugiharto, Y. 2022. *Preparasi Dan Karakterisasi MembranPVDF-SiO_2 (PolyvnylidineFluoride-Silica Dioxide) untuk Penyaringan Ion Logam Pb^{2+}.* Skripsi.Semarang: Program Sarjana Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang

Suryandari, E. T. 2020. Sintesis Membran Komposit PVDF-Zeolit untuk Penghilangan Metilen Biru. *Al-Kimiya*. *6*(2): 58–66.

Tan, X., & Rodrigue, D. 2019. A Review on Porous Polymeric Membrane Preparation. Part I : Production Techniques with Polysulfone and Poly(Vinylidine Fluoride). Polymers. 11(1160): 1-27.

Tarigan, Z. 2023. Kandungan Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn, Dan Ni Dalam Ir Lautan Sedimen Di muara Sungai Membramo. Makara Sains. 7(3): 122-127.

Ujianti, R., Androva, A., & Diponegoro, U. 2022. *Analisis Kandungan Logam Berat (Cr , Pb , Cu , Zn dan Cd) pada Perairan Sungai*. *December 2021*.

Village, S., Az-zahro, M. F., Lukito, H., & Anasstasia, T. T. 2024. Pengaruh Limbah Cair Industri Kerupuk Kulit Terhadap Kualitas Air Sungai Pesing, Kelurahan Segoroyoso. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan*. 8(1): 71-86.

Wianto, T., Nugrahadi, D. T., Wahyono, S. C., Gunawan, Azwari, A. R. S., Arrahimi, A. R., & Apriana, S. 2024. Analisis Sifat Fisika, Kimia dan Mikrobiologi Air Gambut Hasil Pengolahan dengan Metode Single Flow Ultrafiltrasi. *Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*. *21*(2): 2541–1713.

Wu, L., Garg, S., & Waite, T. D. 2024. Progress and Challenges in The Use of Electrochemical Oxidation and Reduction Processes for Heavy Metals Removal and Recovery from Wastewaters. *Journal of Hazardous Materials*. *479*(6): 135-581.

Xu, X., Li, Y., Xu, Q., Ding, Y., Huang, X., Wang, H., & Wang, X. 2025. Robust porous PAN-MIL-101(Fe) Nanofiber Composite Membranes for Highly Selective Phosphate

Removal and Recovery from Water. *Separation and Purification Technology*. *375*(5): 133-741.

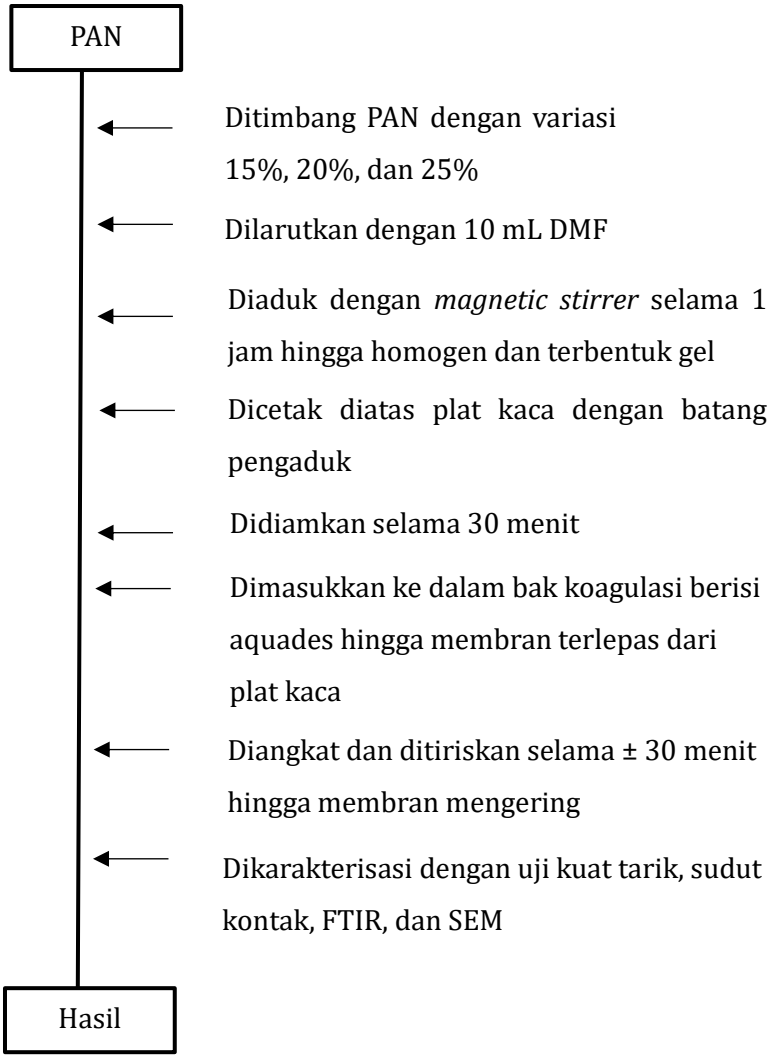
Yunus, M., & Mitrohardjono, M. 2019. Pengembangan Program Peduli Lingkungan Hidup (Green School) Pada SMP Islam Plus Baitul Maal. *Jurnal Tahdzibi.* 4(2): 95-102.

