

**PENGARUH ZnO PADA MEMBRAN *POLYACRYLONITRILE*
(PAN) TERHADAP PENURUNAN KADAR ION LOGAM Cu²⁺**

SKRIPSI

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



DAFFA AZHAR ADILLAH

NIM 2108036030

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

2025

**PENGARUH ZnO PADA MEMBRAN *POLYACRYLONITRILE*
(PAN) TERHADAP PENURUNAN KADAR ION LOGAM Cu²⁺**

SKRIPSI

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

Daffa Azhar Adillah

NIM 2108036030

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Daffa Azhar Adillah

NIM : 2108036030

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul :

**Pengaruh ZnO pada Membran *Polyacrylonitrile* (PAN)
terhadap Penurunan Kadar Ion Logam Cu^{2+}**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian atau karya saya sendiri, kecuali bagian lain yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 11 April 2025

Membuat pernyataan,



Daffa Azhar Adillah

NIM 2108036030

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : Pengaruh ZnO pada Membran *Polyacrylonitrile* (PAN)
terhadap Penurunan Kadar Ion Logam Cu^{2+}

Penulis : Daffa Azhar Adillah

NIM : 2108036030

Jurusan : Kimia

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

Semarang, 5 Mei 2025

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang



Mutista Hafshah, M.Si

NIP. 199401022019032015

Sekretaris Sidang



Ana Mardiyah, M.Si

NIP. 198905252019032019

Penguji I



Dr. Ervin Tri Suryandari, S.Si, M.Si

NIP. 197407162009122001



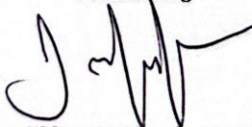
Penguji II



Kholidah, M.Sc

NIP. 198508112019032008

Pembimbing



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

NIP. 198304152009122006

NOTA DINAS

Semarang, 11 April 2025

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

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

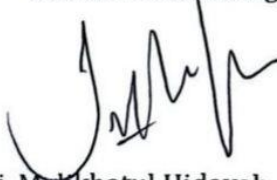
Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan :

Judul : Pengaruh ZnO pada Membran
Polyacrylonitrile (PAN) terhadap Penurunan
Kadar Ion Logam Cu^{2+}
Nama : Daffa Azhar Adillah
NIM : 2108036030
Jurusan : Kimia

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

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dosen Pembimbing



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

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan pembuatan dan karakterisasi membran *Polyacrylonitrile* (PAN) dan PAN-ZnO. Penambahan ZnO bertujuan untuk meningkatkan sifat hidrofilisitas yang dibuktikan dengan menurunnya nilai sudut kontak membran sehingga dapat meningkatkan nilai fluks dan rejeksi membran dan dapat meningkatkan kinerja membran dalam pengurangan kadar ion logam Cu^{2+} . Membran PAN dan PAN-ZnO dikarakterisasi untuk mengetahui kekuatan mekanik menggunakan uji *tensile strength*, untuk mengetahui hidrofilisitasnya menggunakan uji sudut kontak (*contact angel*), untuk mengetahui gugus fungsi menggunakan uji FTIR (*Fourier Transform Infrared*), dan untuk mengetahui morfologi menggunakan uji SEM *Mapping* EDX (*Scanning Electron Microscope- Mapping- Energy Dispersive X-Ray*). Membran PAN 15% memiliki kekuatan mekanik terbaik dengan nilai kuat tarik sebesar 3,109 MPa dan penambahan ZnO 0,5% mampu meningkatkan nilai kuat tarik menjadi 4,272 MPa. Penambahan ZnO 0,5% pada membran PAN 15% dapat meningkatkan sifat hidrofilisitas membran dengan menurunkan nilai sudut kontak dari $67,9^\circ$ menjadi $59,6^\circ$. Karakterisasi FTIR membran PAN menunjukkan adanya gugus fungsi PAN yaitu $\text{-C}\equiv\text{N}$ terlihat pada bilangan gelombang $2242,58\text{ cm}^{-1}$. Karakterisasi SEM *Mapping* EDX menunjukkan adanya unsur ZnO yang sudah berhasil ditambahkan. Penambahan ZnO 0,5% pada membran PAN 15% mampu meningkatkan nilai fluks dan rejeksi sebesar $6,17\text{ L/m}^2\cdot\text{jam}$ dan 3,9%.

Kata Kunci : Membran, PAN, ZnO, dan ion logam Cu^{2+} .

TRANSLITERASI ARAB-LATIN

Transliterasi huruf Arab ke dalam huruf latin yang dipakai dalam penulisan skripsi ini berpedoman pada Surat Keputusan Bersama Menteri Agama dan Meneteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor: 158/1987 dan Nomor: 05936/1987.

Daftar huruf dalam Bahasa Arab beserta tranliterasinya ke dalam huruf Latin dapat dilihat sebagai berikut :

Arab	Nama	Huruf Latin	Keterangan
ا	alif	Tidak dilambangkan	Tidak dilambangkan
ب	Ba	B	Be
ت	Ta	T	Te
ث	Śa	Ś	Es (dengan titik diatas)
ج	Jim	J	Je
ح	Ĥa	Ĥ	Ha (dengan titik dibawah)
خ	Kha	Kh	Ka dan ha
د	Dal	D	De
ذ	Žal	Ž	Zet (dengan titik diatas)
ر	Ra	R	Er
ز	Zai	Z	Zet
س	Sin	S	Es

ش	Syin	Sy	Es dan ye
ص	Ṣad	Ṣ	Es (dengan titik dibawah)
ض	Ḍad	Ḍ	De (dengan titik dibawah)
ط	Ta	Ṭ	Te (dengan titik dibawah)
ظ	Ẓa	Ẓ	Zet (dengan titik dibawah)
ع	‘Ain	‘ —	Apostrof terbalik
غ	Gain	G	Ge
ف	Fa	F	Ef
ق	Qof	Q	Qi
ك	Kaf	K	Ka
ل	Lam	L	El
م	Mim	M	Em
ن	Nun	N	En
و	Wau	W	We
ه	Ha	H	Ha
ء	Hamzah	— ’	Apostrof
ي	Ya	Y	Ye

Hamzah (ء (yang terletak di awal kata mengikuti vokalnya tanpa diberi tanda apa pun. Jika ia terletak di tengah atau di akhir, maka ditulis dengan tanda (’).

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah. Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan nikmat yang sangat luar biasa, memberi saya kekuatan, membekali saya dengan ilmu pengetahuan. Atas karunia serta kemudahan yang engkau berikan, akhirnya Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam selalu tercurah limpahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW.

Segala perjuangan saya hingga titik ini, saya persembahkan untuk orang-orang hebat, yang menjadi alasan saya kuat sehingga bisa menyelesaikan skripsi ini :

1. Kedua Orang tua, Papah Akrom, S. Ag dan Mamah Emi Marliyatun. Terimakasih atas segala doa, pengorbanan, dukungan dan kasih sayang kalian. Terimakasih sudah menemani berproses dan selalu mendukung saya agar dapat menyelesaikan skripsi ini. Semua yang saya lakukan sampai hari ini, akan saya dedikasikan untuk kebahagiaan papah dan mamah.
2. Adik saya Kalila Azhar Ramadhani, yang selalu menghibur dan memberikan semangat kepada saya. Semoga kelak kamu dapat mewujudkan cita-cita dan menjadi orang sukses.
3. Prof. Dr. H. Mushadi, M.Ag., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.

4. Mulyatun, M.Si., selaku Ketua Program Studi Kimia UIN Walisongo Semarang.
5. Dr. Hj. Malikhatul Hidayah, S.T, M.Pd, M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam memberikan bimbingan dan pengarahan kepada saya.
6. Dr. Ervin Tri Suryandari, S.Si, M. Si. , selaku Dosen Wali yang senantiasa memberikan bimbingan, dukungan, serta motivasi kepada saya selama proses belajar di kampus.
7. Segenap Bapak, Ibu Dosen, *Civitas Academica* UIN Walisongo Semarang Prodi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi.
8. Kepada Moh. Ikhlasul Adha, S.H., yang telah membersamai saya hingga mendapatkan gelar sarjana, terimakasih telah menjadi salah satu penyemangat, semoga kita bisa sukses bersama sesuai dengan apa yang kita impikan.
9. Kepada seluruh teman-teman saya di UIN Walisongo Semarang yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulisan skripsi ini.
10. Terakhir, kepada diri saya sendiri Daffa Azhar Adillah. Terimakasih sudah bertahan atas segala perjuangan perjalanan panjang ini, meskipun sering ingin menyerah dan merasa putus asa, saya bangga pada diri saya sendiri sehingga sampai di tahap bisa menyelesaikan skripsi ini.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
PENGESAHAN	iv
NOTA DINAS.....	v
ABSTRAK.....	vi
TRANSLITERASI ARAB-LATIN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	13
C. Tujuan Penelitian	13
D. Manfaat Penelitian.....	13
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	13
A. Landasan Teori.....	13
1. Teknologi Membran.....	13
a. Pengertian Membran.....	13
2. Klasifikasi Membran	15
a. Berdasarkan Bahan.....	15
b. Berdasarkan Morfologi.....	17

c.	Berdasarkan Fungsinya.....	18
d.	Berdasarkan Kerapatan Pori.....	21
e.	Berdasarkan Gaya Dorong Tekanan.....	23
f.	Berdasarkan Bentuk	23
3.	Metode Sintesis Membran	24
a.	<i>Stretching</i>	24
b.	<i>Sintering</i>	25
c.	<i>Track-Etching</i>	25
d.	<i>Coating</i>	26
e.	<i>Phase Inversion</i>	26
f.	<i>Template-Leaching</i>	28
4.	Tipe Aliran Umpan.....	28
a.	<i>Dead – End</i>	28
b.	<i>Cross Flow</i>	29
5.	<i>Polyacrylonitrile (PAN)</i>	30
6.	<i>Zinc Oxide (ZnO)</i>	33
7.	<i>Dimethylformamide (DMF)</i>	34
8.	Ion Logam Cu^{2+}	37
9.	Karakterisasi Membran	39
1.	Permeabilitas.....	39
2.	Selektivitas.....	41
3.	Kekuatan mekan.....	41
4.	Sudut Kontak	43
5.	<i>Fourier Transform Infrared (FT-IR)</i>	44
6.	<i>Scanning Electron Microscopy Mapping Energi Dispersive X-Ray (SEM Mapping EDX)</i>	48
7.	<i>Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)</i>	51

B.	Kajian Pustaka	53
C.	Hipotesis Penelitian	57
BAB III METODE PENELITIAN		58
A.	Alat dan Bahan	58
1.	Alat	58
2.	Bahan.....	58
B.	Langkah Kerja.....	59
1.	Pembuatan Membran	59
a.	Membran Polyacrylonitrile (PAN)	59
b.	Membran PAN-ZnO	60
c.	Pengujian Membran PAN dan membran PAN/ZnO	62
2.	Karakteristik Membran	63
a.	Uji kekuatan mekanik.....	63
b.	Uji <i>Contact Angle</i> (sudut kontak).....	63
c.	Analisis FT-IR.....	64
d.	Uji SEM <i>Mapping</i> EDX.....	64
e.	Uji Filtrasi.....	64
3.	Pengukuran Kadar Ion Logam Cu^{2+}	65
a.	Pembuatan larutan Cu^{2+} 1000 ppm.....	65
b.	Pembuatan larutan Cu^{2+} 10 ppm.....	66
c.	Pembuatan Kurva Standar	66
d.	Pengukuran Ion Logam Cu^{2+}	67
BAB IV PEMBAHASAN.....		67
A.	Pembuatan Membran	67
1.	Membran PAN	68
2.	Membran PAN-ZnO	75

B.	Karakterisasi Membran	78
1.	Uji Kekuatan Mekanik	78
2.	Uji Sudut Kontak.....	81
3.	Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FT-IR.....	85
4.	Uji Fluks Membran	88
5.	Pengukuran Kadar Ion Logam Cu^{2+}	91
6.	Uji Rejeksi Membran.....	94
7.	Karakterisasi Membran dengan SEM <i>Mapping</i> EDX	97
BAB V PENUTUP		105
A.	Kesimpulan	105
B.	Saran.....	106
DAFTAR PUSTAKA.....		109
LAMPIRAN		114

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Polimer-polimer untuk pembuatan membran	16
Tabel 2.2 Perbedaan gaya dorong tekanan membran.....	23
Tabel 2.3 Karakteristik fisika dari Polyacrylonitrile	31
Tabel 2.4 Sifat Fisika dari Dimethylformamide	35
Tabel 2.5 Baku Mutu Limbah Logam Cu.....	38
Tabel 2.6 Kisaran nilai fluks	40
Tabel 2.7 Ringkasan data panjang gelombang PAN.....	48
Tabel 4.1 Hasil uji kekuatan mekanik membran PAN.....	72
Tabel 4.2 Hasil uji kekuatan mekanik membran PAN-ZnO	79
Tabel 4.3 Hasil sudut kontak membran.....	84
Tabel 4. 4 Analisis gugus fungsi membran PAN 15% dan PAN- ZnO.....	88
Tabel 4.5 Hasil fluks membran PAN dan PAN-ZnO.....	89
Tabel 4.6 Nilai absorbansi larutan standar Cu^{2+}	92
Tabel 4.7 Hasil persen rejeksi membran.....	94
Tabel 4.8 Komponen unsur membran.....	100
Tabel 4.9 Hasil oxide membran.....	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pemisahan membran	15
Gambar 2. 2 Metode inversi fasa	27
Gambar 2. 3 Tipe proses pemisahan.....	29
Gambar 2. 4 Struktur PAN	30
Gambar 2.5 Struktur DMF.....	36
Gambar 2. 6 Skema Instrumen FTIR	46
Gambar 2. 7 Spektrum FTIR untuk serbuk PAN.....	47
Gambar 2. 8 Bagian melintang membran asimetrik	51
Gambar 2. 9 Prinsip kerja AAS.....	52
Gambar 4.1 Membran a) PAN 5%, b)PAN 10%, c)PAN 15%, c)PAN 20%.....	70
Gambar 4.2 Membran a) PAN-ZnO 0,1%, b)PAN-ZnO 0,3%, c)PAN-ZnO 0,5%, d)PAN-Zn) 1%, e)PAN-ZnO 1,5%.....	76
Gambar 4. 3 Sudut Kontak a) PAN 15%,.....	83
Gambar 4. 4 Spektra FTIR membran	86
Gambar 4.5 Pengaruh konsentrasi ZnO terhadap nilai Fluks membran A)PAN, B)PAN-ZnO 0,5%, c)PAN- ZnO 1%, D) PAN-ZnO 1,5%	90
Gambar 4.6 Kurva kalibrasi larutan standar	92
Gambar 4.7 Pengaruh konsentrasi ZnO terhadap nilai rejeksi membran A)PAN, B)PAN-ZnO 0,5%, C)PAN-ZnO 1%, D) PAN-ZnO 1,5%.....	95

Gambar 4.8 Morfologi penampang lintang dengan perbesaran 5000x a) membran PAN 15%, b) membran PAN-ZnO 0,5%]	98
Gambar 4.9 Grafik EDX Membran a) PAN 15%, b) PAN-ZnO 0,5 %	99
Gambar 4.10 Hasil Mapping membran a) PAN 15%, b) PAN-ZnO 0,5%	102

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Preparasi membran PAN	114
Lampiran 2 : Preparasi membran PAN-ZnO	115
Lampiran 3 : Pengukuran kadar ion logam Cu^{2+}	116
Lampiran 4 : Uji kinerja membran pada limbah	118
Lampiran 5 : Hasil uji kuat tarik.....	120
Lampiran 6 : Hasil uji sudut kontak.....	122
Lampiran 7 : Hasil uji FTIR.....	125
Lampiran 8 : Perhitungan fluks membran.....	127
Lampiran 9 : Perhitungan pembuatan larutan Cu^{2+}	130
Lampiran 10 : Kurva standar	132
Lampiran 11 : Perhitungan ion logam Cu^{2+} hasil filtrasi .	133
Lampiran 12 : Perhitungan persen rejeksi membran	136
Lampiran 13 : Dokumentasi pembuatan membran.....	138
Lampiran 14 : Dokumentasi proses filtrasi membran.....	139
Lampiran 15: Daftar Riwayat Hidup	139

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sungai adalah sumber air yang sangat penting bagi kehidupan, dengan berbagai kegunaan seperti sumber air minum, irigasi, serta dapat menjadi jalur transportasi. Peran sungai sangat penting sehingga harus dipelihara dengan baik. Sampai saat ini, sungai masih dimanfaatkan sebagai sumber air baku oleh perusahaan pengelola air bersih. Meskipun air sungai memiliki banyak manfaat bagi manusia, air sungai juga merupakan sumber daya alam yang rentan terhadap pencemaran. Salah satu pencemaran sungai diakibatkan pembuangan limbah (Kuntjoro *et al.*, 2022).

Limbah merupakan sisa hasil dari proses produksi, baik sektor industri maupun rumah tangga. Limbah dapat muncul pada waktu dan tempat yang tidak memiliki nilai ekonomis, dengan kata lain limbah merupakan barang sisa dari suatu kegiatan yang sudah tidak bermanfaat atau bernilai ekonomi (Erika & Gusmira, 2024).

Limbah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun dikenal sebagai limbah B3, meskipun jumlahnya sedikit, namun memiliki potensi besar untuk merusak lingkungan dan sumber daya alam. Tingkat bahaya yang dihasilkan oleh limbah tergantung pada jenis dan karakteristik dari limbah itu sendiri. Salah satu limbah yang berbahaya yang memberikan dampak serius terhadap kesehatan manusia adalah limbah industri (Silalahi *et al.*, 2023).

Indonesia pada tahun 2019 menghasilkan limbah B3 industri sebesar 44,9 juta ton, dengan sekitar 285 ribu ton di antaranya belum dikelola dengan baik (KLHK), 2019. Di tingkat rumah tangga, wilayah Jakarta Barat mencatatkan produksi limbah padat B3 sebesar 4.334,85 kg/tahun, setara 0,98% dari total sampah rumah tangga (Wardianto *et al.*, 2023). Selain itu, tingkat pemanfaatan limbah B3 nasional hanya mencapai 22,5% atau sekitar 13,26 juta ton dari total limbah yang dihasilkan (Yurnalisdel, 2023).

Limbah industri yang dibuang ke sungai akan menurunkan kualitas air sungai tersebut. Akibat adanya peningkatan kegiatan pembangunan di berbagai bidang baik secara langsung maupun tidak langsung berdampak terhadap kerusakan

lingkungan, salah satunya yaitu pencemaran limbah logam industri. Proses kegiatan industri tentunya akan menghasilkan limbah dengan jumlah yang tidak sedikit. Limbah industri sering mengandung berbagai zat berbahaya yang dapat mencemari lingkungan dan berdampak negatif pada kesehatan manusia serta ekosistem (Nugrayani *et al.* 2023). Beban pencemar BOD yang berasal dari aktivitas 21 outlet industri tercatat mencapai 14.506,36 kg/hari, dengan kontribusi terbesar berasal dari satu industri di Purwakarta yang menyumbang 9.456,60 kg/hari. Limbah industri menjadi sumber utama pencemaran logam berat di lingkungan perairan akibat penggunaan logam berat yang luas dalam sektor industri (Febrita & Roosmini, 2022). Pencemaran lingkungan telah dijelaskan dalam Al-qur'an pada Q.S Al-Baqarah (2:205) sebagai berikut :

وَإِذَا تَوَلَّى سَعَىٰ فِي الْأَرْضِ لِيُفْسِدَ فِيهَا وَيُهْلِكَ الْحَرْثَ وَالنَّسْلَ ۗ وَاللَّهُ لَا يُحِبُّ الْفُسَادَ

Artinya: "Dan apabila ia berpaling (dari kamu), dia berjalan di bumi untuk menimbulkan kerusakan di bumi, merusak tanaman-tanaman dan binatang ternak, dan Allah tidak menyukai kerusakan."