Zulaekah, S. 2021. *Sintesis dan Karakterisasi Membran PoliSulfon (PSF)-Seng Oksida (ZnO) untuk Filtrasi Ion Cl^- pada Limbah Laboratorium.* Skripsi.SEmarang:Program Sarjana Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

LAMPIRAN

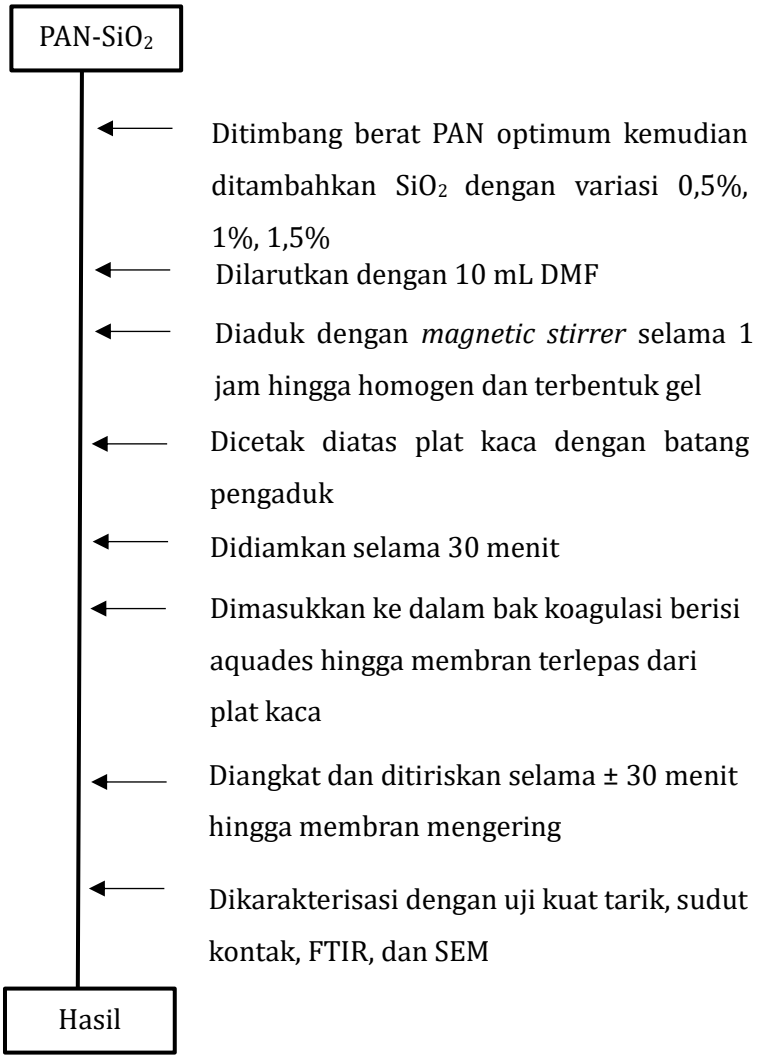
Lampiran 1 : Preparasi membran PAN

1. Pembuatan membran PAN



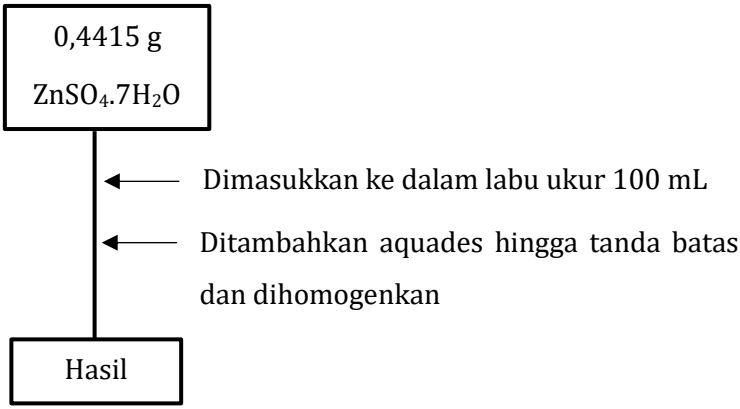
Lampiran 2 : Preparasi membran PAN-SiO_2

1. Pembuatan membran PAN-SiO_2

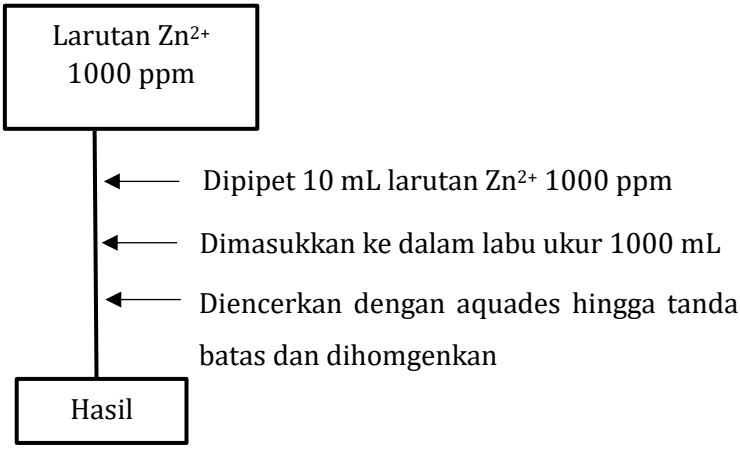


Lampiran 3 : Pengukuran kadar ion logam Zn^{2+}

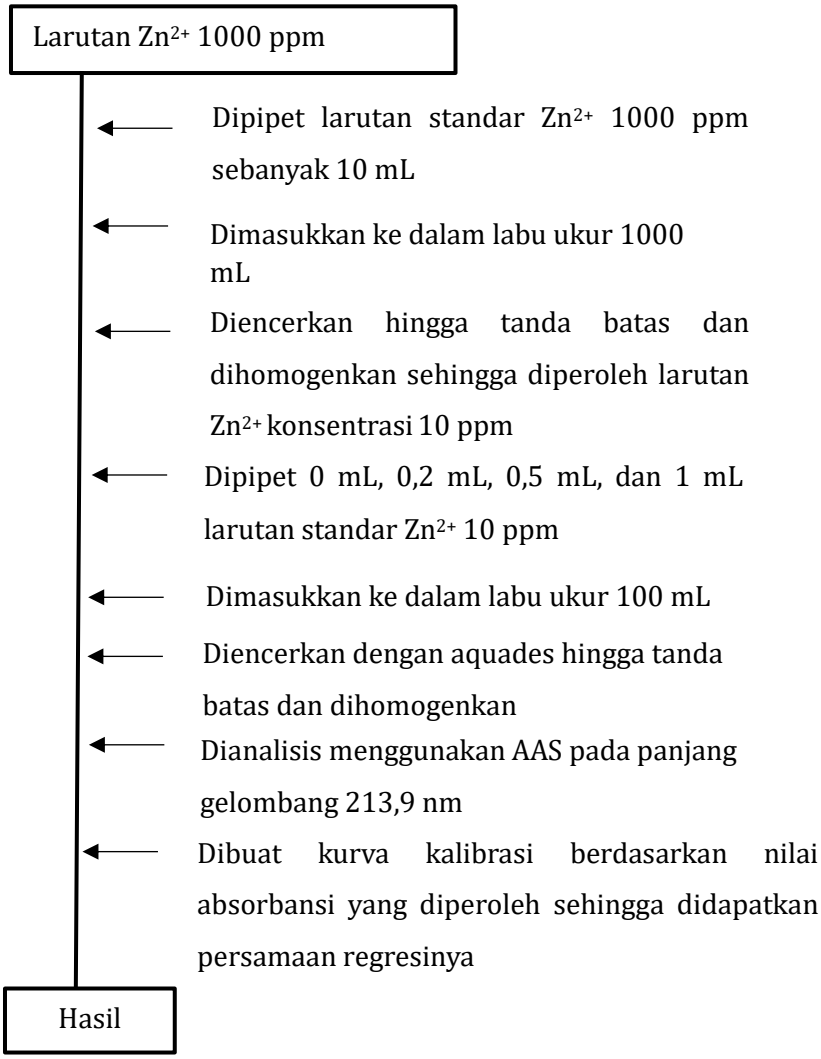
1. Pembuatan larutan baku Zn^{2+} 1000 ppm