Berdasarkan ayat tersebut, Allah SWT Tuhan semesta alam, tidak menyukai kerusakan dan kekacauan. Allah menciptakan bumi dan seluruh isinya dengan penuh kasih sayang dan keindahan, dan menghendaki agar manusia menjaganya dengan penuh rasa tanggung jawab. Perbuatan orang-orang yang merusak alam semesta merupakan bentuk penghianatan terhadap amanah yang telah diberikan oleh Allah SWT, dan kelak harus mempertanggungjawabkan perbuatannya di hadapan Allah SWT di hari kiamat (Hazmi *et al.*, 2024). Langkah yang dapat dilakukan kita sebagai manusia beriman yaitu dengan berhenti mencemari dan mengurangi pencemaran yang ada, salah satunya dengan cara pengolahan limbah.

Logam berat adalah kelompok unsur logam yang memiliki massa jenis lebih dari 5 g/cm^3 yang pada jumlah tertentu dapat berubah menjadi racun bagi lingkungan. Peningkatan kadar logam berat di perairan dapat mengubah fungsi logam yang diperlukan untuk siklus metabolisme berubah menjadi racun yang berbahaya bagi organisme laut. Selain berbahaya, logam berat juga akan terakumulasi dalam bentuk residu. Pencemaran logam berat pada perairan

biasanya berkaitan erat dengan penggunaan logam tersebut oleh manusia. Logam berat yang terlarut dapat teradsorpsi pada partikel sedimen sungai, sedimen sungai merupakan pembawa logam berat dan dapat menjadi sumber pencemaran sekunder. Selain itu, berbagai proses bahan kimia dan biologi juga melepaskan logam berat dari sedimen ke dalam air, yang akan menyebabkan potensi resiko ekologis terhadap organisme akuatik dan manusia (Aryani *et al.*, 2021).

Logam berat seperti merkuri (Hg), timbal (Pb), tembaga (Cu), kadmium (Cd), arsenik (As), nikel (Ni), dan besi (Fe) banyak mencemari lingkungan, dengan konsentrasi Pb tercatat 7,72 mg/L, Cd sebesar 0,092 mg/L, dan Cu sebesar 1,438 mg/L di beberapa perairan industri (Razi *et al.*, 2023). Sedimen di Teluk Jakarta juga mengandung Pb sebesar 25,72 mg/kg dan Cu sebesar 22,81 mg/kg (Edward *et al.*, 2021), sedangkan perairan Pomalaa menunjukkan kadar Fe 0,26–0,47 mg/L dan Ni 0,06–0,12 mg/L yang telah melebihi kapasitas asimilasinya (Riska *et al.*, 2022). Logam-logam berat ini merupakan logam esensial yang dalam jumlah tertentu sangat diperlukan oleh organisme hidup. Namun, jumlah pencemarannya

dapat meningkat karena aktivitas manusia. Paparan logam berat tersebut dapat menyebabkan dampak khusus bagi kesehatan manusia, seperti penyakit minamata, bibir sumbing, kerusakan sistem saraf, cacat lahir, sifat karsinogenik, dan gangguan fungsi imun (Putri, 2024). Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa semua logam berat berpotensi menjadi racun bagi tubuh makhluk hidup jika terakumulasi dalam jangka waktu yang lama (Juharna *et al.*, 2022).

Tembaga (Cu) adalah logam esensial yang umum ditemukan dalam air limbah industri. Konsentrasi Cu dalam air limbah industri dapat bervariasi, tergantung pada jenis industri dan proses produksinya (Khairuddin *et al.*, 2021). WHO (2022) merekomendasikan batas maksimum Cu dalam air minum sebesar 2 mg/L. Namun, penelitian Zhang (2020) menemukan konsentrasi Cu^{2+} di kawasan industri Cina mencapai 5,6–12,3 mg/L. Paparan lebih dari 10 mg/hari meningkatkan risiko kerusakan hati sebesar 35–40% (Nurcholis *et al.*, 2023), dan pada anak-anak, kadar Cu^{2+} di atas 3 mg/L menurunkan skor IQ rata-rata 4–6 poin (Singh *et al.*, 2021). Dengan demikian logam Cu dikonfirmasi sebagai bahan beracun. Cu di lingkungan perairan dapat berasal dari

peristiwa alam. Aktivitas manusia seperti limbah industri, penambangan tembaga, pembuatan kapal, dan berbagai aktivitas pelabuhan lainnya merupakan penyebab terjadinya peningkatan kadar tembaga di lingkungan perairan (Yap *et al.*, 2022).

Mengingat bahaya yang ditimbulkan dari keberadaan ion logam (Cu^{2+}), berbagai metode telah banyak dikembangkan, seperti pengendapan, penukaran ion, penguapan, oksidasi, dan filtrasi membran. Diantara metode tersebut, metode non-membran biasanya kurang efektif dalam menghilangkan partikel logam berat yang sangat kecil (Tampubolon *et al.*, 2015). Hal ini diperkuat dengan penelitian yang dilakukan Setiawan *et al.*, (2021) menjelaskan bahwa efektivitas metode koagulasi-flokulasi untuk menurunkan konsentrasi logam berat, termasuk Cu^{2+} , hanya mencapai sekitar 40–50%. Sebagai perbandingan, jika menggunakan kombinasi dengan metode membran seperti ultrafiltrasi (UF), efisiensi penyisihan Cu^{2+} dapat meningkat hingga 87,35–88,2% . Ini membuktikan bahwa metode non-membran sendiri kurang efektif dalam menghilangkan partikel logam berat berukuran kecil seperti Cu^{2+} (yang ukuran ionnya hanya 1,28 Å). Teknologi

membran menjadi solusi untuk mengatasi masalah pencemaran air sungai untuk mengurangi kadar ion logam (Cu^{2+}). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Setyaningrum *et al* (2014) tentang pembuatan membran kitosan-silika abu sekam padi untuk filtrasi Cu^{2+} dan Cd^{+} . Penurunan filtrasi ion logam Cu^{2+} dan Cd^{+} efektif, dengan konsentrasi awal masing-masing sebesar 48,8372% dan 71,5789% kemudian menurun menjadi 20,9302% dan 46,3158%.

Membran juga dapat diartikan sebagai film (lapisan tipis) yang sangat selektif, dan berfungsi mengatur perpindahan komponen pada dua kompartemen yang berdekatan. Hal ini berarti, jika suatu larutan umpan yang terdiri dari dua komponen atau lebih dikontakkan/dilewatkan pada sebuah membran, maka akan terdapat komponen yang akan tertahan oleh membran dan komponen lain yang dapat melewati membran. Membran memiliki pori-pori yang sangat halus yang mampu untuk menyaring partikel mikroskopis, sehingga tanpa membran, banyak logam berat yang mungkin masih lolos (Dianira & Kuntjoro, 2022).

Bahan utama pembuatan membran dapat berasal dari logam, keramik, *zeolite*, silika, kaca,

biopolimer dan polimer. Bahan polimer yang utama digunakan seperti *polyvinylidene fluoride* (PVDF), *polysulfone* (PSF), *polyetersulfone* (PES), *polyacrylonitrile* (PAN), *polypropilena* (PP), *polytetrafluoroethylene* (PTFE), dan sebagainya (Valentine *et al.*, 2019).

Polyacrylonitrile (PAN) dipilih sebagai polimer membran karena merupakan salah satu polimer serbaguna yang umum digunakan dalam produksi membran karena sifat ketahanan terhadap pelarut yang baik. Untuk mengetahui sifat mekanik membran PAN dapat dilakukan uji kekuatan mekanik (*Tensile testing*). PAN merupakan polimer organik, hasil sintesis kimia oleh monomer – monomer *acrylonitrile*. PAN digunakan karena memiliki stabilitas termal dan sifat mekanik yang baik. Selain itu, keunggulan dari PAN yaitu memiliki nilai *tensile* modulus sekitar 240-310 Gpa dan *tensile strenght* 3515-6380 Mpa. *Polyacrylonitrile* (PAN) terbentuk dari polimerisasi antara *acrylonitrile* kopolimer dengan inisiator (Fath *et al.*, 2024). Pelarut seperti *N-N, dimethylformamide* (DMF) dibutuhkan dalam polimerisasi ini agar cepat terbentuk ikatan silang antara monomer dan inisiator. DMF merupakan senyawa organik dengan rumus

kimia C_3H_7NO . DMF berbentuk cairan tak berwarna, tak berbau yang larut dalam pelarut air dan sebagian besar pelarut organik. DMF merupakan pelarut polar yang digunakan untuk melarutkan PAN hingga homogen. Berdasarkan penelitian Mulyati *et al* (2017) menyatakan bahwa membran dengan pelarut DMF mempunyai lapisan *dense layer* yang rapat dan lebih tipis dibandingkan dengan membran dengan pelarut *N-Methyl Pyrrolidine* (NMP) sehingga fluks yang melewati membran akan lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pelarut DMF dapat meningkatkan efisiensi dalam aplikasi penyerapan logam.

Membran dapat mengalami penurunan nilai fluks dan rejeksi dari waktu ke waktu, karena penyumbatan membran yang diakibatkan oleh partikel atau kontaminan yang mengendap pada permukaan atau dalam pori-pori membran. Maka dari itu diperlukan bahan aditif yang bertujuan untuk membantu meningkatkan nilai fluks dan rejeksi pada membran. Bahan aditif yang dapat meningkatkan nilai fluks dan rejeksi membran diantaranya adalah TiO_2 , ZnO , SiO_2 , polimer hidrofilik seperti *polyethylene glycol* (PEG), dan lainnya (Fathanah & Meilina, 2021). ZnO dipilih sebagai zat aditif karena dapat meningkatkan hidrofilisitas permukaan membran.

ZnO memiliki ikatan Zn-O yang bersifat polar sehingga dapat menarik molekul air yang berarti air lebih mudah menembus membran. Kehadiran gugus polar ini dapat meningkatkan afinitas membran terhadap air, sehingga meningkatkan hidrofilitasnya (Marhamah & Astuti, 2022). Sifat ini dapat mengurangi hambatan aliran air, sehingga dapat meningkatkan nilai fluks (jumlah air yang dapat melewati membran per satuan waktu). ZnO juga dapat mempengaruhi struktur membran, sehingga ukuran pori membran dapat diatur agar lebih selektif terhadap kontaminan. ZnO juga menyebabkan pori dari membran tersebut mengecil. Sehingga dengan pori yang semakin kecil, maka rejeksi dari membran tersebut akan meningkat. Dengan demikian, ZnO mampu meningkatkan fluks dan rejeksi pada membran (Hidayah *et al.*, 2022).

Zinc Oxide (ZnO) merupakan senyawa anorganik yang umumnya berbentuk serbuk putih, hampir tidak larut dalam air, serta tetap larut dalam asam dan basa. ZnO dianggap sebagai pilihan ideal sebagai zat aditif untuk pengolahan air karena daya oksidasinya yang tinggi. Bahan ini digunakan sebagai bahan dasar lapisan tipis, karena memiliki beberapa keunggulan dalam aplikasinya, terutama dalam bidang sensor, sel surya, serta *nanodevice*. ZnO juga memiliki sifat yang

ramah lingkungan, tidak beracun dan tahan terhadap korosi (Yunita *et al.*, 2020).

Berdasarkan hasil penelitian-penelitian sebelumnya, maka dilakukan inovasi pada penelitian ini dengan pembuatan membran dari *Polyacrylonitrile* (PAN) yang ditambahkan aditif *Zinc Oxide* (Zno) dan pelarut *Dimethylformamide* (DMF) untuk mengurangi kadar ion logam Cu^{2+} . Penambahan ZnO pada membran PAN dapat meningkatkan sifat hidrofilitas membran sehingga dapat meningkatkan nilai fluks dan rejeksi pada membran dan dapat meningkatkan kinerjanya dalam pengurangan kadar ion logam Cu^{2+} . Membran yang telah dibuat diuji kinerjanya dengan uji kekuatan mekanik, uji sudut kontak, uji gugus fungsi menggunakan *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* (FTIR), *Atomic Absorption Spektrofotometer* (AAS) dan *Scanning Electron Microscopy Mapping Energy Dispersive X-Ray* (SEM Mapping EDX).

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik membran PAN dan membran PAN-ZnO dilihat dari gugus fungsi, uji kekuatan mekanik, morfologi, nilai fluks, nilai rejeksi dan pengaruh penambahan ZnO terhadap sifat hidrofilik membran ?
2. Bagaimana kinerja membran PAN dan membran PAN- ZnO terhadap penurunan kadar ion logam Cu^{2+} ?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui karakteristik membran PAN dan membran PAN-ZnO dilihat dari gugus fungsi, uji kekuatan mekanik, morfologi, nilai fluks, nilai rejeksi dan pengaruh penambahan ZnO terhadap sifat hidrofilik membran ?
2. Untuk mengetahui kinerja membran PAN dan membran PAN-ZnO terhadap penurunan kadar ion logam Cu^{2+}

D. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi bagaimana karakteristik dari membran PAN dan membran PAN-ZnO dilihat dari gugus fungsi, uji kekuatan mekanik, morfologi,

nilai fluks, nilai rejeksi dan pengaruh penambahan ZnO terhadap sifat hidrofilik membran

2. Memberikan informasi bagaimana kinerja membran PAN dan membran PAN-ZnO terhadap penurunan kadar ion logam Cu^{2+}

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Teknologi Membran

a. Pengertian Membran

Membran adalah lapisan tipis diantara dua fasa yang bersifat selektif dan berfungsi untuk mengatur perpindahan komponen pada dua kompartemen yang berdekatan tersebut. Hal ini berarti jika suatu larutan umpan yang terdiri dari dua komponen atau lebih dikontakkan/ dilewatkan pada sebuah membran, maka akan terdapat komponen yang akan tertahan oleh membran dan komponen lain yang dapat melewati membran. Komponen umpan yang tertahan oleh membran disebut sebagai retentat (konsentrat) sedangkan komponen umpan yang dapat melewati membran disebut sebagai permeat. Partikel yang berukuran lebih besar dari pori-pori membran akan tertahan oleh membran, namun partikel yang lebih kecil dari pori-pori membran akan bisa

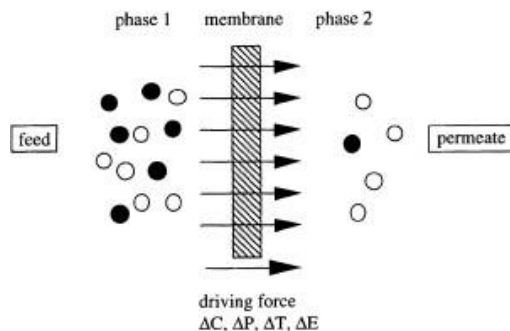
mampu menerobos pori-pori membran tersebut. Proses pemisahan membran dapat terjadi karena perbedaan ukuran pori, bentuk, dan struktur kimia (Rahmat *et al.*, 2020)

Meningkatnya penggunaan teknologi membran di berbagai aplikasi industri tidak bisa terlepas dari keunggulan yang dimiliki. Keunggulan utama pada penggunaan membran untuk unit pemisahan atau tempat terjadinya reaksi dibandingkan dengan metode pemisahan lainnya, yaitu proses pemisahan yang dapat dilakukan secara berkelanjutan, material membran yang bervariasi, ramah lingkungan, beroperasi secara isothermal pada temperatur kamar dan konsumsi energi yang lebih rendah, penggunaannya tidak mengakibatkan dampak buruk dan membran yang sudah dihasilkan dapat digunakan kembali (Ariyanti *et al.*, 2020).

Kelemahan dari teknologi membran berada pada nilai fluks (hasil akhir aliran air murni keluar dari membran) dan rejeksi

(kemampuan membran untuk menyaring) terkadang hasilnya berbanding terbalik, semakin tinggi nilai fluks maka semakin rendah rejeksi dan sebaliknya. Sedangkan aplikasi membran sendiri diharapkan mampu untuk meningkatkan nilai fluks dan rejeksi dari membran tersebut (Kusumocahyo *et al.*, 2021).

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



Gambar 2. 1 Pemisahan membran (Mulder, 1996)

2. Klasifikasi Membran

a. Berdasarkan Bahan

1. Membran Polimer

Beberapa bahan polimer yang sering digunakan dalam pembuatan membran dapat

dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Polimer-polimer untuk pembuatan membran (Susanto & Ulbricht, 2009)

Membran Polimer	Pelarut umum	T(°C)	pH
<i>Polysulfone</i>	DMAc, DMF, DMSO, NMP	198	2-13
<i>Poly(ether sulfone)</i>	DMAc, DMF, DMSO, NMP	225	2-13
<i>Poly(vinylidene fluoride)</i>	DMAc, DMF, NMP, DMSO	-40	2-11
<i>Polyacrylonitrile</i>	DMAc, DMF, asam nitrat	100	2-10
Selulosa asetat	Acetone, dioxan, DMAc, DMF, DMSO, THF	Sekitar 135	3-7

2. Membran Anorganik

Membran anorganik banyak digunakan untuk pemisahan gas, nanofiltrasi, mikrofiltrasi. Contoh membran anorganik yaitu :

- a. Membran keramik, pembentukan membran ini yaitu menggunakan perpaduan antara logam dan non logam sehingga terbentuk oksida, karbida, atau

nitrida.

- b. Membran metalik, membran ini dapat ditentukan dengan metode *sintering* bubuk logam.
- c. Membran gelas, membran ini dapat dibentuk menggunakan teknik *demixed glasses* (Elma *et al.*, 2013).

b. Berdasarkan Morfologi

1. Membran Asimetrik

Membran asimetrik merupakan membran yang terdiri dari lapisan tipis yang merupakan lapisan aktif dengan lapisan pendukung dibawahnya. Lapisan bawah ini tidak mempengaruhi karakteristik pemisahan maupun kecepatan filtrasi. Kerapatan pori serta ukuran membran asimetris ini tidak sama, dimana ukuran pori pada bagian kulit lebih kecil dibandingkan dengan bagian pendukung. Ketebalan lapisan tipis yaitu antara 0,2-1,0 μm dan lapisan pendukung sublayer yang berpori dengan ukuran antara 50-150 μm . Membran asimetrik ini biasanya digunakan pada proses

pemisahan yang memanfaatkan perbedaan tekanan sebagai gaya dorong seperti proses ultrafiltrasi dan *reverse osmosis* (RO) (Kurniawan *et al.*, 2015).

2. Membran Simetrik

Membran simetrik adalah membran yang mempunyai ukuran dan kerapatan pori yang sama disemua bagian, tidak mempunyai lapisan kulit. Ketebalannya berkisar antara 10- 200 μm . Membran jenis simetrik biasanya lebih cepat mengalami penyumbatan pori yang dapat mengakibatkan terjadinya *fouling* dan penurunan permeabilitas (Kurniawan *et al.*, 2015).

c. Berdasarkan Fungsinya

Berdasarkan fungsinya, membran dibedakan menjadi enam jenis, yaitu :

1. Membran mikrofiltrasi

Membran mikrofiltrasi digunakan untuk pemisahan antartikel (bakteri, ragi) yang berfungsi untuk menyaring makromolekul $>500.000 \text{ g/mol}$ atau partikel

berukuran 0,1-10,0 μm . Tekanan membran yang digunakan yaitu kisaran 0,5-2,0 bar. Membran ini mempunyai struktur asimetrik dan simetrik (Mulder, 1996).

2. Membran ultrafiltrasi

Membran ultrafiltrasi digunakan untuk pemisahan antar molekul yang berfungsi untuk menyaring makromolekul berukuran >5000 g/mol atau partikel yang berukuran 0,001-0,100 μm . Membran ini memiliki struktur asimetrik (Mulder, 1996).

3. Membran nanofiltrasi

Membran nanofiltrasi yaitu membran yang akan digunakan jika membran ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi tidak dapat memisahkan air secara sempurna sesuai apa yang diharapkan. Membran ini dapat memisahkan partikel yang berukuran 0,0005-0,005 μm . Membran nanofiltrasi untuk pemisahan ukuran juga bisa memberikan penolakan ion lainnya. Dibandingkan dengan *reverse osmosis*, fluks penyerapan nanofiltrasi lebih besar, sedangkan pemasukan energi lebih sedikit (Kedang, 2018).

4. Membran osmosis – balik

Membran ini berfungsi untuk menyaring garam-garam organik yang berukuran >50 g/mol atau partikel yang berukuran $0,0001-0,001$ μm . Prinsip dasar membran ini adalah memberikan tekanan hidrostatik yang melebihi tekanan osmosis larutan sehingga pelarut dapat berpindah dari larutan yang memiliki konsentrasi zat terlarut yang lebih tinggi ke zat terlarut yang lebih rendah (Wenten *et al.*, 2014).

5. Membran dialisis

Membran ini berfungsi untuk pemisahan larutan koloid yang mengandung elektrolit dengan bobot molekul kecil. Molekul terlarut yang berukuran lebih kecil dari pori membran dapat keluar, sedangkan molekul lainnya yang lebih besar akan tertahan dalam membran (Astuti, 2016).

6. Membran elektrodialisis

Membran ini berfungsi untuk memisahkan larutan melalui pemberian muatan listrik. Gaya gerak listrik berperan sebagai gaya pendorong. Kelebihan membran

elektrodialisis dibandingkan dengan membran osmosis-balik yaitu penggunaan tekanan yang dibutuhkan lebih rendah, dan kemampuan membran lebih tahan lama, karena proses ini dapat meminimalkan terjadinya *fouling* pada membran (Astuti, 2016).

d. Berdasarkan Kerapatan Pori

Membran diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, yaitu :

1. Membran berpori

Membran berpori memiliki ruang terbuka di bagian dalamnya yang dianggap sebagai pori membran. Selektivitas membran dapat ditentukan berdasarkan hubungan antara ukuran pori membran dengan ukuran partikel yang melewati membran. Mekanisme pemisahan pada membran berpori menggunakan perbedaan tekanan antar membran sebagai gaya dorong. Berdasarkan ukuran kerapatan pori, membran dibagi menjadi tiga :

- a. Makropori: membran dengan ukuran pori >50 nm
- b. Mesopori : membran dengan ukuran pori

antara 2-50 nm

- c. Mikropori : membran dengan ukuran pori < 2 nm (Astuti 2016).

2. Membran Tidak Berpori

Membran tidak berpori berupa lapisan tipis yang memiliki ukuran pori yang lebih kecil dari 0,001 μm dengan kerapatan pori yang relatif kecil. Membran tidak berpori biasanya digunakan untuk pemisahan campuran dengan ukuran partikel seragam dan berukuran sangat kecil yang tidak dapat dipisahkan oleh membran berpori. Membran jenis ini biasanya dapat diaplikasikan untuk pemisahan gas dan pervaporasi. Pemisahannya berdasarkan kelarutan dan perbedaan kecepatan difusi (Elma *et al.*, 2013).

3. Membran Pembawa

Mekanisme pemindahan massa pada membran pembawa dipengaruhi oleh material membran dan keberadaan molekul pembawa yang spesifik. Terdapat dua mekanisme perpindahan spesies dalam membran, yaitu pembawa yang tetap berada dalam matriks membran, dan pembawa yang bergerak ketika

dilarutkan dalam cairan tertentu (Elma et al., 2013),

e. Berdasarkan Gaya Dorong Tekanan

Membran berdasarkan gaya dorong tekanan memiliki perbedaan pada kemampuannya dalam memfilter suatu partikel dalam air sesuai dengan ukurannya. Perbedaan gaya dorong tekanan membran terdapat pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Perbedaan gaya dorong tekanan membran (Elma et al., 2013)

Jenis Membran	Tekanan (bar)	Ukuran Partikel (mm)	Fluks (L/m².jam)
Mikrofiltrasi	0,1-2	< 0,2	<50
Ultrafiltrasi	2-5	0,2-0,001	10-50
Nanofiltrasi	5-20	0,01-0,001	1,4-12
<i>Reverse Osmosis</i>	10-100	<0,001	0,005-1,4

f. Berdasarkan Bentuk

Membran berdasarkan bentuknya dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu :

1. Membran datar

Membran ini mempunyai penampang lembaran. Pada aplikasinya penggunaan membran datar dapat dilakukan melalui

membran 1(satu) lembar dan membran datar tersusun (*Elma et al., 2013*)

2. Membran spiral

Membran spiral bergulung yaitu membran datar yang tersusun bertingkat kemudian digulung dengan pipa sentral berbentuk spiral (*Elma et al., 2013*)

3. Membran Tubular

Membran tubular merupakan membran yang berbentuk pipa memanjang. Membran jenis tubular ini terbagi menjadi tiga kelompok, yaitu :

- a. Membran serat berongga ($d < 0,5 \text{ mm}$)
- b. Membran kapiler ($d \text{ } 0,5\text{-}5,0 \text{ mm}$)
- c. Membran tubular ($d > 5,0 \text{ mm}$) (*Elma et al., 2013*)

3. Metode Sintesis Membran

Beberapa teknik pembuatan membraan yaitu sebagai berikut :

a. *Stretching*

Stretching adalah metode pembuatan membran dimana dibuat menggunakan bahan polimer semi kristalin yang direntangkan searah dengan

proses ekstruksi sehingga molekul-molekul kristalnya akan terletak paralel satu sama lain. Teknik ini akan membentuk struktur pori berukuran $0,1 - 0,3 \mu\text{m}$ (Bahiyah, 2023).

b. Sintering

Sintering adalah teknik yang sangat sederhana, dapat dilakukan menggunakan bahan anorganik maupun organik. Bahan untuk pembuatan membran dipanaskan pada suhu yang tinggi dan ditekan, sehingga pori-pori antar partikel yang berdekatan akan menghilang. Teknik ini dapat menghasilkan membran dengan ukuran pori $0,1 - 10 \mu\text{m}$ (Bahiyah, 2023).

c. Track-Etching

Track-Etching adalah metode dimana bahan membran ditembak oleh partikel radiasi berenergi tinggi tegak lurus ke arah film. Partikel ini akan merusak matriks polimer dan membentuk sebuah lintasan dan selanjutnya membentuk pori silinder

yang sama dengan distribusi pori yang sempit (Bahiyah, 2023).

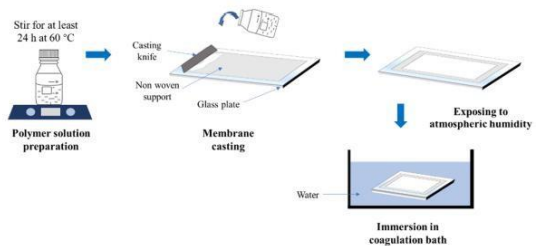
d. *Coating*

Coating adalah proses melapisi bahan dasar yang bertujuan untuk memberi perlindungan pada suatu material. Tingkat proteksi dari pelapisan tergantung pada sistem keseluruhan dari pelapisan yang terdiri dari jenis pelapisan, substrat, dan preparasi permukaan. Teknik coating diawali dengan menyiapkan larutan pelapis yang berisi polimer dengan konsentrasi rendah kemudian membran dicelupkan dalam larutan tersebut. Membran dipisahkan dalam bak sehingga lapisan tipis akan menempel pada bak, kemudian membran dimasukkan kedalam oven yang bertujuan untuk menguapkan pelarut (Bahiyah, 2023).

e. *Phase Inversion*

Phase Inversion merupakan suatu proses perubahan bentuk polimer dari fasa cair menjadi fasa padat. Proses

pemadatan ini diawali dengan transisi dari fasa cair ke fasa dua cairan (*liquid-liquid demixing*). Kemudian salah satu fasa cair (fasa polimer konsentrasi tinggi) akan memadat sehingga akan terbentuk matriks padat. Pada metode ini polimer membran dilarutkan dalam pelarut sampai homogen. Larutan polimer yang sudah homogen ini kemudian dicetak (*casting*) dan dipisahkan menjadi dua fasa dapat dilakukan dengan cara dikoagulasikan/dipadatkan menggunakan media tertentu (Bahiyah, 2023). Metode inversi fasa dapat dilakukan seperti pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Metode inversi fasa (Nawi et al., 2020)

f. Template-Leaching

Template-Leaching adalah metode dengan cara melepaskan salah satu komponen pembuatan membran berpori. Ukuran pori minimum yang dihasilkan sekitar 5 nm (Nawi et al., 2020).

4. Tipe Aliran Umpan

Terdapat dua tipe aliran pada proses pemisahan menggunakan membran yaitu tipe aliran melintas (*Dead – End*) dan aliran silang (*Cross – flow*).

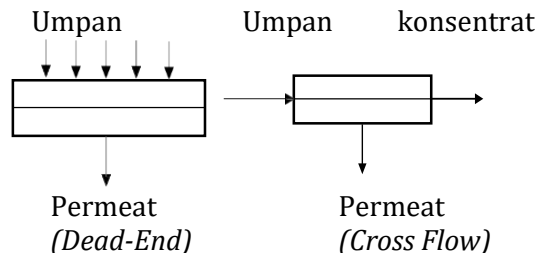
a. Dead – End

Proses aliran *dead – end* pada proses filtrasi yaitu dengan mengalirkan umpan searah tegak lurus langsung dengan membran sehingga umpan langsung mengalir pada tahanan membran dan partikel padatan menumpuk di permukaan membran. Jenis aliran ini memiliki kelemahan lebih cepat terjadinya *fouling* sehingga mengakibatkan penurunan kualitas permeat (Anggara, 2016).

b. *Cross Flow*

Proses aliran *cross flow* pada filtrasi yaitu umpan dialirkan sejajar posisi membran dengan hanya sebagian saja yang melewati pori-pori membran dan menghasilkan permeate, sedangkan permukaan membran dilewati aliran pelarut sehingga larutan, padatan dan koloid akan tertahan pada permukaan membran dan terus terbawa menjadi aliran balik. Penurunan fluks dapat disesuaikan dengan pengaturan kecepatan dari aliran *cross flow filtration*. (Anggara, 2016).

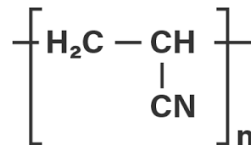
Perbedaan kedua tipe pemisahan dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut :



Gambar 2. 3 Tipe proses pemisahan
(Kimura et al., 1995)

5. *Polyacrylonitrile (PAN)*

Polyacrylonitrile (PAN) adalah polimer organik hasil sintesis secara kimia oleh monomer-monomer akrilonitril. PAN merupakan polimer yang memiliki densitas rendah, kekuatan yang tinggi serta elastisitas yang besar. Karena sifat-sifatnya tersebut PAN berpotensi dalam menghasilkan *carbon fiber* yang bermutu tinggi. PAN terdiri atas dua jenis yaitu homopolimer dan kopolimer. Homopolimer dari PAN telah banyak digunakan sebagai serat dalam sistem filtrasi gas panas, layar untuk kapal pesiar serta beton yang diperkuat dengan serat. Sedangkan Kopolimer-nya sering digunakan sebagai serat untuk membuat pakaian rajut seperti kaus kaki dan sweater tenda, dll (Kalashnik, 2015).



Gambar 2. 4 Struktur PAN (Fath et al., 2024)

Beberapa karakteristik fisika dari *Polyacrylonitrile* tercantum pada tabel 2.2

sebagai berikut :

Tabel 2. 3 Karakteristik fisika dari Polyacrylonitrile (Fath et al., 2024)

Sifat	Keterangan
Rumus Molekul	$(C_3H_3N)_n$
Berat Molekul	52,945 g/mol
Titik lebur	317
Titik didih	85
Densitas	1,184 g/cm ²
Kelarutan	Larut dalam DMF, larutan <i>thiocyanate</i> , tetapi tidak larut dalam etanol, aseton, dan <i>benzene</i>

Sifat kimia PAN diantara lain :

- Secara umum, PAN memiliki ketahanan yang baik terhadap berbagai jenis pelarut, asam mineral, lemak, minyak, serta garam mineral.
- PAN cukup resisten terhadap alkali dengan konsentrasi rendah, namun daya tahannya berkurang jika terkena alkali dengan konsentrasi tinggi.
- Dalam kondisi panas, alkali kuat dapat dengan cepat merusak struktur serat PAN

- d. Serat PAN cenderung lebih mudah mengalami proses penyabunan ketika bereaksi dengan larutan alkali panas (Fath et al., 2024).

PAN, yang juga dikenal sebagai Creslan 61, merupakan resin organik semikristalin dengan struktur linear $(C_3H_3N)_n$. Meskipun bersifat termoplastik, PAN tidak meleleh dalam kondisi normal karena mengalami degradasi sebelum mencapai titik leleh. Polimer ini baru dapat meleleh pada suhu di atas $300^{\circ}C$. PAN memiliki sifat serbaguna dan banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi, termasuk pembuatan membran ultrafiltrasi, serat berongga untuk osmosis balik, tekstil, serta serat PAN yang telah mengalami proses oksidasi (Fath et al., 2024).

Pelarut seperti *N-N, dimethylformamide* dibutuhkan dalam polimerisasi ini agar cepat terbentuk ikatan silang antara monomer dan inisiator. Derajat polimerisasi rata-rata meningkat karena suhu reaksi menurun. Polimer dengan derajat polimerisasi rata-rata 3.000-4.000 dapat ditandai dengan tingkat

tinggi elastisitas seperti karet, sedangkan polimer dengan derajat polimerisasi kira-kira 1.000, menunjukkan sifat yang lebih plastik (Kalashnik, 2015).

6. *Zinc Oxide (ZnO)*

Zinc Oxide (ZnO) adalah material semikonduktor tipe-n yang termasuk dalam golongan IIB-IVA. Material ini memiliki lebar celah energi sebesar 3,37 eV dengan energi eksitasi terikat sebesar 60 MeV. Struktur kristal ZnO memungkinkan emisi elektron secara efisien pada suhu ruang serta bekerja optimal dalam rentang panjang gelombang ultraviolet (<400 nm). Peningkatan energi pada ZnO dapat dicapai dalam spektrum cahaya tampak (400 nm - 800 nm) dan tingkat konduktivitasnya dapat ditingkatkan melalui penambahan elemen doping. Sifat dan kinerja ZnO sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel, bentuk, serta morfologinya (Yunita *et al.*, 2020).

Zinc Oxide (ZnO) merupakan material berbentuk serbuk dengan struktur heksagonal atau amorf yang berwarna putih

dalam kondisi dingin dan berubah menjadi kuning ketika dipanaskan. Senyawa ini tidak memiliki bau dan memiliki rasa yang pahit. Ikatan kimia dalam ZnO berada di antara ikatan ionik dan kovalen, dengan kecenderungan lebih dominan pada ikatan ionik. Tingkat kelarutannya dalam air tergolong sangat rendah, yaitu sekitar $1,6 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$ atau $2 \times 10^{-6} \text{ mol/liter}$, bahkan kelarutannya semakin menurun dalam etanol dan mengalami dekomposisi jika dipanaskan hingga suhu 1975°C . Sebagai semikonduktor, ZnO memiliki sejumlah sifat unggul, seperti mobilitas elektron yang tinggi, transparansi yang baik, serta celah pita yang lebar, yang menjadikannya material yang menarik untuk berbagai aplikasi teknologi (Yunita *et al*, 2020)

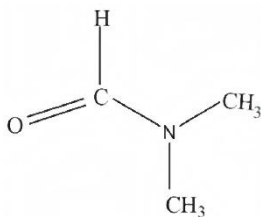
7. *Dimethylformamide* (DMF)

Dimethylformamide merupakan senyawa organik dengan rumus kimia $\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}$. DMF berbentuk cairan tak berwarna, tidak berbau sedangkan pada kualitas teknis atau sampel terdegradasi

sering memiliki bau amis karena ketidakmurnian dimetilamina. DMF larut dalam pelarut air dan sebagian besar pelarut organik. Seperti ditunjukkan pada namanya, senyawa ini merupakan turunan formamida, yaitu amida dari asam format. DMF merupakan pelarut yang sering digunakan dalam reaksi kimia. Senyawa organik ini merupakan pelarut polar (hidrofilik) dengan titik didih yang tinggi (Kahardina, 2015). Sifat-sifat fisika dari DMF tercantum pada tabel 2.4

Tabel 2. 4 Sifat Fisika dari Dimethylformamide (Kalashnik, 2015)

Karakteristik	Keterangan
Rumus Molekul	C_3H_7NO
Berat Molekul (g/mol)	73,09
Titik Didih	154
Titik leleh	60
Densitas	0,948
Viskositas	0,92



Gambar 2.5 Struktur DMF (Kahardina, 2015)

DMF memiliki banyak kegunaan sebagai pelarut. Bahan pelarut ini dapat bercampur dengan air dan sebagian besar cairan organik, sehingga banyak dimanfaatkan untuk pelarut dalam coupling peptida pada obat-obatan, pembuatan perekat, kulit sintesis, serat, film, lapisan permukaan dan bahan intermediet industri plastik (Rohman, 2020).

8. Tembaga (Cu)

Tembaga dalam bentuk logam memiliki warna kemerahan, tetapi lebih sering dijumpai dalam keadaan terikat dengan ion lain, seperti dalam bentuk senyawa sulfat, yang menyebabkan perbedaan warna dibandingkan dengan tembaga murni. Salah satu senyawa

tembaga yang umum ditemukan adalah tembaga sulfat pentahidrat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Senyawa ini banyak dimanfaatkan dalam berbagai industri, termasuk sebagai bahan pewarna tekstil, serta dalam proses penyepuhan, pelapisan, dan pembilasan pada industri perak (Karnawati *et al.*, 2011).