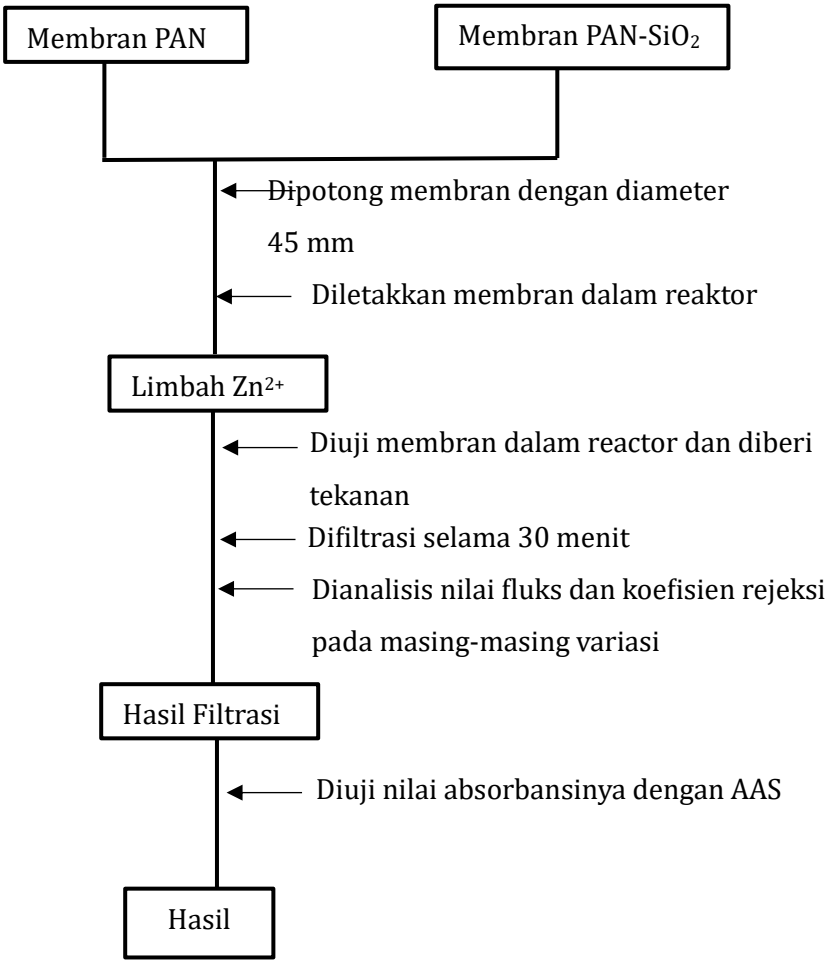
2. Pembuatan larutan Zn^{2+} 10 ppm



3. Pembuatan larutan standar



Lampiran 4 : Uji kinerja membran pada limbah



Lampiran 5 : Hasil Uji Kuat Tarik

1. Membran PAN

Membran PAN (b/v)	Kuat Tarik (MPa)	Elongasi (%)	Modulus Young (MPa)
15%	0,189	1,314	51,171
20%	0,250	3,436	12,687
25%	1,341	3,306	80,225

2. Membran PAN-SiO2

PAN-SiO_2 (b/v)	Kuat Tarik (MPa)	Elongasi (%)	Modulus Young (MPa)
0,5%	15,661	15,667	0,677
1%	5,101	12,167	0,419
1,5%	9,713	5,667	1,713

Lampiran 6 : Hasil Uji Sudut Kontak