Tembaga (*Cu*) merupakan salah satu jenis logam berat yang dapat kita temui di alam. Logam Cu merupakan kelompok logam esensial, dimana dalam kadar yang rendah dibutuhkan oleh organisme sebagai koenzim dalam proses metabolisme tubuh. Konsentrasi Cu terlarut dalam air sebesar 0,01 ppm misalnya dapat menyebabkan kematian fitoplankton. Kematian tersebut diakibatkan daya racun Cu yang dapat menghambat aktivitas enzim dalam pembelahan sel fitoplankton (Pambudi & Suprpto, 2019). Tabel 2.5 menunjukkan baku mutu limbah logam Cu pada air sesuai dengan PP No. 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air.

Tabel 2. 5 Baku Mutu Limbah Logam Cu (Dianira & Kuntjoro, 2022).

Limbah Cu	Kadar Maksimum (mg/L)
Air sungai	0,02
Air Limbah	0,6
Industri	0,8

Berdasarkan tabel 2.5 maka dapat disimpulkan bahwa setiap keberadaan logam Cu mempunyai kadar maksimum yang berbeda-beda sesuai dengan peraturan yang sudah ditetapkan oleh pemerintah. Jika logam Cu melebihi batas yang sudah ditetapkan maka akan mengganggu ekosistem yang ada di sekitar lingkungan tersebut, yang nantinya akan menyebabkan masalah serius. Sebagai contoh jika kadar Cu dalam air sungai melebihi batas maksimum maka air sungai tersebut akan tercemar yang nantinya jika dikonsumsi bisa menyebabkan penyakit yang merusak organ tubuh dan jika digunakan untuk mencuci juga bisa menyebabkan terkena penyakit kulit (Dianira & Kuntjoro, 2022).

9. Karakterisasi Membran

Kinerja suatu membran sebagai unit proses atau tempat terjadinya reaksi sangat dipengaruhi oleh karakteristik yang dimiliki. Berikut macam-macam karakterisasi membran :

a. Permeabilitas

Membran yang berkualitas tinggi memiliki selektivitas serta permeabilitas yang optimal. Permeabilitas suatu membran dapat dievaluasi dengan mengukur koefisien tolakannya, sedangkan rejeksi menunjukkan kemampuannya dalam menyaring partikel terlarut ketika pelarut melewati membran. Karakterisasi ini berperan penting dalam menilai daya tahan membran terhadap tekanan eksternal yang berpotensi merusaknya. Sementara itu, permeabilitas membran mengacu pada laju perpindahan suatu komponen atau spesies melalui membran.

Pengukuran kuantitatif, permeabilitas biasanya direpresentasikan

melalui fluks atau koefisien permeabilitas. Fluks sendiri merujuk pada volume permeat yang dapat melewati suatu area membran dalam periode waktu tertentu ketika diberikan tekanan (Hidayah, 2018). Secara sistematis fluks dirumuskan menggunakan persamaan 2.1

$$J = \frac{v}{A \times t} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan J adalah Nilai fluks ($L.m^2 / jam$), V adalah volume permeat (L), A adalah luas permukaan membran (m^2), dan t adalah waktu (jam).

Jenis suatu membran dapat dilihat pada Tabel 2.6 yang menerangkan besaran nilai fluks.

Tabel 2. 6 Kisaran nilai fluks (Dianira & Kuntjoro, 2022).

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. Selektivitas

Selektivitas biasanya dinyatakan dengan koefisien rejeksi yang merupakan nilai fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran. Secara sistematis rejeksi dirumuskan menggunakan persamaan 2.2

$$\% R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f} \right) \times 100 \% \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan R adalah Koefisien rejeksi (%), C_p adalah Konsentrasi zat terlarut dalam permeat, dan C_f adalah Konsentrasi zat terlarut dalam umpan (Hermanto *et al.* 2019).

c. Kekuatan Mekanik

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur sejauh mana suatu material mampu menahan gaya tarik maksimum sebelum mengalami pemanjangan dan akhirnya putus. Uji ini dilakukan untuk mengevaluasi ketahanan material terhadap tegangan yang diberikan, sehingga dapat diketahui batas kekuatan serta elastisitasnya sebelum mengalami kegagalan struktural. Perubahan panjang maksimum membran

sebelum putus disebut dengan elastisitas. Apabila kuat tarik pada membran semakin besar, maka ketahanannya terhadap suatu kerusakan akan lebih baik. Peningkatan kuat tarik pada membran diakibatkan karena pengaruh dari ukuran serat penyusun membran, di mana semakin besar nilai kuat tarik maka ukuran serat penyusun semakin kecil (Hermanto *et al.* 2019).

Uji kuat tarik akan menghasilkan berupa tegangan (*stress*), regangan (*strain*), dan *modulus young* (Bahiyah, 2023). Tegangan (*stress*) merupakan perbandingan antara gaya dengan luas penampang yang mendapat gaya, dapat dinyatakan dalam persamaan 2.3

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

Dengan σ adalah tegangan (MPa), F adalah gaya (N), dan A adalah luas penampang (mm²).

Regangan (*strain*) merupakan perbandingan antara perubahan panjang

terhadap panjang semula, dapat dinyatakan dalam persamaan 2.4.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{l_0} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan ε adalah regangan, ΔL adalah perubahan panjang (mm), dan l_0 adalah panjang awal (mm) (Bahiyah, 2023).

Modulus young merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan suatu benda, dinyatakan dalam persamaan 2.5

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

Dengan E adalah *modulus young* (MPa), σ adalah regangan, dan ε adalah tegangan (Mpa) (Bahiyah, 2023).

d. Sudut Kontak

Sudut kontak merupakan karakterisasi untuk mengetahui hidrofilitas suatu material menggunakan suatu cairan tertentu (sebagai contoh air). Semakin kecil sudut kontak yang dihasilkan maka semakin

tinggi hidrofilitas membran. Suatu membran yang bersifat hidrofilik memiliki sudut kontak kurang dari 90° . Artinya, air tidak memerlukan gaya tekanan yang besar untuk menembus lapisan membran. Jika sudut kontak yang dihasilkan melebihi 90° , hal ini menunjukkan hidrofobitas yang tinggi. Artinya, memerlukan lebih banyak kekuatan pendorong yang diperlukan untuk air menembus membran (Fathanah & Meilina, 2021). Berikut merupakan klasifikasi sifat hidrofilik dan hidrofobik berdasarkan sudut kontak.

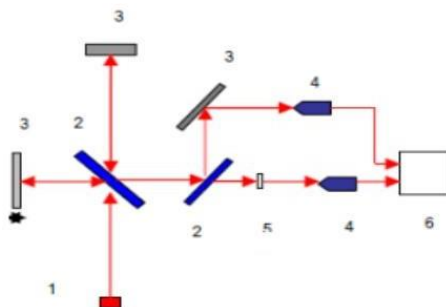
Tabel 2.7 Klasifikasi sifat hidrofilik dan hidrofobik berdasarkan sudut kontak (Ii & Pustaka, 1999).

Kategori	Sudut Kontak
Hidrofilik	$0-90^\circ$
Hidrofobik	$90-120^\circ$
Ultra-hidrofobik	$120-150^\circ$
Superhidrofobik	150°

e. *Fourier Transform Infrared (FT-IR)*

Spektroskopi FTIR merupakan salah satu instrumen yang menggunakan prinsip

spektroskopi. Spektroskopi adalah spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transkopi *fourier* untuk deteksi dan analisis hasil spektrum. Spektrofotometri inframerah adalah teknik yang dapat mengidentifikasi kandungan gugus fungsi senyawa organik dan membandingkannya dengan luas sidik jari, tetapi tidak dapat menentukan komposisi molekul komponen. Karakterisasi dengan FTIR dapat dilakukan dengan menganalisis spektrum yang diperoleh sesuai dengan puncak- puncak yang dibentuk oleh gugus fungsi. Spektrum inframerah senyawa organik bersifat unik, sehingga setiap senyawa memiliki spektrum yang berbeda. Daerah inframerah berada pada spektrum $4000\text{-}200\text{ cm}^{-1}$ (Elma et al., 2013).



Gambar 2. 6 Skema Instrumen FTIR

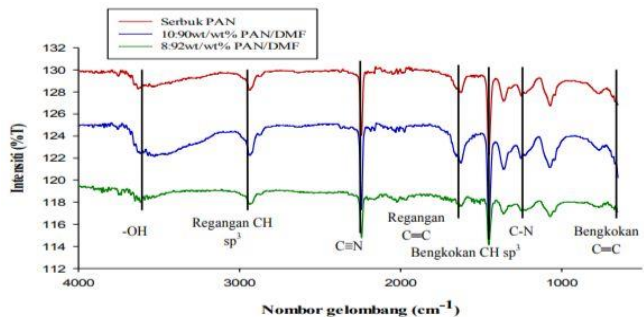
Keterangan : (1) sumber inframerah, (2) pembagi berkas (*beam splitter*), (3) kaca pemantul, (4) sensor inframerah, (5) sampel, dan (6) display (Silviah *et al.*, 2014).

Karakterisasi FTIR memberikan informasi gugus fungsi yang ada dalam sampel berupa keterangan jenis ikatan molekul yang memiliki serapan khas dalam spektrum FTIR (O-H, C-X, N-H, C-H, C=O, C-O, C-C, C=N, C=C, dan sebagainya) yang hanya dapat diperoleh dalam bagian-bagian kecil tertentu dari daerah vibrasi inframerah (Sahribulan & Panggara, 2022).

ATR-FTIR (*Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) yaitu tidak menggunakan teknik KBr (teknik *mull*) tetapi spesimen dapat langsung digunakan atau dideteksi dengan meletakkannya di meja spesimen. ATR-FTIR dapat memberikan informasi dan mengidentifikasi gugus fungsional pada spesimen. Sinar yang terpancar dari alat FTIR ditransmisikan sebagai fungsi panjang

gelombang, yang dapat menggambarkan langsung senyawa yang spesifik tentang komposisi senyawa suatu material (Arsista et al., 2021).

Spektrum FTIR membran PAN (Gambar 2.6) menunjukan jalur yang lebar pada 3527 cm^{-1} yang menunjukkan kehadiran air (O-H) di mana air ini berfungsi menggantikan pelarut semasa proses penghasilan membran. Puncak serapan yang tajam adalah di antara bilangan gelombang $2800\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$ yang merujuk kepada regangan CH sp^3 pada puncak $2220\text{-}2260\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan kehadiran kumpulan $\text{C} \equiv \text{N}$ (Jiang et al., 2015).



Gambar 2. 7 Spektrum FTIR untuk serbuk PAN

Berikut merupakan ringkasan data bilangan gelombang dengan gugus fungsi (Tabel 2.8)

Tabel 2. 8 Ringkasan data bilangan gelombang PAN (Jiang *et al.*, 2015).

Bilangan Gelombang (Cm^{-1})	Gugus Fungsi
2800 – 3000	Regangan CH sp^3
2220 – 2260	$\text{C} \equiv \text{N}$
1600 – 1680	Regangan (C = C)
1460	Bengkokan CH sp^3
1189 – 1360	Regangan C - N

f. *Scanning Electron Microscopy Mapping Energi Dispersive X-Ray (SEM Mapping EDX)*

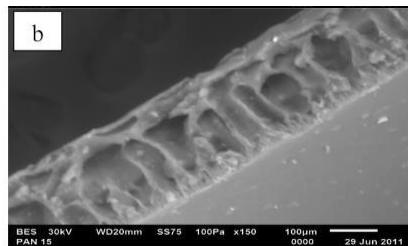
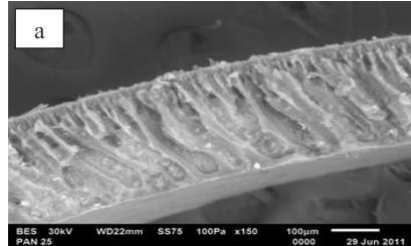
Scanning Elelctron Microscopy (SEM) merupakan salah satu Teknik berbasis mikroskop elektron yang sering digunakan untuk melihat permukaan suatu padatan. SEM merupakan metode yang sederhana untuk karakterisasi dan pengamatan struktur pori dari suatu membran (permukaan dan penampang melintang). Batasan resolusi dari SEM berkisar 0,001 μm (10 nm). Dengan

perkembangan teknologi, nilai resolusi dapat ditingkatkan mencapai 5 nm (Mulder, 1996).

Analisa SEM pada membran digunakan untuk mengetahui struktur morfologi dan ukuran pori permukaan membran yang nantinya berpengaruh terhadap kinerja membran saat proses ujifiltrasi. Masalah penting pada metode ini yaitu harus memperhatikan proses pengeringan sampel karena gaya kapiler dapat menyebabkan struktur (pori) membran mengalami kerusakan. SEM memungkinkan pengamatan yang jelas dan sangat baik dari keseluruhan struktur pori membran (permukaan atas, permukaan bawah, dan keseluruhan ketebalan membran). Namun demikian, kejelasan pengamatan pori akan sangat tergantung pada ukuran pori itu sendiri (Elma et al., 2013).

SEM dilakukan dengan cara sampel membran harus dikeringkan terlebih dahulu untuk menghindari diistorsi akibat kelembapan. Jika perlu, sampel dapat dilapisi dengan lapisan konduktif seperti emas atau

karbon untuk meningkatkan kualitas gambar. Sampel kemudian ditempatkan pada stub SEM menggunakan perekat konduktif atau pita karbon. SEM bekerja dalam kondisi vakum untuk mencegah gangguan dari udara. Sinar elektron diarahkan ke permukaan membran, sehingga menghasilkan elektron sekunder dan *backscattered electron* yang digunakan untuk membentuk gambar. Gambar yang dihasilkan akan menunjukkan kekasaran membran, dan distribusi partikel dalam membran (Fathanah et al., 2020)



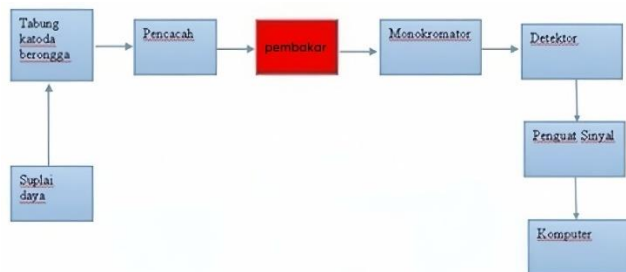
Gambar 2. 8 Bagian melintang membran asimetrik Poliakrilonitril: a. PAN 15% (1000x), b. PAN 25% (1000x) (Aprilia et al., 2013).

Berdasarkan penelitian Aprilia et al (2013), hasil pengamatan morfologi membran yang dihasilkan menggunakan SEM menunjukkan bahwa membran tersebut merupakan membran asimetrik karena struktur pori bagian atas lebih rapat dibandingkan struktur pori bagian bawah, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.8 (a) dan 2.8 (b). Membran PAN 15% ditandai dengan bentuk struktur jari yang panjang dan dengan densitas yang lebih tinggi dari pada membran PAN 25%. Ketebalan lapisan kulit (*skin layer*) membran PAN 25% lebih besar dari pada membran PAN 15%.

g. Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) adalah teknik analisis instrumental yang sangat penting dalam kimia analitik modern. Metode ini digunakan untuk

mengidentifikasi dan mengukur konsentrasi unsur-unsur logam dalam sampel larutan. AAS bekerja dengan memanfaatkan sifat atom unsur-unsur tertentu untuk menyerap radiasi elektromagnetik pada panjang gelombang tertentu (Qomariyah, 2022). Prinsip kerja AAS dapat dilihat pada gambar 2.9 berikut :



Gambar 2. 9 Prinsip kerja AAS (Qomariyah, 2022)

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. Intensitas 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 (Qomariyah, 2022).

B. Kajian Pustaka

Penelitian ini merujuk pada studi sebelumnya yang telah dilakukan. Penelitian Sepdiansyah *et al.*, (2019) melakukan penelitian mengenai karakterisasi membran poliakrilonitril (PAN) yang diaplikasikan sebagai penyaring air. Membran PAN diperoleh melalui metode *elektrospinning* serta pencampuran larutan dengan DMF (*N,N-Dimethylformamide*) pada konsentrasi 6 v/v %. Karakterisasi membran PAN mencakup analisis permukaan menggunakan SEM, uji kuat tekan, pengukuran sudut kontak, serta penilaian porositas dan permeabilitas. Pengujian ini bertujuan untuk menilai efisiensi serta efektivitas serat PAN dalam menyaring air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat memiliki diameter rata-rata sebesar 270 ± 70 nm, luas pori mencapai $1,26 \mu\text{m}^2$ dan porositas permukaan sebesar 50,6%. Membran menunjukkan

sifat hidrofilik dengan sudut kontak air kurang dari 90° . Selain itu, uji kuat tekan menghasilkan nilai $0,33 \pm 0,01$ MPa, yang menunjukkan bahwa membran PAN memiliki ketahanan mekanik yang cukup baik. Fluks membran untuk ketebalan 0,12 mm, 0,26 mm, dan 0,13 mm secara berurutan adalah 21.201,97; 15.301,93; dan 3.559,66 mL/cm².s pada tekanan 6 psi hingga terjadi kerusakan. Semakin cepat proses penyaringan, semakin tinggi nilai fluks yang dihasilkan.

Penelitian lain dilakukan oleh Safriadi (2013) tentang koefisien permeabilitas membran PAN menggunakan pelarut DMF. Membran PAN dengan konsentrasi 15% memiliki koefisien permeabilitas tertinggi, yaitu 532,17 L/m².h.atm, sedangkan pada membran PAN dengan konsentrasi 20% dan 25%, koefisien permeabilitas yang diperoleh masing-masing sebesar 503,30 L/m².h.bar dan 259,26 L/m².h.atm. Fluks yang dihasilkan oleh membran PAN dengan konsentrasi 15% (b/b) lebih tinggi dibandingkan dengan membran PAN berkonsentrasi 20% (b/b) dan 25% (b/b). Nilai fluks yang lebih besar ini disebabkan oleh ukuran pori membran 15% yang lebih besar dibandingkan dengan membran pada

konsentrasi polimer yang lebih tinggi. Peningkatan konsentrasi polimer menyebabkan berkurangnya jumlah pori yang terbentuk, sehingga nilai fluks yang dihasilkan menjadi lebih rendah.

Penelitian lain dilakukan oleh Mulyati *et al* (2017) tentang karakteristik membran asimetris PES dengan pelarut DMF dan NMP. Hasilnya mengindikasikan bahwa membran PES/DMF mempunyai nilai fluks yang lebih tinggi dibandingkan dengan 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. Nilai fluks terbesar diperoleh pada membran PES/DMF dimana pada tekanan 1 bar membran PES/DMF dan membran PES/NMP menunjukkan fluks 23,27 L/m² .jam dan 16,16 L/m² .jam sedangkan pada tekanan 2 bar menunjukkan fluks sebesar 59,43 L/m² .jam dan 32,25 L/m² .jam.

Penelitian lain dilakukan oleh Valentine *et al* (2019) tentang sintesis membran kitosan-silika abu sekam padi untuk penurunan logam berat Cu dengan proses filtrasi. Hasil yang didapatkan yaitu semakin tinggi konsentrasi silika yang ditambahkan maka

semakin besar nilai fluks yang diperoleh. Kenaikan berat molekul silika berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan logam tembaga (Cu) dimana nilai rejeksi yang diperoleh semakin besar. Uji kinerja membran terhadap logam Cu mempunyai nilai rejeksi yaitu 38%, 39%, 46% dan 62%.

Penelitian lain dilakukan oleh Maulidan (2023) menunjukkan penambahan zat aditif ZnO mampu meningkatkan nilai fluks, dimana nilai fluks yang ditambah dengan ZnO lebih tinggi dibandingkan tanpa ZnO. Nilai fluks membran PSF yaitu 19,827 L/m².jam dan membran PSF-ZnO 0,5 yaitu 32,126 L/m².jam. Adanya penambahan ZnO menyebabkan rejeksi dari membran tersebut meningkat. Membran PSF tanpa ZnO menghasilkan nilai rejeksi 26%, sedangkan membran PSF-ZnO yaitu sebesar 37,7%. Hal ini dikarenakan penambahan ZnO menyebabkan pori dari membran tersebut akan mengecil. Sehingga dengan pori yang semakin kecil, maka rejeksi dari membran tersebut akan meningkat.

C. Hipotesis Penelitian

Penambahan ZnO pada membran *polyacrilonitrile* (PAN) dapat meningkatkan sifat hidrofilisitas membran dengan menurunkan nilai sudut kontak sehingga dapat meningkatkan kekuatan mekanik, meningkatkan nilai fluks dan rejeksi pada membran dan dapat meningkatkan kinerjanya dalam pengurangan kadar ion logam Cu^{2+} .

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

1. Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah batang pengaduk, gelas ukur, plat kaca ukuran 12 cm x 5 cm, neraca analitik, kaca arloji, labu ukur, magnetic stirrer, gelas beaker, bak koagulasi, pipet tetes, pipet volume, lakban, *aluminium foil*, satu set alat uji filtrasi *cross-flow*, alat uji kekuatan mekanik (Brookfield CT 3 4500), alat uji sudut kontak (OCA 25), Instrumen *Fourier Transform Infra-red* (FTIR) (*PerkinElmer Spectrum IR Version 10.6.1*), Instrumen SEM Mapping EDX (*Jeol Jsm-6510 La*), dan *Atomic Absorption Spektrophotometer* (AAS) (*Thermo Scientific iCE 3000 AA05194702*).

2. Bahan

Polyacrylonitrile (PAN) Merck China, *Zinc Oxide* (ZnO) Merck, *Dyhemthylformamide* (DMF) Merck Germany, serbuk CuSO_4 pa, aquades (H_2O), aseton teknis (yang diperoleh dari toko kimia Indrasari).

B. Langkah Kerja

1. Pembuatan Membran

a. Membran *Polyacrylonitrile* (PAN)

Pembuatan membran yang pertama yaitu membran *Polyacrylonitrile* (PAN) dilakukan dengan membuat larutan cetak yang terdiri dari PAN dengan komposisi variasi % berat yang berbeda-beda. Tabel formulasi pembuatan membran PAN disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Formulasi pembuatan membran PAN

Konsentrasi	PAN	DMF
5%	0,5 g	10 mL
10%	1 g	10 mL
15%	1,5 g	10 mL
20%	2,0 g	10 mL

Pelarut dan polimer dilarutkan seluruhnya dengan *magnetic stirrer* selama ± 2 jam pada suhu 30°C dengan kecepatan putaran 300 rpm hingga campuran homogen. Selanjutnya larutan membran yang sudah homogen dicetak di atas plat kaca ukuran 12 cm x 5 cm yang sebelumnya sudah dibersihkan menggunakan aseton, kemudian diratakan menggunakan batang pengaduk dan dibiarkan selama 3 menit. Kemudian plat kaca

dicelupkan ke dalam bak koagulasi berisi aquades dan ditunggu hingga membran memisah dari cetakannya, membran yang sudah terbentuk kemudian diangkat dan ditiriskan ± 24 jam hingga membran mengering, selanjutnya dilakukan uji karakterisasi kekuatan mekanik (Suryandari, 2019). Semua variasi PAN diuji dengan uji kekuatan mekanik, sedangkan konsentrasi berat PAN yang paling optimum berdasarkan hasil kekuatan mekanik diuji dengan sudut kontak, FTIR, SEM *Mapping* EDX.

b. Membran PAN-ZnO

Pembuatan membran yang kedua yaitu membran PAN-ZnO diawali dengan menyiapkan berat PAN dengan konsentrasi optimum berdasarkan uji kekuatan mekanik. Berat optimum yang diperoleh yaitu variasi konsentrasi 15%, kemudian ditambahkan ZnO dengan variasi konsentrasi 0,1%, 0,3%, 0,5%, 1% dan 1,5%. Tabel formulasi pembuatan membran PAN-ZnO disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Formulasi pembuatan membran PAN-ZnO

Konsentrasi	PAN	ZnO	DMF
PAN-ZnO 0,1%	1,5 g	0,025 g	10 mL
PAN-ZnO 0,3%	1,5 g	0,050 g	10 mL
PAN-ZnO 0,5%	1,5 g	0,075 g	10 mL
PAN-ZnO 1%	1,5 g	0,15 g	10 mL
PAN-ZnO 1,5%	1,5 g	0,225 g	10 mL

Dilarutkan pelarut, polimer dan ZnO seluruhnya dengan *magnetic stirrer* pada suhu 30°C kecepatan 300 rpm selama ± 2 jam hingga campuran homogen dan terbentuk gel. Selanjutnya membran yang sudah homogen dicetak di atas plat kaca ukuran 12 cm x 5 cm yang sebelumnya sudah dibersihkan menggunakan aseton, kemudian diratakan menggunakan batang pengaduk dan dibiarkan selama 3 menit. Kemudian plat kaca dicelupkan ke dalam bak koagulasi. Membran yang telah terbentuk diangkat dan ditiriskan selama ± 24 jam hingga membran mengering (Meurah Rosnelly, 2012). Semua variasi PAN-ZnO dilakukan uji kekuatan mekanik, sudut kontak, FTIR, sedangkan variasi PAN-ZnO paling optimum dikarakterisasi dengan SEM *Mapping* EDX.

c. Pengujian Filtrasi Membran PAN dan membran PAN/ZnO

Tahap ini merupakan tahap pengujian membran untuk pengurangan kadar ion logam Cu^{2+} dimulai dengan membran yang sudah dibuat sebelumnya dengan variasi konsentrasi yang sudah ditentukan, lalu dipotong melingkar (40mm) sesuai dengan alat filtrasi, kemudian dimasukkan membran ke dalam reaktor, dimasukkan sampel larutan ion logam Cu^{2+} 10 ppm yang sudah dibuat sebelumnya pada tempat yang terdapat dalam alat filtrasi dan ditutup rapat.

Membran kemudian diberi tekanan 2 bar hingga larutan ion logam Cu^{2+} dapat melewati membran selama 30 menit (Mulyati *et al.*, 2017), dapat dilihat pada lampiran 14. Nilai fluks didapatkan dengan mengukur volume larutan yang melewati membran kemudian dihitung menggunakan persamaan 2.1. Nilai rejeksi didapatkan dengan mengukur konsentrasi sampel sebelum dan sesudah melewati membran kemudian dihitung menggunakan persamaan 2.2. Selanjutnya larutan hasil filtrasi membran

dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spektrophotometer* (AAS).

2. Karakteristik Membran

a. Uji kekuatan mekanik

Karakterisasi membran PAN dan PAN-ZnO dengan pengujian kekuatan mekanik menggunakan alat *Universal Testing Machine* dengan tujuan untuk mengetahui sifat mekanik membran. Sampel membran dipotong dengan ukuran 5 cm x 1 cm kemudian kedua ujungnya dijepit dengan alat uji tarik dan ditarik hingga membran terputus. Data yang diperoleh meliputi *strain* (regangan) dan *stress* (tegangan) pada kondisi minimal dan maksimal (Suryandari, 2019). Uji ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

b. Uji *Contact Angle* (sudut kontak)

Karakterisasi sudut kontak pada membran PAN dan PAN- ZnO dilakukan dengan memotong membran ukuran 2 x 2 cm kemudian ditetaskan air dan diambil gambar menggunakan alat sudut kontak. Hasil pengujian berupa data besaran sudut dari setiap masing- masing sampel yang

menunjukkan sifat hidrofobik atau hidrofilik (Fathanah & Meilina, 2021). Uji ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

c. Analisis FT-IR

Analisa membran menggunakan ATR-FTIR bertujuan untuk menentukan gugus fungsi pada membran PAN dan PAN-ZnO. Sampel membran dipotong 2 cm x 2 cm kemudian sumber sinar yang berasal dari bawah akan dipancarkan sesuai dengan sudut sinar kritis ke arah prisma kristal (*Zinc selenide* (ZnSe)/Ge) melewati spesimen dan kemudian dipantulkan ke detektor. Sinar yang telah melewati detektor akan menghasilkan panjang gelombang dan spektra IR yang dapat tercatat dan terlihat pada monitor (Arsista *et al.*, 2021). Pengujian ini dilakukan di Laboratorium UIN Walisongo Semarang

d. Uji SEM *Mapping* EDX

Karakterisasi menggunakan SEM bertujuan untuk menentukan morfologi pada membran PAN dan PAN-ZnO optimum. Sampel yang akan diuji dipotong dengan diameter 0,8 cm. Sampel ditentukan morfologi dan dilanjutkan dengan EDX untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang

terkandung dalam membran dan dilakukan *mapping* untuk melihat sebaran partikel didalam membran (Suryandari, 2019). SEM menggunakan berkas elektron untuk memindai permukaan membran dengan resolusi yang tinggi, elektron yang ditembakkan ke sampel menghasilkan elektron sekunder dan *backscattered electron* yang digunakan untuk membentuk gambar morfologi membran. EDX bekerja dengan mendeteksi sinar-X yang dipancarkan oleh unsur dalam sampel setelah terkena berkas elektron. Setiap unsur memiliki sidik jari energi sinar-X yang unik, memungkinkan identifikasi komposisi kimia membran. Hasil EDX ditampilkan dalam bentuk peta distribusi unsur (*Mapping*) (Bahiyah, 2023). Karakterisasi ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

3. Pengukuran Kadar Ion Logam Cu^{2+}

a. Pembuatan larutan Cu^{2+} 1000 ppm

Serbuk CuSO_4 ditimbang sebanyak 0,251 gram dilarutkan dalam sedikit aquades, kemudian dimasukkan ke labu ukur 100 ml lalu ditambahkan aquades hingga tanda batas dan

dikocok hingga homogen (Standar Nasional Indonesia, 2019)

b. Pembuatan larutan Cu^{2+} 10 ppm

Larutan ion Cu^{2+} 1000 ppm yang sudah dibuat sebelumnya, dipipet 10 mL dan dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL, kemudian ditambahkan aquades hingga tanda batas dan dihomogenkan sehingga didapatkan konsentrasi larutan sebesar 10ppm (Susanti *et al.*, 2017).

c. Pembuatan Kurva Standar

Larutan Standar Ion Cu^{2+} 10 ppm (mL)	Konsentrasi (mg/L)
5 mL	2
10 mL	4
15 mL	6
20 mL	8
25 mL	10

Larutan standar ion Cu^{2+} 10 ppm dipipet sebanyak 5 mL, 10 mL, 15 mL, 20 mL, dan 25 mL dimasukkan ke dalam labu ukur 25 mL, kemudian ditambahkan aquades sampai tanda batas dan dihomogenkan sehingga diperoleh larutan standar ion Cu^{2+} konsentrasi 2; 4; 6; 8 dan 10 mg/L. kemudian larutan dianalisis

absorbansinya menggunakan *Atomic Absorption Spektrophotometer* (AAS). Hasil yang diperoleh dibuat kurva kalibrasi absorbansi dan konsentrasi sehingga didapatkan persamaan garis lurus $y = ax + b$ (Susanti *et al.*, 2017).

d. Pengukuran Ion Logam Cu^{2+}

Larutan ion Cu^{2+} sebelum dan sesudah filtrasi dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spektrophotometer* pada panjang gelombang 324,7 nm. Dihitung konsentrasi dengan menggunakan persamaan $y = ax + b$ sehingga didapatkan konsentrasi ion logam Cu^{2+} (Standar Nasional Indonesia, 2019).

BAB IV

PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil dan pembahasan pembuatan dan karakterisasi membran PAN dan membran PAN-ZnO. Karakterisasi membran meliputi uji gugus fungsi membran dengan FTIR, uji kekuatan mekanik (*tensile strength*), sudut kontak (*contact angle*), uji filtrasi untuk mengetahui nilai fluks dan rejeksi membran, uji AAS untuk mengidentifikasi dan mengukur konsentrasi unsur ion logam Cu^{2+} , dan uji SEM *Mapping* EDX untuk mengidentifikasi morfologi membran, komponen unsur pada membran, persebaran unsur pada membran PAN dan PAN-ZnO optimum.

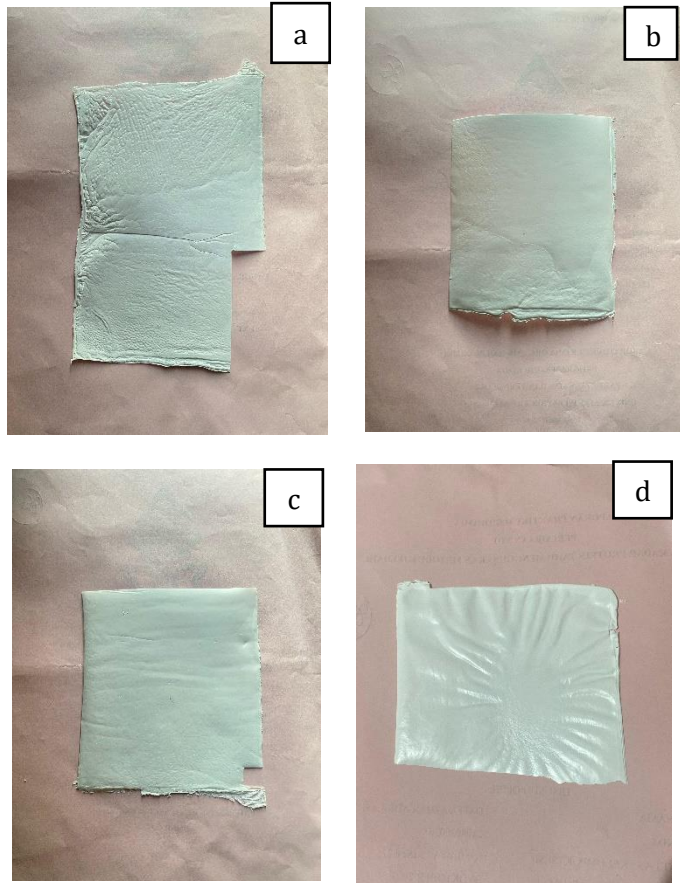
A. Pembuatan Membran

Penelitian ini dilakukan pembuatan membran menggunakan polimer PAN yang dilarutkan dalam pelarut DMF. Pembuatan membran dilakukan secara dua tahap, yaitu pembuatan membran PAN dan pembuatan membran PAN-ZnO. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Dasar UIN Walisongo Semarang.

1. Membran PAN

Membran PAN dibuat dengan beberapa tahapan yang diawali dengan proses pembuatan larutan dope menggunakan serbuk PAN dan pelarut *Dyhemthylformamide* (DMF) dengan variasi konsentrasi 5%, 10%, 15% dan 20% (b/v). Tujuan dari variasi membran untuk mengetahui konsentrasi membran yang paling optimum. Larutan PAN dan DMF tersebut diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama ± 2 jam hingga larutan berbentuk gel dan homogen. Larutan selanjutnya didiamkan selama ± 30 menit untuk mengurangi gelembung pada larutan. Selanjutnya disiapkan plat kaca ukuran 12 cm x 5 cm sebagai media cetak membran. Plat kaca terlebih dahulu diaplikasikan menggunakan lakban disetiap sudut sisinya, supaya permukaan membran merata. Selanjutnya plat kaca dibersihkan menggunakan aseton yang bertujuan agar membran tidak terkontaminasi oleh zat pengotor yang masih ada pada plat kaca sehingga pembentukan matriks membran membran dapat lebih cepat. Membran yang sudah homogen dan tidak terdapat gelembung dicetak menggunakan

inversi fasa (*phase inversion*) dengan cara mencetak membran di atas plat kaca yang bagian tepinya diberi selotip lalu diratakan menggunakan batang pengaduk (Hidayah, 2018). Membran yang telah dicetak di atas plat kaca tersebut kemudian dimasukkan ke dalam bak koagulasi yang berisi aquades. Pada tahap ini terjadi pertukaran antara DMF dengan air. Air berdifusi masuk ke dalam matriks membran sedangkan DMF berdifusi keluar dari matriks membran yang mengakibatkan polimer mengeras. Pengerasan lebih lanjut hingga pelarut sudah tidak bisa keluar lagi dari matriks membran yang mengakibatkan membran dapat terlepas dari plat kaca. Proses pendesakan pelarut DMF dan PAN oleh air menyebabkan terbentuknya pori-pori membran. Membran yang sudah terlepas dari plat kaca kemudian diangkat dan ditiriskan ± 24 jam hingga membran mengering, selanjutnya dilakukan uji karakterisasi. Gambar 4.1 menunjukkan hasil pembuatan membran PAN dengan konsentrasi 5%, 10%, 15% dan 20%.



Gambar 4. 1 Membran a) PAN 5%, b)PAN 10%, c)PAN 15%, d)PAN 20%

Gambar 4.1 menunjukkan hasil dari membran PAN. Membran PAN dengan konsentrasi 5% dibawah konsentrasi optimum

sehingga polimer yang ditambahkan terlalu sedikit dibandingkan dengan pelarut yang ditambahkan yang mengakibatkan terjadi banyak kekosongan pada matriks membran. Membran PAN 15% terlihat merupakan konsentrasi optimum yang mana polimer dan pelarut memiliki komposisi yang pas sehingga dihasilkan membran yang memiliki nilai kekuatan mekanik yang tinggi, juga tekstur membran yang dihasilkan semakin baik, tetapi tidak dapat dikatakan bahwa membran terbaik hanya dilihat berdasarkan struktur permukaan membran saja (Kuntari *et al.*, 2019). Membran PAN 20% merupakan konsentrasi yang melebihi konsentrasi optimum, hal ini dikarenakan bobot polimer yang ditambahkan terlalu banyak sehingga menyebabkan larutan polimer sulit untuk homogen. Untuk membuktikan konsentrasi membran PAN optimum, maka dilakukan uji mekanik membran yaitu dengan uji kekuatan mekanik. 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)
5%	0,610	1,833	0,33
10%	1,907	3,667	0,52
15%	3,109	3,333	0,93
20%	0,250	3,306	0,62

Tabel 4.1 menunjukkan membran memiliki nilai kekuatan mekanik. Nilai kekuatan mekanik membran mengalami peningkatan seiring dengan penambahan bobot polimernya, akan tetapi pada membran PAN 20% mengalami nilai penurunan kekuatan mekanik, hal ini disebabkan karena pada konsentrasi ini polimer dengan pelarut sulit untuk homogen dikarenakan bobot PAN yang terlalu banyak, yang akhirnya dapat menurunkan nilai kekuatan mekanik membran. Membran PAN 15% dengan bobot PAN sebesar 1,5 gram memiliki nilai kuat tarik serta *modulus young* yang paling besar dibandingkan dengan membran yang

lainnya. Hal ini juga menandakan bahwa gaya tarik yang diberikan untuk menarik membran pun semakin besar. Kenaikan nilai kuat tarik yang ditunjukkan menandakan terjadinya kenaikan gaya tarik yang diberikan pada membran. Membran PAN 15% tidak mudah terputus saat diuji kekuatan mekanik karena distribusi partikelnya yang merata. Jika nilai kuat tarik semakin kecil, maka kekuatan mekanik membran akan berkurang. Sebaliknya, jika nilai kuat tarik semakin besar, maka membran akan semakin kuat dalam menahan kerusakan mekanik (Husni et al., 2018).