1. Membran PAN

Run-No	CA(M)[°]	IFT[mN/m]	Err[µm]
1	63.13	0.00	0.58
2	63.20	0.00	0.84
3	63.39	0.00	1.75

2. Membran PAN-SiO_2 0,5%

Run-No	CA(M)[°]	IFT[mN/m]	Err[µm]
1	64.21	0.00	0.84
2	64.35	0.00	0.71
3	64.64	0.00	1.21

3. Membran PAN-SiO_2 1%

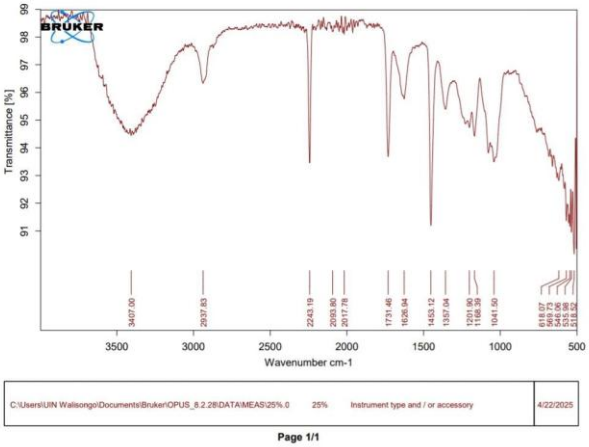
Run-No	CA(M)[°]	IFT[mN/m]	Err[µm]
1	65.01	0.00	0.36
2	65.55	0.00	2.01
3	66.03	0.00	0.13

4. Membran PAN-SiO_2 1,5%

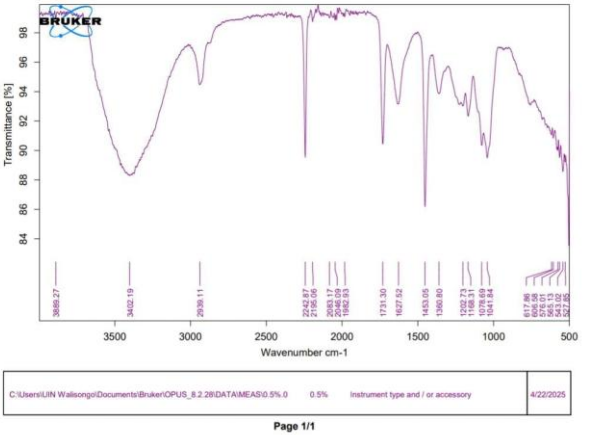
Run-No	CA(M)[°]	IFT[mN/m]	Err[µm]
1	67.52	0.00	0.92
2	67.69	0.00	2.35
3	67.87	0.00	2.12