Nilai elongasi membran bisa mengalami kenaikan ataupun penurunan, hal ini dikarenakan ketidaksempurnaan dalam struktur pori atau distribusi partikel yang dapat menyebabkan variasi dalam elastisitas membran, suhu pengeringan yang tidak konstan atau waktu penyimpanan yang terlalu lama bisa menyebabkan terjadinya variasi dalam nilai elongasi. Nilai

elongasi membran PAN 15% yaitu 3,333% menandakan membran memiliki fleksibilitas yang cukup, tetapi tidak terlalu elastis (Dwi Putra et al., 2022).

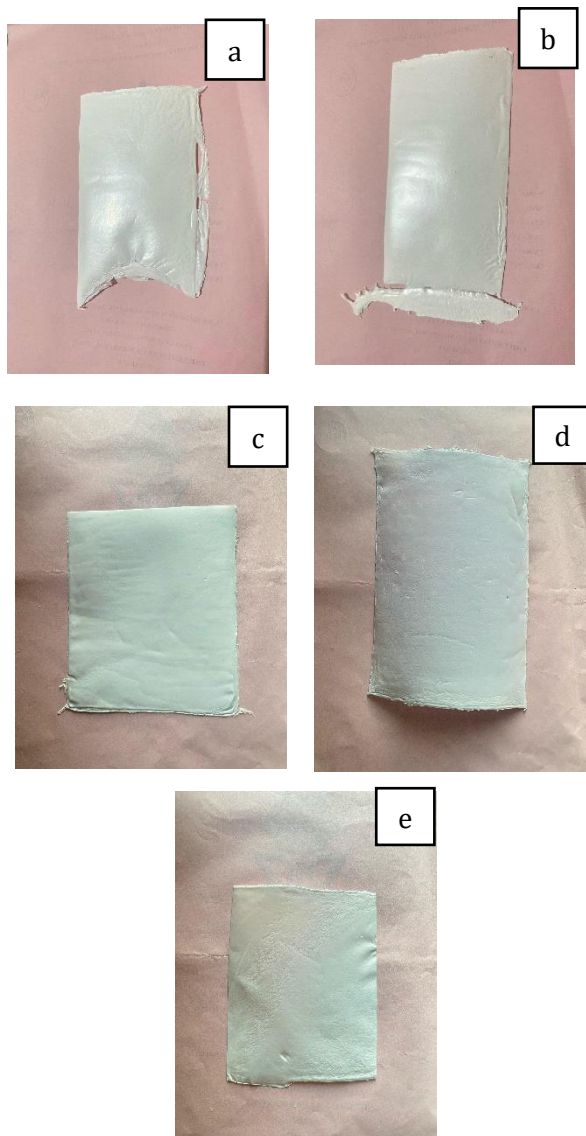
Nilai *modulus young* mengalami peningkatan seiring dengan penambahan bobot PAN, tetapi pada PAN 20% mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena membran PAN 20% memiliki tekstur yang sangat kental sehingga dalam pembuatannya memerlukan pengadukan yang lebih lama, hal ini juga berpengaruh pada nilai *modulus young* dapat menurun dikarenakan polimer yang lebih kental cenderung menghasilkan struktur membran yang lebih padat, membran bisa menjadi lebih lunak dan kurang kaku yang menyebabkan penurunan nilai *modulus young* (Ramadhan et al., 2014).

Membran PAN 15% memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, tetapi cukup fleksibel dengan nilai elongasi 3,333%. PAN 15% juga memiliki nilai *modulus young* yang tertinggi. Kombinasi ketiga parameter ini

menunjukkan bahwa membran PAN dengan variasi 15% inilah yang selanjutnya dilakukan penambahan ZnO dengan variasi 0,1%, 0,3%, 0,5%, 1%, dan 1,5%.

2. Membran PAN-ZnO

Membran PAN-ZnO dibuat dengan proses yang sama seperti pembuatan membran PAN. Pembuatan membran PAN-ZnO dimulai dengan membuat larutan dope yang terdiri dari konsentrasi terbaik PAN yaitu konsentrasi PAN 15%, selanjutnya dilakukan penambahan ZnO dengan variasi konsentrasi 0,1%, 0,3%, 0,5%, 1%, dan 1,5% (b/b). Tujuan penambahan ZnO untuk menaikkan sifat hidrofilitas membran sehingga dapat meningkatkan nilai fluks dan rejeksi membran, sehingga mampu memudahkan air melewati membran. Gambar 4.2 menunjukkan hasil dari pembuatan dari membran PAN-ZnO.



Gambar 4. 2 Membran a) PAN-ZnO 0,1%, b) PAN-ZnO 0,3%, c) PAN-ZnO 0,5%, d) PAN-ZnO 1%, e) PAN-ZnO 1,5%

Gambar 4.2 menunjukkan membran PAN-ZnO dengan kelima variasi ZnO. Pada membran PAN-ZnO memiliki warna yang lebih putih pekat dibandingkan dengan membran PAN. Terjadinya perubahan warna ini disebabkan karena adanya penambahan ZnO ke dalam membran PAN. Hal ini juga karena ZnO merupakan senyawa anorganik berwarna putih dan persebaran partikel ZnO yang baik ditandai dengan adanya perubahan warna saat pencampuran (Tantini, 2020). Membran PAN-ZnO lebih cepat mengering dibandingkan membran PAN. Partikel ZnO yang merata pada permukaan membran dapat meningkatkan kontak dengan udara, sehingga dapat mempercepat proses pengeringan (*Amanda et al.*, 2022). ZnO juga dapat membantu memperbaiki struktur membran. Langkah selanjutnya dilakukan uji kekuatan mekanik, sudut kontak, FTIR, dan uji filtrasi. Membran PAN 15% dan membran PAN-ZnO dengan konsentrasi terbaik dilakukan uji SEM *Mapping EDX*.

B. Karakterisasi Membran

1. Uji Kekuatan Mekanik

Pengujian kekuatan mekanik pada membran merupakan salah satu uji sifat mekanik. Pengukuran sifat mekanik umumnya digunakan untuk mengukur kemampuan membran dalam menahan gaya tarik, deformasi, dan kekakuan material. Semakin kuat atau sulit bahan (membran) ditarik maka semakin baik bahan tersebut digunakan dalam aplikasi teknologi membran. Alat yang digunakan untuk melakukan uji kekuatan mekanik adalah *Tensile Testing Machine*. Prinsip pengujian ini adalah spesimen ditarik dengan laju beban yang lambat hingga spesimen terputus. Mesin ini akan mencatat besarnya beban tarik yang diberikan pada spesimen serta perpanjangan (elongasi) yang terjadi pada spesimen setelah dilakukan uji kuat tarik. Alat pencatat beban tarik adalah *load cell*. Sedangkan alat pencatat perpanjangan (elongasi) yang terjadi pada spesimen adalah

ekstensometer (Heraningsih *et al.*, 2023).

Pengujian kekuatan mekanik ini dilakukan dengan menyiapkan sampel membran yang sudah dipotong ukuran 5 cm x 1 cm, kemudian diuji menggunakan alat kuat tarik (*Brookfield CT 3 4500*) di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro Semarang.

Membran PAN dengan variasi 15% dilakukan penambahan ZnO dengan variasi 0,1%, 0,3%, 0,5%, 1%, dan 1,5% yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja membran dalam penyaringan ion logam Cu²⁺. Dilakukan uji kekuatan mekanik untuk mengetahui sifat mekanik membran tersebut. Tabel 4.2 menunjukkan hasil uji kuat tarik membran PAN-ZnO.

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

PAN-ZnO	Kuat Tarik (MPa)	Elongasi (%)	Modulus Young (MPa)
0,1%	0,185	1,098	0,001
0,3%	0,623	1,894	0,017
0,5 %	4,272	5,000	0,85
1 %	3,953	4,500	0,87
1,5 %	3,321	4,000	0,83

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa pada variasi PAN-ZnO 0,1% dan PAN-ZnO 0,3% memiliki kekuatan mekanik yang sangat kecil hal ini disebabkan karena penambahan ZnO yang terlalu sedikit pada variasi konsentrasi tersebut yang mengakibatkan ZnO tidak optimal untuk menaikkan nilai fluks dan rejeksi. Membran dengan kedua variasi tersebut tidak digunakan untuk tahap selanjutnya dikarenakan nilai kekuatan mekanik yang terlalu kecil, nilai kekuatan mekanik tersebut tidak dapat mempertahankan bentuknya dengan baik, maka tidak efektif dalam pengurangan kadar ion logam Cu^{2+} (Fathanah *et al.*, 2020).

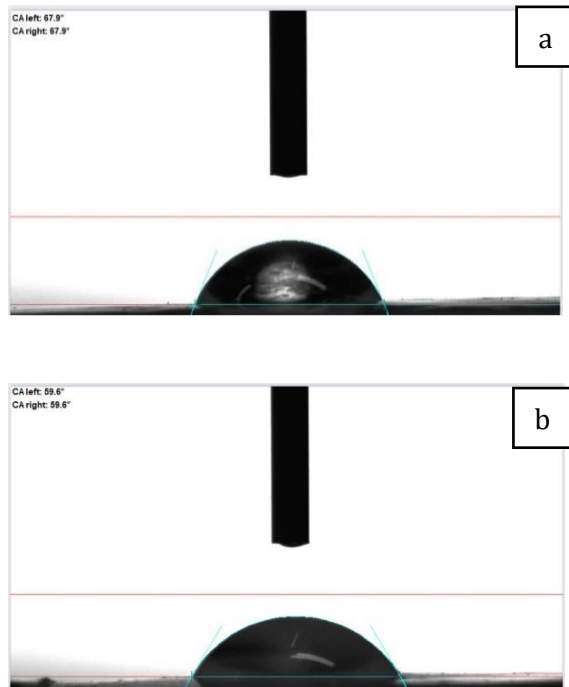
Variasi PAN-ZnO 0,5%, PAN-ZnO 1%, PAN-ZnO 1,5% menunjukkan semakin banyak penambahan ZnO maka akan menyebabkan menurunnya nilai kuat tarik. Hal ini disebabkan konsentrasi ZnO yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kemungkinan terjadinya aglomerasi atau proses pengumpulan atau penggumpalan partikel-partikel kecil menjadi partikel yang

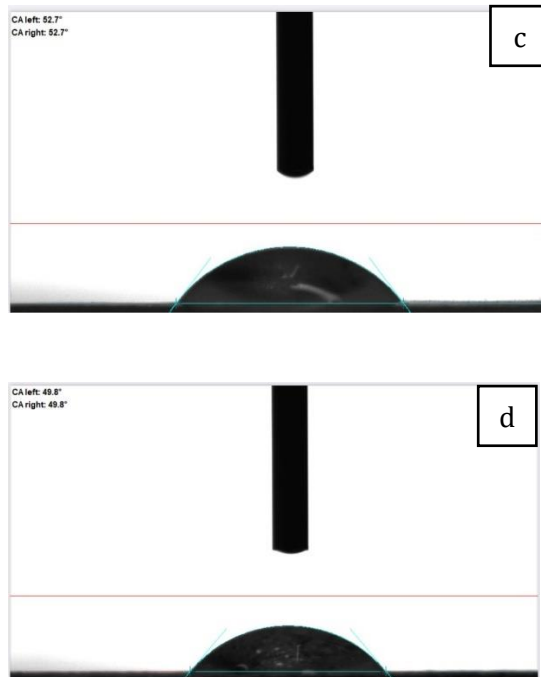
lebih besar. Aglomerasi inilah yang dapat mempengaruhi sifat kinerja material seperti menurunkan kekuatan mekanik. Membran PAN-ZnO 0,5% mempunyai nilai kekuatan mekanik yang paling besar yaitu kuat tarik sebesar 4,272 MPa, elongasi 5,000% dan modulus young 0,85 MPa. Hal ini dikarenakan ZnO dapat memperkuat struktur membran, karena ZnO yang tersebar dalam matriks membran bertindak sebagai penguat yang menahan deformasi, sehingga apabila rantai polimer membran ditarik, ZnO dapat meningkatkan kekuatan tariknya (Fathanah & Meilina, 2021). Nilai kekuatan mekanik membran PAN optimum yaitu nilai kuat tarik sebesar 3,109 MPa, elongasi sebesar 3,333%, dan *modulus young* sebesar 0,93 MPa sedangkan dengan penambahan ZnO 0,5%, ZnO 1%, ZnO 1,5% nilai kekuatan mekaniknya bertambah.

2. Uji Sudut Kontak

Pengujian sudut kontak dilakukan dengan menyiapkan membran PAN dan PAN-

ZnO yang dipotong ukuran 2cm x 2 cm kemudian diuji menggunakan alat *Optical Contact Angle (OCA 25)* di Laboratorium terpadu Universitas Diponegoro Semarang. Gambar 4.3 menunjukan hasil uji sudut kontak membran PAN 15%, PAN-ZnO 0,5%, PAN-ZnO 1% dan PAN-ZnO 1,5%.





Gambar 4. 3 Sudut Kontak a) PAN 15%, b) PAN-ZnO 0,5%, c) PAN-ZnO 1%, d) PAN-ZnO 1,5%.

Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa penambahan ZnO berpengaruh pada sifat hidrofilitasnya. Hal ini dibuktikan dengan penurunan nilai derajat sudut kontak pada membran. Tabel 4.3 menunjukkan hasil analisis sudut kontak membran PAN dan PAN-ZnO yang lebih jelas.

Tabel 4. 3 Hasil sudut kontak membran

Membran	Sudut Kontak (°)
PAN	67,9
PAN-ZnO 0,5%	59,6
PAN-ZnO 1%	52,7
PAN-ZnO 1,5%	49,8

Tabel 4.3 menunjukkan penurunan derajat sudut kontak seiring dengan bertambahnya konsentrasi ZnO. Membran PAN memiliki sudut kontak 67,9° yang artinya membran PAN bersifat hidrofilik (Ii & Pustaka, 1999). Hal ini sesuai dengan teori yaitu membran PAN bersifat hidrofilik jika membran memiliki tingkat kebasahan yang tinggi dilihat dari nilai sudut kontak kurang dari 90°, sedangkan membran bersifat hidrofobik jika membran memiliki tingkat kebasahan yang rendah yaitu dilihat dari nilai sudut kontak lebih dari 90° (Suryandari, 2019).

Membran dengan sifat hidrofilik memerlukan tekanan yang rendah untuk memungkinkan air dapat meresap ke permukaan membran, yang kemudian dapat mempengaruhi jumlah fluks air selama proses

filtrasi.

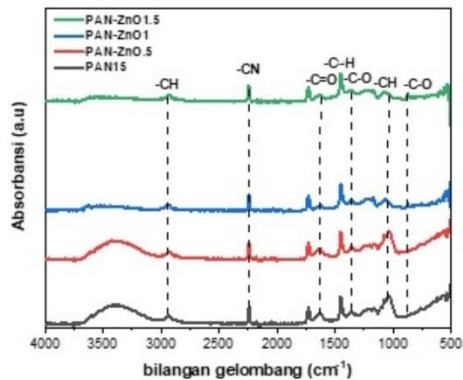
Membran PAN-ZnO bersifat polar. Hal ini disebabkan karena keberadaan gugus polar ($-C\equiv N$) pada *Polyacrylonitrile* (PAN) dan sifat polar dari ZnO itu sendiri (Zn-O) (Ayani, 2023).

Interaksinya dengan air, membran PAN-ZnO menunjukkan sifat hidrofilik. ZnO dapat meningkatkan afinitas membran terhadap air, sehingga air lebih mudah menyebar di permukaan membran. Selain itu, ZnO juga dapat memfasilitasi terjadinya pembentukan ikatan hidrogen antara molekul air dengan permukaan membran, yang akan mendukung proses penyerapan air dan dapat meningkatkan kinerja membran dalam aplikasi seperti filtrasi atau pemurnian air (Pérez-Álvarez *et al.*, 2019).

3. Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FT-IR

Informasi berupa gugus fungsi membran, jenis ikatan kimia dapat diperoleh dengan menggunakan karakterisasi melalui Spektrofotometer FT-IR. Teknik ini

memanfaatkan spektrum inframerah untuk mendeteksi vibrasi molekul, sehingga dapat memberikan informasi tentang jenis ikatan kimia dan gugus fungsi yang ada di dalam membran. Karakterisasi FTIR dilakukan dengan menganalisis hasil spektrum yang diperoleh pada bilangan gelombang 500-4000 cm^{-1} berdasarkan puncak-puncak yang terbentuk oleh gugus fungsi. Langkah awal yang harus dilakukan yaitu dengan memotong sampel membran dengan ukuran 2 x 2 cm, kemudian dilakukan pengujian. Gambar 4.4 menunjukkan hasil spektrum karakterisasi membran PAN 15% dan PAN-ZnO dengan pengujian FTIR.



Gambar 4. 4 Spektra FTIR membran

Berdasarkan 4.4 dapat dilihat bahwa terdapat lima puncak dengan bilangan gelombang vibrasi $2938,35\text{ cm}^{-1}$ gugus metilen ($-\text{CH}_2$), 2242 cm^{-1} gugus nitril ($-\text{C}\equiv\text{N}$) (Jiang et al., 2015), sedangkan ciri khas dari DMF (*dimethylformamide*) terlihat pada bilangan gelombang 1635 cm^{-1} dan $1453,41\text{ cm}^{-1}$ yaitu vibrasi gugus karbonil ($\text{C}=\text{O}$) (Haddad & Alharbi, 2019). Puncak lainnya juga terlihat pada bilangan gelombang $1187,05\text{ cm}^{-1}$ dan 1076 cm^{-1} yang mana menunjukkan adanya vibrasi ikatan C-O (Jiang et al., 2015). Hasil modifikasi menggunakan ZnO menunjukkan adanya interaksi ZnO dengan gugus nitril. Terlihat bahwa semakin besar konsentrasi ZnO maka dapat melemahkan ikatan $\text{C}=\text{O}$ gugus karbonil milik DMF dari 1635 cm^{-1} ke $1625,36\text{ cm}^{-1}$ (Jiang et al., 2015). Pada puncak bilangan gelombang $3200\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ adanya gugus O-H yang mana terlihat bahwa kapasitas penyerapan uap air meningkat dan penurunan puncak tersebut menunjukkan bahwa ZnO dapat menyerap uap air dari udara karena sifatnya yang hidroskopis. Tidak terjadi pergeseran puncak bilangan

gelombang PAN tetap pada 2242 cm^{-1} . Keberadaan ZnO dapat ditunjukkan melalui hasil karakterisasi SEM *Mapping* EDX pada Tabel 4.8 dan 4.9 serta persebaran ZnO terlihat pada Gambar 4.10.