Lampiran 7 : Hasil Uji FTIR Membran PAN dan Membran PAN-SiO_2

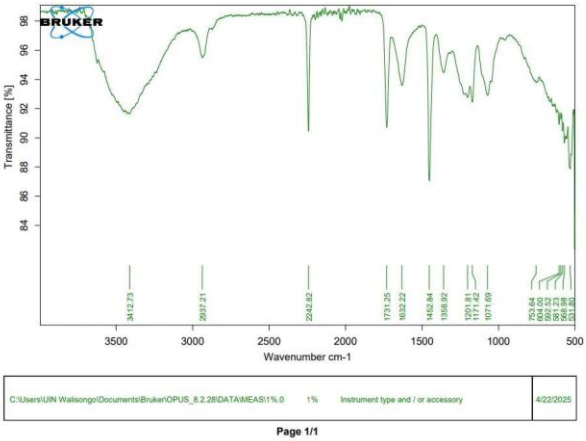
1. Membran PAN



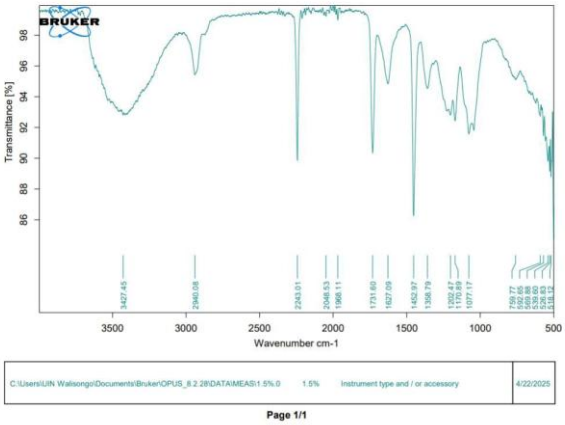
2. Membran PAN-SiO_2 0,5%



3. Membran PAN-SiO_2 1%



4. Membran PAN-SiO_2 1,5%



Lampiran 8 Perhitungan Fluks Membran

Perhitungan fluks menggunakan rumus

$$J = \frac{V}{A\ x\ t}$$

Dengan : J = Nilai fluks (L/m^2.jam)

A = Luas Permukaan (m^2)

V = Volume Permeat (L)

t = Waktu (Jam)

Diketahui:

t = 30 menit = 0,5 jam

Diameter membran (d) = 4,5cm = 0,045 m

Jari-jari membran (r) = 0,0225 m

A $= \pi r^2$

$= 3{,}14 \times (0{,}0225)^2$

$= 0{,}0015896$ m^2

- Membran PAN

  $J = \frac{V}{A\ x\ t}$

  $J = \frac{0{,}0135}{0{,}0015896 \times 0{,}5}$

  $= 16{,}985$ L/m^2.Jam

- Membran PAN-SiO_2 0,5%

  $J = \frac{V}{A\ x\ t}$

$$J = \frac{0{,}016}{0{,}0015896 \text{ x } 0{,}5}$$

= 20,130 L/m².Jam

- Membran PAN-SiO_2 1%

$$J = \frac{V}{A\ x\ t}$$

$$J = \frac{0{,}027}{0{,}0015896 \text{ x } 0{,}5}$$

= 34,027 L/m².Jam

- Membran PAN-SiO_2 1,5%

$$J = \frac{V}{A\ x\ t}$$

$$J = \frac{0{,}036}{0{,}0015896 \text{ x } 0{,}5}$$

= 45,294 L/m².Jam

Membran	**Volume Permeat (L)**	**Luas Permukaan (m²)**	**Waktu (Jam)**	**Fluks (L/m².jam)**
PAN	0,0135	0,0015896	0,5	16,985
PAN-SiO_2 0,5%	0,016	0,0015896	0,5	20,130
PAN- SiO_2 1%	0,027	0,0015896	0,5	34,027
PAN- SiO_2 1,5%	0,036	0,0015896	0,5	45,294

Lampiran 9 : Perhitungan pembuatan larutan Zn^{2+}

1. Pembuatan Larutan Baku Zn^{2+} 1000 ppm

   Mr $ZnSO_4.7H_2O$ = 287,54 g/mol

   Ar Zn =65,38 g/mol

   Massa $ZnSO_4.7H_2O$ = $\frac{Mr\ \text{ZnSO4.7H2O}}{\text{Ar Zn}}\ X\ \frac{1000\ mg}{1000\ \text{mL}}\ X\ \frac{100\ mL}{1000\ \text{mL}}$

   = $\frac{287{,}54\ g/mol}{65{,}38\ g/mol}\ X\ \frac{1000\ mg}{1000\ \text{mL}}\ \text{X}\ \frac{100\ mL}{1000\ \text{mL}}$

   = 0,4415 g

2. Pembuatan Larutan Standar

   - 10 ppm

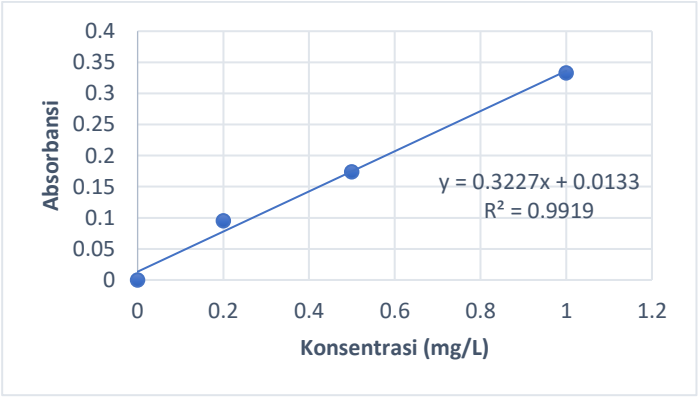
     $M_1.V_1 = M_2.V_2$

     1000 ppm. V_1 = 10 ppm.1000 mL

     V_1 = 10 mL

Lampiran 10 : Kurva Standar

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi
0	0
0,2	0,095
0,5	0,174
1	0,333



Lampiran 11 : Perhitungan ion logam Zn^{2+} hasil filtrasi

Membran	Absorbansi
PAN	1,5394
PAN-SiO_2 0,5%	1,5376
PAN-SiO_2 1%	1,5336
PAN-SiO_2 1,5%	1,5300

- Membran PAN

  Absorbansi = 1,5394

  y = 0,3227x + 0,0133

  1,5394 = 0,3227x + 0,0133

  1,5527 = 0,3227x

  X $= \frac{1,5527}{0,3227}$

  X = 4,8115 mg/L

  Konsentrasi akhir : 4,8115 mg/L

- Membran PAN-SiO_2 0,5%

  Absorbansi = 1,5376

  y = 0,3227x + 0,0133

  1,5376 = 0,3227x + 0,0133

  1,5509 = 0,3227x

  X $= \frac{1,5509}{0,3227}$

X = 4,8060 mg/L

Konsentrasi akhir : 4,8060 mg/L

- Membran PAN-SiO_2 1%

  Absorbansi = 1,5336

  y = 0,3227x + 0,0133

  1,5336 = 0,3227x + 0,0133

  1,5469 = 0,3227x

  X = $\frac{1,5469}{0,3227}$

  X = 4,7936 mg/L

  Konsentrasi akhir : 4,7936 mg/L

- Membran PAN-SiO_2 1,5%

  Absorbansi = 1,5300

  y = 0,3227x + 0,0133

  1,5300 = 0,3227x + 0,0133

  1,5433 = 0,3227x

  X = $\frac{1,5433}{0,3227}$

  X = 4,7824 mg/L

  Konsentrasi akhir : 4,7824 mg/L

Lampiran 12 : Perhitungan persen rejeksi membran

Perhitungan persen rejeksi membran menggunakan rumus

$\%R = (1- \frac{Cp}{Cf}) \, x \, 100\%$

Dengan

R = Koefisien Rejeksi (%)