Tabel 4. 4 Analisis gugus fungsi membran PAN 15% dan PAN-ZnO

Jenis Serapan	Bilangan Gelombang (Cm^{-1})			
	PAN 15%	PAN-ZnO		
		0,5%	1%	1,5%
-CH ₂ -	2938,85	2938,35	2940,90	2936,46
-C≡N	2242,58	2242,46	2242,59	2242,23
-C-H	1187,08	1225,37	1225,37	1225,71
-C=O	1635,53	1632,98	1629,77	1625,36
-C-O	1453,46	1453,31	1453,21	1453,46
	1076,2	106,96	1068,96	1068,96

4. Uji Fluks Membran

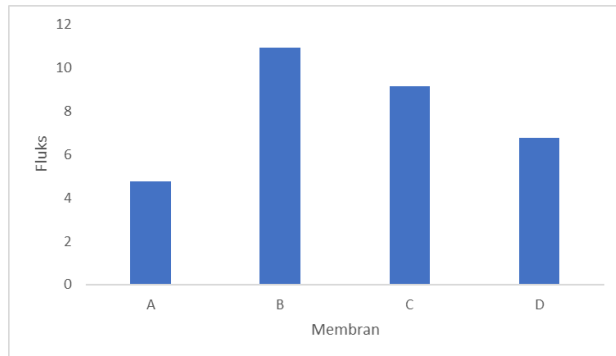
Penelitian ini ditambahkan ZnO dengan variasi 0,5%, 1% dan 1,5% pada membran PAN yang diharapkan mampu meningkatkan nilai fluks terhadap kinerja membran melalui uji fluks. Nilai fluks ditentukan dengan pengujian filtrasi. Pengujian fluks atau permeabilitas ini bertujuan untuk mengetahui jumlah volume permeat yang dapat melewati luas permukaan membran

dalam waktu tertentu (30 menit). Uji fluks membran dilakukan secara *cross flow filtration*. Diletakkan membran dengan diameter 40 mm dalam alat filtrasi, kemudian dimasukkan sampel ion logam Cu^{2+} ke dalam sel filtrasi dan ditutup rapat, kemudian diberikan tekanan udara sebesar 2 bar (Hidayah, 2018). Nilai fluks dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1). Berikut merupakan hasil perhitungan nilai fluks dari membran PAN dan PAN-ZnO ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil fluks membran PAN dan PAN-ZnO

Membran	Volume Permeat (L)	Luas Permukaan (m^2)	Fluks ($\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{Jam}$)
PAN	0,012	0,001256	4,777
PAN-ZnO 0,5%	0,0275	0,001256	10,947
PAN-ZnO 1%	0,023	0,001256	9,156
PAN-ZnO 1,5%	0,017	0,001256	6,767

Perbandingan besaran nilai fluks disajikan pada Gambar 4.5



Gambar 4. 5 Pengaruh konsentrasi ZnO terhadap Fluks membran A)PAN, B)PAN-ZnO 0,5%, c)PAN-ZnO 1%, D) PAN-ZnO 1,5%

Berdasarkan tabel 4.5 & Gambar 4.5 diketahui bahwa dengan adanya penambahan ZnO dapat meningkatkan nilai fluks pada membran. Hal ini disebabkan karena peningkatan sifat hidrofilik yang dihasilkan dari penambahan ZnO. ZnO membantu membran menarik dan menyerap air dengan baik, sehingga dapat mempermudah air untuk melewati membran. Tetapi penting untuk menjaga konsentrasi ZnO pada tingkat yang optimal. ZnO optimal yaitu pada konsentrasi 0,5%. Semakin banyak ZnO yang ditambahkan, aglomerasi partikel bisa terjadi, yang dapat menurunkan nilai fluks (Yunita *et al.*, 2020). Hasil yang

didapatkan bahwa membran PAN tanpa ZnO memiliki nilai fluks yang cenderung lebih kecil jika dibandingkan dengan membran PAN dengan adanya penambahan ZnO. Peningkatan nilai fluks juga berpengaruh yang ditandai dengan sedikitnya *fouling* atau penumpukkan partikel di permukaan atau dalam pori-pori membran pada membran saat proses filtrasi. Semakin tinggi nilai fluks membran, maka volume permeat (air atau larutan yang berhasil melewati membran) akan meningkat. Nilai fluks mengacu pada jumlah cairan yang melewati membran per satuan waktu dan luas permukaan membran. Ketika fluks meningkat, maka membran dapat memproses lebih banyak cairan dalam waktu yang sama, sehingga dapat menghasilkan volume permeat yang lebih besar.

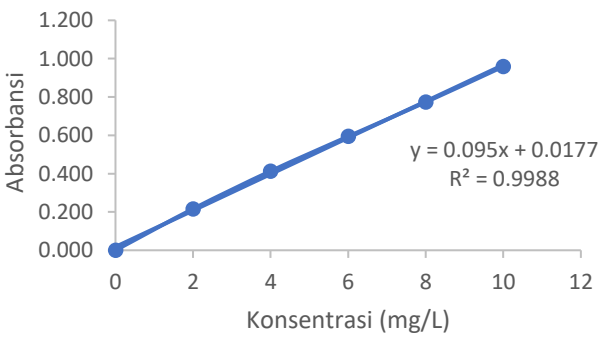
5. Pengukuran Kadar Ion Logam Cu^{2+}

Pembuatan larutan standar Cu^{2+} dibuat dari larutan induk CuSO_4 dengan variasi larutan Cu^{2+} sebesar 2 mg/L; 4 mg/L; 6 mg/L; 8 mg/L; 10 mg/L. Tujuan pembuatan larutan standar adalah untuk menyediakan larutan dengan

konsentrasi yang diketahui secara tepat dan konsisten yang nantinya dapat digunakan sebagai acuan dalam analisis hasil kadar ion logam. Tabel 4.6 menunjukkan hasil absorbansi larutan standar berdasarkan pengujian AAS. Gambar 4.5 menunjukkan hasil kurva kalibrasi larutan.

Tabel 4. 6 Nilai absorbansi larutan standar Cu²⁺

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi
0	0
2	0,216
4	0,413
6	0,594
8	0,773
10	0,959



Gambar 4. 6 Kurva kalibrasi larutan standar

Berdasarkan Gambar 4.6 didapatkan $y = 0,095x + 0,0177$ dan nilai R^2 sebesar 0,9988. Nilai tersebut mendekati 1 dianggap sangat memenuhi syarat yang dapat digunakan sebagai acuan penentuan konsentrasi Cu^{2+} yang akan dianalisis, karena model regresi hampir sepenuhnya dapat menjelaskan variasi data, hal ini menunjukkan linearitas yang cukup baik, sehingga memberikan kepercayaan pada keakuratan dan presisi. Larutan standar ini kemudian dapat digunakan untuk tahap selanjutnya yaitu menganalisis kadar ion logam Cu^{2+} menggunakan AAS di Laboratorium UIN Walisongo Semarang.

Sampel limbah CuSO_4 dibuat dengan konsentrasi 10 mg/L, namun saat pengujian menggunakan AAS dihasilkan absorbansi sebesar 0,897 yang kemudian didapatkan hasil konsentrasi sebesar 9,629 mg/L. Faktor yang mempengaruhi penurunan konsentrasi hasil AAS antara lain karena gangguan dalam proses pelarutan atau pengenceran sampel. Selanjutnya dilakukan pengujian filtrasi membran menggunakan sampel limbah CuSO_4 untuk dapat mengetahui apakah membran PAN 15% dan PAN-

ZnO dapat mengurangi kadar logam Cu^{2+} pada limbah tersebut.

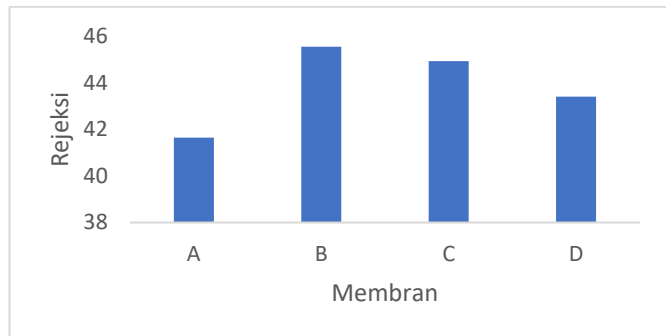
6. Uji Rejeksi Membran

Uji rejeksi pada membran dilakukan untuk menentukan kemampuan membran dalam menahan serta menyaring zat-zat tertentu dari cairan yang melewatinya. Nilai rejeksi membran menunjukkan seberapa efektif membran dapat memisahkan partikel, ion, atau molekul tertentu dari larutan. Nilai rejeksi dapat diukur berdasarkan proses filtrasi membran, dilihat dari konsentrasi sebelum filtrasi serta konsentrasi setelah filtrasi menggunakan persamaan (2.2). Tabel 4.7 menunjukkan hasil perhitungan rejeksi pada masing-masing membran terhadap ion logam Cu^{2+} .

Tabel 4. 7 Hasil persen rejeksi membran

Membran	Konsentrasi awal ion Cu^{2+} (mg/L)	Konsentrasi Akhir ion Cu^{2+} (mg/L)	Rejeksi
PAN 15%	9,629	5,618	41,65 %
PAN-ZnO 0,5%	9,629	5,239	45,55%
PAN-ZnO 1%	9,629	5,302	44,93%
PAN-ZnO 1,5%	9,629	5,450	43,40%

Perbandingan nilai koefisien rejeksi disajikan pada Gambar 4.7



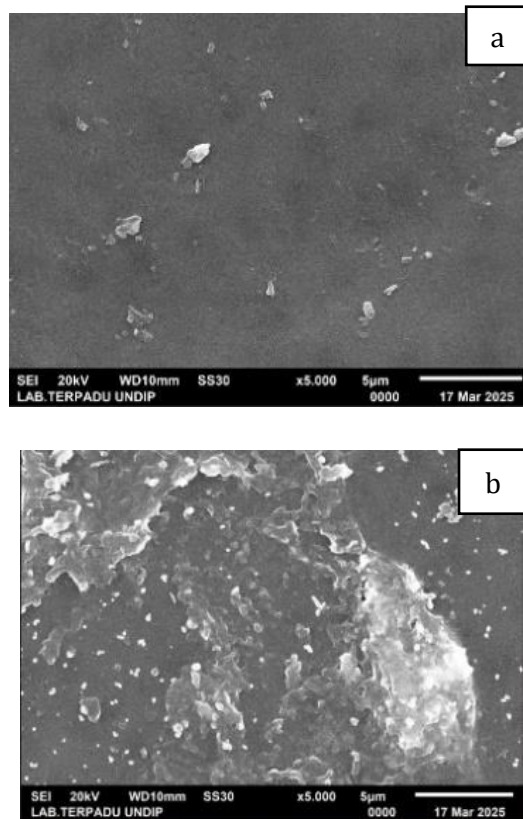
Gambar 4. 7 Pengaruh konsentrasi ZnO terhadap rejeksi membran A)PAN, B)PAN-ZnO 0,5%, C)PAN-ZnO 1%, D) PAN-ZnO 1,5%

Berdasarkan Tabel 4.7 dan Gambar 4.7 diketahui bahwa dengan adanya penambahan ZnO dapat meningkatkan rejeksi pada membran PAN. Hal ini dikarenakan membran PAN mengalami peningkatan sifat hidrofilik yang dapat meningkatkan kemampuan membran untuk menarik dan menyerap limbah. Hal ini membantu dalam memisahkan limbah dari kontaminan logam Cu^{2+} , sehingga dapat meningkatkan efisiensi rejeksi membran. ZnO

juga dapat membantu memperbaiki distribusi dan ukuran pori membran. Dengan pori yang seragam serta sesuai, membran dapat lebih selektif dalam menyaring ion logam Cu^{2+} . Namun, penting juga untuk memperhatikan konsentrasi ZnO yang ditambahkan, karena jika jumlahnya tidak tepat, dapat terjadi pembentukan agregat pada membran. Hal ini mengakibatkan menurunnya kinerja membran selama proses filtrasi (Yunita *et al.*, 2020). Apabila nilai rejeksi membran meningkat maka kemampuan membran untuk mengurangi ion logam Cu^{2+} akan semakin baik. Membran PAN-ZnO 0,5% mampu meningkatkan persen rejeksi membran hingga 45,55%. Hal ini sesuai berdasarkan pengujian sifat mekanik membran, PAN-ZnO 0,5% memiliki sifat ketahanan mekanik terbaik, dimana sifat mekanik yang baik dapat menghasilkan kinerja membran yang tinggi.

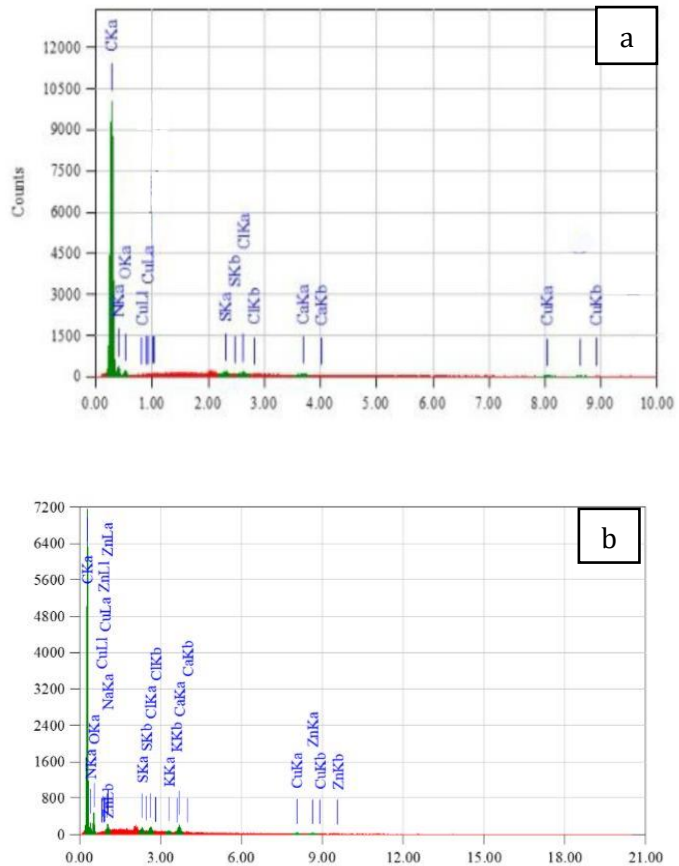
7. Karakterisasi Membran dengan SEM-EDX Mapping

Penelitian ini dilakukan analisis SEM *Mapping* EDX untuk melihat morfologi membran PAN 15% dan PAN-ZnO 0,5%. Hasil analisis SEM pada membran PAN 15% dan PAN-ZnO 0,5% ditunjukkan pada gambar 4.8



Gambar 4. 8 Morfologi dengan perbesaran 5000x a) membran PAN 15%, b) membran PAN-ZnO 0,5%]

Gambar 4.8 merupakan morfologi membran PAN 15% dan membran PAN-ZnO 0,5%. Terlihat bahwa menunjukkan morfologi membran dengan permukaan membran yang sudah terdapat partikel- partikel dalam matriks membran. Partikel yang sudah tercampur pada membran inilah merupakan ZnO yang dapat meningkatkan sifat hidrofilitas membran, meningkatkan kekuatan mekanik membran, dan juga meningkatkan nilai fluks dan rejeksi pada saat proses penyaringan limbah. Selain itu, untuk membuktikan bahwa ZnO telah berhasil ditambahkan pada membran PAN, maka dapat dianalisis menggunakan EDX. Analisis EDX digunakan untuk menentukan komposisi unsur dalam suatu sampel. Gambar 4.9 menunjukkan hasil EDX membran PAN 15% dan PAN-ZnO 0,5%



Gambar 4. 9 Grafik EDX Membran a) PAN 15%,
b) PAN-ZnO 0,5 %

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa penambahan ZnO telah berhasil dilakukan. Grafik EDX membran PAN-ZnO 0,5% terlihat adanya unsur Zn, sedangkan pada membran PAN murni

tidak mengandung unsur Zn. Komponen unsur utama pada membran PAN yaitu unsur C, N, dan O. Penambahan ZnO tidak menghilangkan komponen unsur utama pada membran. Hasil analisis komponen unsur membran PAN 15% dan PAN-ZnO 0,5% lebih jelas ditunjukkan pada tabel 4.8. Hasil analisis oxide membran PAN 15% dan PAN-ZnO 0,5% lebih jelas ditunjukkan pada Tabel 4.9.

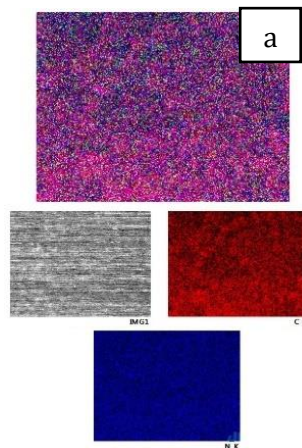
Tabel 4. 8 Komponen unsur membran

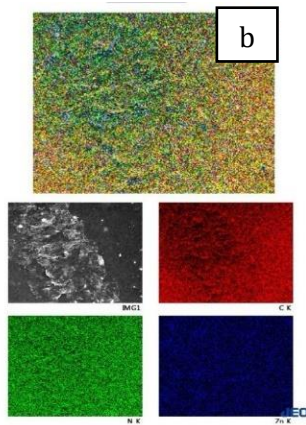
Komponen Unsur	PAN 15%		PAN-ZnO 0,5%	
	Massa (%)	Atom (%)	Massa (%)	Atom (%)
C	70,25	74,06	70,02	73,95
N	28,40	25,66	26,55	24,17
O	0,50	0,07	0,92	0,78
S	0,18	0,07	0,20	0,08
Cl	0,22	0,04	0,24	0,09
Ca	0,12	0,07	0,56	0,18
Cu	0,33	0,03	0,44	0,09
Na	-	-	0,41	0,11
K	-	-	0,14	0,02
Zn	-	-	0,52	0,53

Tabel 4. 9 Hasil oxide membran

Komponen Oksida	PAN 15%	PAN-ZnO 0,5%
	Massa (%)	Massa (%)
C	70,25	70,02
N	28,40	26,55
Na ₂ O	-	0,60
SO ₃	0,53	0,52
Cl	0,24	0,24
K ₂ O	-	0,20
CaO	0,17	0,78
CuO	0,41	0,57
ZnO	-	0,52

Analisis *Mapping* dilakukan untuk melihat distribusi persebaran elemen atau komponen tertentu pada permukaan membran. *Mapping* juga berfungsi untuk membantu mengetahui apakah elemen tertentu tersebar secara merata di seluruh permukaan membran. Gambar 4.10 menunjukkan hasil *Mapping* membran PAN 15% dan PAN-ZnO 0,5%





Gambar 4. 10 Mapping membran a) PAN 15%, b) PAN-ZnO 0,5%

Berdasarkan hasil *mapping* pada gambar 4.10 membran PAN memiliki 2 unsur komponen utama yaitu unsur C berwarna merah dan unsur N berwarna biru. Pada persebaran unsurnya terlihat berwarna ungu yang merupakan perpaduan dari komponen C dan N yang jumlahnya memenuhi permukaan membran. Membran PAN-ZnO 0,5% menghasilkan 3 unsur komponen utama yaitu unsur C berwarna merah, unsur N berwarna hijau, dan unsur Zn berwarna biru. Pada persebaran unsurnya terlihat berwarna kuning dengan beberapa titik berwarna biru yang menandakan bahwa unsur Zn sudah berhasil ditambahkan.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Membran PAN dan PAN-ZnO telah berhasil disintesis. Membran PAN 15% memiliki kekuatan mekanik dengan nilai kuat tarik sebesar 3,109 MPa dan setelah penambahan ZnO 0,5% mampu meningkatkan kekuatan mekanik dengan nilai kuat tarik menjadi 4,272 MPa. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa gugus fungsi PAN yaitu $-C\equiv N$ terlihat pada panjang gelombang 2242,58 Cm^{-1} . Penambahan ZnO telah berhasil dilakukan yang ditandai pada hasil EDX. Adanya penambahan ZnO juga tidak mengakibatkan pergeseran gugus fungsi PAN. Hasil SEM *mapping* menunjukkan adanya unsur Zn yang telah berhasil ditambahkan. Hasil sudut kontak membran PAN 15% sebesar 67° dan setelah penambahan ZnO 0,5% mampu meningkatkan sifat hidrofilik membran dibuktikan dengan menurunnya nilai sudut kontak menjadi $59,6^\circ$. Hasil fluks dan rejeksi membran PAN 15% dengan penambahan

ZnO 0,5% mengalami peningkatan sebesar 6,17 L/m².jam dan 3,9%.