Cp = Koefisien zat terlarut dalam permeat

Cf = Konsentrasi zat terlarut dalam umpan

- Membran PAN

  $\%R = (1 - \frac{Cp}{Cf}) \, x \, 100\%$

  $= (1 - \frac{4,8115}{7,418}) \, x \, 100\%$

  $= (1 - 0,6486) \, x \, 100\%$

  $= 35,13\%$

- Membran PAN-SiO_2 0,5%

  $\%R = (1 - \frac{Cp}{Cf}) \, x \, 100\%$

  $= (1 - \frac{4,8060}{7,418}) \, x \, 100\%$

  $= (1 - 0,6478) \, x \, 100\%$

  $= 35,21\%$

- Membran PAN-SiO_2 1%

  %R = (1 - $\frac{Cp}{Cf}$) *x* 100%

  = (1 - $\frac{4,7936}{7,418}$) *x* 100%

  = (1 – 0,6462) *x* 100%

  = 35,38%

- Membran PAN-SiO_2 1,5%

  %R = (1 - $\frac{Cp}{Cf}$) *x* 100%

  = (1 - $\frac{4,7824}{7,418}$) *x* 100%

  = (1 – 0,6447) *x* 100%

  = 35,53%

Membran	**Konsentrasi awal ion Zn^{2+} (mg/L)**	**Konsentrasi akhir ion Zn^{2+} (mg/L)**	**Rejeksi (%)**
PAN	7,418	4,8115	35,13%
PAN-SiO_2 0,5%	7,418	4,8060	35,21%
PAN- SiO_2 1%	7,418	4,7936	35,38%
PAN- SiO_2 1,5%	7,418	4,7824	35,53%

Lampiran 13 : Dokumentasi pembuatan membran



Penimbangan PAN



Penimbangan SiO_2



Stirer PAN-SiO_2

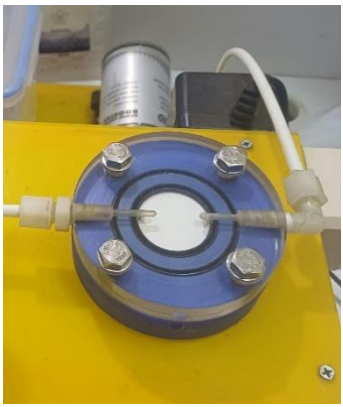


Membran Pada Bak Koagulasi

Lampiran 14 : Dokumentasi Proses Filtrasi Membran



Alat Filtrasi



Membran dalam Alat Filtrasi



Proses Filtrasi



Limbah Hasil Filtrasi

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Identitas Diri

Nama Lengkap : Permas Rabiah Indah

Tempat Tanggal Lahir : Jakarta, 10 April 2002

Jenis Kelamin : Perempuan

Agama : Islam

Pekerjaan : Mahasiswa UIN Walisongo Semarang

Alamat : Jalan Sungai Tiram Rt 006/002, Kel. Marunda, Kec. Cilincing, NO.23, Kode Pos 14150, Jakarta Utara, DKI.Jakarta

Telepon : 083110483473

Email : permasrabiahindah@gmail.com

Riwayat Pendidikan Formal

1. SDN MARUNDA 01 PG (2010-2016)
2. SMPN 200 JAKARTA (2016-2019)
3. SMAN 115 JAKARTA (2019-2021)
4. UIN WALISONGO SEMARANG (2021-2025)