2. Membran PAN 15% dengan penambahan ZnO 0,5% mampu menurunkan kadar ion logam Cu²⁺ dari konsentrasi awal sebesar 9,629 mg/L menjadi 5,239 mg/L.

B. Saran

1. Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan polimer serta bahan aditif lain guna meningkatkan kinerja membran dalam menurunkan konsentrasi ion logam Cu²⁺.
2. Penelitian selanjutnya diharapkan melakukan perbandingan dengan menggunakan variasi polimer serta bahan aditif yang berbeda guna untuk melihat kinerja membran dalam penurunan kadar ion logam Cu²⁺.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan karakterisasi SEM *Mapping* EDX untuk melihat penampang lintang membran dengan perbesaran yang optimal agar dapat mengetahui ukuran pori-pori membran.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Fath, M. T., Dalimunthe, N. F., Sidabutar, R., Michael, Samosir, R. N., & Tjandra, T. M. (2024). Karakteristik Sifat Fisik Membran Elektrolit Polimer Berbasis Kitosan Larva Black Soldier Fly/Polivinil Alkohol/Poliakrilonitril dengan Penambahan Ammonium Klorida. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 13(1), 63–70.
- Amanda, N. A., Ramadhika, L. N., Bahtiar, A., Safriani, L., & Aprilia, A. (2022). Pengaruh Jenis Prekursor Terhadap Karakteristik Partikel ZnO Beserta Pengujian Sifat Fotokatalitiknya. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 12(01), 08. <https://doi.org/10.24198/jme.v12i01.40511>
- Anggara, T. (2016). *Pengaruh Media Gelatinasi (Perendaman) Air terhadap Nilai Permeabilitas Polyethersulfone (PES) dengan Berat Molekul 5900*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Aprilia, S., Arifin, B., Anugerah, R. R., & Safriadi, I. (2013). Kombinasi Proses Koagulasi dan Sistem Ultrafiltrasi dengan Membran Poliakrilonitril untuk Pemurnian Air Berwarna. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 9(4), 173–179.
- Arsista, D., Dewi P, Eriwati, Y. K, L. (2021). Penggunaan ATR - FTIR (Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared Spectroscopy) pada Kedokteran Gigi. *Jurnal Material Kedokteran Gigi*, 10(2), 57–66.
- Anggara, D Rahmasari, SI Savira, DK Dewi, MS Budiani, S Satiningsih (2016). *Procedia of Social Sciences and Humanities* 6, 98-101
- Ariyanti, Dhita, Nurul Widiastuti, and Nourma Safarina. "Kinerja Membran Plat Berpori Berbasis Selulosa Asetat yang Disintesis Secara Inversi Fasa untuk Ultrafiltrasi Bakteri E. coli di PDAM Surabaya." *Jurnal Teknologi Lingkungan* 21, no. 2 (2020): 165-173.
- Aryani Ahmad, Rahman, & Hidayat. (2021). Studi Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Sedimen dan Air di Sungai

- Jeneberang Kota Makassar. *Window of Public Health Journal*, 2(5), 844–851.
- Astuti, U. P. (2016). Pengolahan Air Payau Menggunakan Elektrodialisis Dan Ozon. *Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur*, 3(1), 23–28.
- Ayani, S. (2023). *Biosintesis Nanopartikel ZnO menggunakan Ekstrak Daun Betadin (Jatropha multifida L .) untuk Identifikasi Sidik Jari Laten*. 1–9.
- Bahiyah, W. (2023). *Pengurangan Kadar Ion Logam Pb²⁺ Menggunakan Membran Polyvynyl Fluoride (PVDF) - Al₂O₃*.
- Darmayanti, L., Notodarmodjo, S., & Damanhuri, E. (2018). Penyisihan Logam Cu (II) dari Larutan dengan Fly Ash Batu Bara. *Jurnal Neo Teknika*, 4(1), 30–38.
- Dianira Prastiwi, A., & Kuntjoro, S. (2022). Analisis Kadar Logam Berat Tembaga (Cu) pada Kangkung Air (*Ipomea aquatica*) di Sungai Prambon Sidoarjo Analysis of Copper (Cu) Levels in Water Spinach (*Ipomea aquatica*) in Prambon River Sidoarjo. *LenteraBio*, 11(2010), 405–413.
- Edward, E., Munawir, K., Yogaswara, D., Falahuddin, D., Kusnadi, A., Triandiza, T., Helfinalis, H., Wulandari, I., Lestari S, L. S., & Pesilette, R. N. (2021). Kandungan Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn, Ni dan Senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) dalam Sedimen di Teluk Jakarta. *JURNAL Sumberdaya Akuatik Indopasifik* 5(1)
- Elma, M., Yacou, C., da Costa, J. C., & Wang, D. K. (2013). Performance and long term stability of mesoporous silica membranes for desalination. *Membranes*, 3(3), 136–150. <https://doi.org/10.3390/membranes3030136>
- Elma, M., Yacou, C., Diniz da Costa, J. C., & Wang, D. K. (2013). Performance and long term stability of mesoporous silica membranes for desalination. *Membranes*, 3(3), 136–150.
- Erika Erika, & Eva Gusmira. (2024). Analisis Dampak Limbah Sampah Rumah Tangga Terhubung Pencemaran Lingkungan Hidup. *Profit: Jurnal Manajemen, Bisnis Dan Akuntansi*, 3(3), 90–102.

- Fathanah, U., Machdar, I., Riza, M., Arahman, N., Lubis, M. R., Nurfajrina, F., Yolanda, A., & Wahab, M. Y. (2020). The Effects of Magnesium Hydroxide (Mg (OH) 2) on the Characteristics and Performance of Polyethersulfone Membranes (PES) for Water Treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 845(1), 12024. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/845/1/012024>
- Fathanah, U., & Meilina, H. (2021). Karakterisasi dan Kinerja Membran Polyethersulfone Termodifikasi Aditif Anorganik secara Blending Polimer. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(4), 2407-2414. <https://doi.org/10.32672/jse.v6i4.3515>
- Febrita, J., & Roosmini, D. (2022). Analisis Beban Pencemar Logam Berat Industri terhadap Kualitas Sungai Citarum Hulu. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 7(1), 77-88. <https://doi.org/10.29244/jsil.7.1.77-88>
- Haddad, M. Y., & Alharbi, H. F. (2019). Enhancement of heavy metal ion adsorption using electrospun polyacrylonitrile nanofibers loaded with ZnO nanoparticles. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(11), 1-11.
- Hazmi, M. A. Al, Azizah, F. H. N., Hajar, S., & ... (2024). Kerusakan Alam dan Mitigasi Krisis Lingkungan (Kajian Surat Al-Baqarah Ayat 205-207 dalam Tafsir Al-Maraghi). *Ulumul Qur'an: Jurnal Ilmu Al-Quran Dan Tafsir*, 4(1), 75-92.
- Heraningsih, S. F., Alfernando, O., Sidauruk, J., Sinaga, J., Bectari, D., Pitri, E., ... & Aulia, S. P. (2023). Aplikasi Pengolahan Limbah Batik Menggunakan Membran Keramik Berbiaya Rendah pada Kolom Batch. *Jurnal Daur Lingkungan*, 6(1), 60-66.
- Hermanto, D., Mudasir, Siswanta, D., & Kuswandi, B. (2019). Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Journal of Scientific and Applied Chemistry Synthesis of Alginate-Chitosan Polyelectrolyte Complex (PEC) Membrane and Its Physical-Mechanical Properties. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 22(1), 11-16.
- Hidayah, M. (2018). Pengolahan Air Limbah Menjadi Air

- Minum Dengan Menghilangkan Amonium Dan Bakteri E-Coli Melalui Membran Nanofiltrasi. *Walisongo Journal of Chemistry*, 1(1), 6–13.
<https://doi.org/10.21580/wjc.v2i1.2668>
- Hidayah, M., Kusworo, T. D., & Susanto, H. (2022). Improving the performance of polysulfone-nano zno membranes for water treatment in oil refinery with modified uv irradiation and polyvinyl alcohol. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 66(1), 43–53.
- I Nyoman Candra, Sugiono, & Amir, H. (2022). Pembuatan Membran Dari Ampas Tebu dan Aplikasinya Untuk Menyaring Air Tanah dan Air Gambut. *Alotrop*, 6(2), 118–122. <https://doi.org/10.33369/alo.v6i2.24324>
- Ii, B. A. B., & Pustaka, T. (1999). *Adalah Gaya Adhesi Per Satuan Luas*, γ. 5–31.
- Indriyani, V., Novianty, Y., & Mirwan, A. (2017). Pembuatan Membran Ultrafiltrasi Dari Polimer Selulosa Asetat Dengan Metode Inversi Fasa. *Konversi*, 6(1), 11. <https://doi.org/10.20527/k.v6i1.2994>
- Ismail, N. F., Loo, K. K., & Othaman, R. (2017). Membran tak simetri poliakrilonitril untuk penyingkiran malakit hijau daripada air sisa. *Journal of Polymer Science and Technology*, 2(August), 78–84.
- Jiang, H., Ge, Y., Fu, K., Lu, Y., Chen, C., Zhu, J., Dirican, M., & Zhang, X. (2015). Centrifugally-spun tin-containing carbon nanofibers as anode material for lithium-ion batteries. *Journal of Materials Science*, 50(3), 1094–1102. <https://doi.org/10.1007/s10853-014-8666-5>
- Juharna, F. M., Widowati, I., & Endrawati, H. (2022). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kromium (Cr) Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Morosari, Sayung, Kabupaten Demak. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2), 139–148.
- Kahardina, M. (2015). *the Effect of and Dimethylformamide Solvent Ratio in the Synthesis of Metal Organic Framework Hkust-1 Dan Dimetilformamida Pada Sintesis Metal*

Organik Framework Hkust-1. 84.

- Kahardina & Mery (2015) Pengaruh Perbandingan Pelarut Etanol Dan Dimetilformamida Pada Sintesis Metal Organic Framework Hkust-1. Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kalashnik, M. V. (2015). Resonant and quasi-resonant excitation of baroclinic waves in the Eady model. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 51, 576–584. <https://doi.org/10.1134/S0001433815060080>
- K. Khairuddin, M. Yamin, K. Kusmiyati, & Zulkifli, L. (2021). Pengenalan Tentang Model Akumulasi Logam Berat Hg dan Cd dalam Jaringan MakhluK Hidup Melalui Pelatihan pada Siswa MTsN 1 Kota Bima. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 4(4).
- Karnawati, D., Fathani, T. F., Ignatius, S., Andayani, B., Legono, D., & Burton, P. W. (2011). Landslide hazard and community-based risk reduction effort in Karanganyar and the surrounding area, central Java, Indonesia. *Journal of Mountain Science*, 8, 149–153.
- Kedang, Y. I. (2018). Review: Karakterisasi dan Modifikasi Membran Poliamida untuk Aplikasi Pemisahan Zat Warna. *Jurnal Saintek Lahan Kering*, 1(2), 28–30. <https://doi.org/10.32938/slk.v1i2.568>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2019). *Statistik Pengelolaan Limbah B3 Tahun 2019*.
- Kimura, M., Yamada, S., & Osaki, S. (1995). Statistical software reliability prediction and its applicability based on mean time between failures. *Mathematical and computer Modelling*, 22(10–12), 149–155.
- Kuntari, F. R., Pranoto, S., Tiswati, K. A., & Sutresno, A. (2019). Studi Proses Difusi melalui Membran dengan Pendekatan Kompartemen. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 15(2), 62. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v15i2.4617>
- Kuntjoro, M Bisri, A Masrevaniah, A Suharyanto (2022) Journal of Basic and Applied Scientific Research 2, 1027-1033
- Kurniawan, I., & Mariadi, P. D. (2015). Review : Profil Hybrid

- Membrane Dalam Proses Reduksi Air Limbah. *Jurnal Konversi*, 5(1), 1.
- Kusumocahyo, S. P., Ambani, S. K., & Marceline, S. (2021). Improved permeate flux and rejection of ultrafiltration membranes prepared from polyethylene terephthalate (PET) bottle waste. *Sustainable Environment Research*, 31(1).
- Marhamah, L., & Astuti, A. (2022). Sintesis Lapisan Hidrofobik Komposit ZnO/PS-SiO₂ untuk Aplikasi Self-cleaning Material. *Jurnal Fisika Unand*, 11(4), 508–514.
- Mulder, M. (1996). *Basic Principles of Membrane Technology. 2nd Edition*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Maulidan, F. S. (2023). Pembuatan, karakterisasi, dan kinerja membran polyvinylidene fluoride (pvdf)-zno untuk filtrasi ion kromium heksavalen. *Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang*.
- Mulyati, S., Razi, F., & Zuhra, Z. (2017). Karakteristik Membran Asimetris Polietersufone (PES) dengan Pelarut Dimetil Formamide dan N-Metil-2-Pyrolidone-(Characteristic of Polyethersulfone (PES) Asymmetric Membrane with Dimethyl Formamide and N-Methyl Pyrolidone as Solvent). *Biopropal Industri*, 8(1), 55–62. <https://doi.org/10.36974/jbi.v8i1.1617>
- Mukhtar Sinaga, A. S. (2023). Pengujian Kuat Tarik dan Uji Lengkung Baja Tulangan Sirip 280 Pada SNI 2052 : 2017. *Berdikari*, 6(2), 4.
- Nawi, N. I. M., Chean, H. M., Shamsuddin, N., Bilad, M. R., Narkkun, T., Faungnawakij, K., & Khan, A. L. (2020). Development of hydrophilic PVDF membrane using vapour induced phase separation method for produced water treatment. *Membranes*, 10(6), 121. <https://doi.org/10.3390/membranes10060121>
- Nawi, A. M., Ismail, R., Ibrahim, F., Hassan, M. R., Manaf, M. R. A., Amit, N., ... Shafurdin, N. S. (2021). Risk and protective factors of drug abuse among adolescents: a systematic review. *BMC Public Health*, 21(1).

- <https://doi.org/10.1186/s12889-021-11906-2>
- Nugrayani, D., Vita Hidayati, N., Nur Cahyo, T., Amelia Putri, A., Atika Putri, N., Nadzirotul Ummah, A., & Syauqi Santoso, F. (2023). Potensi Resiko Ekologis Logas Berat (Cd, Cr, Fe) Pada Sendimen Anak Sungai Pelus Sekitar Home Industry Batik Kauman Sokaraja, Banyumas Ecological Risk Potential Of Heavy Metals (Cd, Cr, Fe) In Sediment Of The Pelus River Around The Kauman Batik Home Indust. *Journal Perikanan*, 13(3), 796–805.
- Nurcholis, A. , P. R. , & S. R. (2023). Health risk assessment of heavy metal exposure in urban areas. *Environmental Toxicology and Pharmacology*.
- Pambudi & Suprpto, S. (2019). Penentuan Kadar Tembaga (Cu) dalam Sampel Batuan Mineral. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 7(2), 20–23.
- Parker, T. F., Wingard, R. L., Husni, L., Ikizler, T. A., Parker, R. A., & Hakim, R. M. (1996). Effect of the membrane biocompatibility on nutritional parameters in chronic hemodialysis patients. *Kidney international*, 49(2), 551–556.
- Pérez-Álvarez, L., Ruiz-Rubio, L., Moreno, I., & Vilas-Vilela, J. L. (2019). Characterization and optimization of the alkaline hydrolysis of polyacrylonitrile membranes. *Polymers*, 11(11), 1–11. <https://doi.org/10.3390/polym11111843>
- Putri, R. D. (2024). Analisis Kandungan Logam Berat Fe, Ni, Pb, dan Cr di Kawasan Muara, Mangrove, dan Green Canyon Sungai Cijulang di Pangandaran. *Jurnal Kartika Kimia*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.26874/jkk.v7i1.245>
- Qomariyah, A. (2022). Analisis Kadar Timbal dan Arsen dalam Darah dengan Metode Spektroskopi Serapan Atom. *Prosiding Sains Nasional Dan Teknologi*, 12(1), 66.
- Rahmat, A. Y., Syahbanu, I., & Rudyansyah, R. (2020). Membran Ultrafiltrasi Polisulfon/TiO₂ (Psf/TiO₂) Sebagai Filter Pada Pencemaran Air Oleh Bahan Bakar Solar. *Jurnal Kartika Kimia*, 3(1), 7–12. <https://doi.org/10.26874/jkk.v3i1.46>

- Razi, N. M., Fildzah, F., Dhani, D. N., Nasir, M., Rizki, A., & Firdus, F. (2023). Literatur Review: Pencemaran Logam Berat di Pelabuhan Indonesia. *Jurnal Laot Ilmu Kelautan*, 5(1), 48. <https://doi.org/10.35308/jlik.v5i1.7175>
- Riska, R., Tasabaramo, I. A., Neviaty P. Zamani, Lalang, & Syadiah, E. A. (2022). Akumulasi Logam Berat (Pb, Cd, Hg) pada karang *Acropora aspera* di perairan pomala Sulawesi Tenggara. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 14(1), 69–80.
- Rodhiayah Djayasinga. (2016). Pembuatan dan karakterisasi membran. *Tesis*, 1(1), 2015.
- Rohman, T. (2020). *Prarancangan Pabrik Dimetil Formamid Metilformiat dan Dimetilamin dengan INTISARI Prarancangan Pabrik Dimetil Formamid Metilformiat dan Dimetilamin dengan*.
- Rosnelly, C. M. (2012). Pengaruh rasio aditif polietilen glikol terhadap selulosa asetat pada pembuatan membran selulosa asetat secara inversi fasa. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 9(1), 25–29.
- Safriadi, I. (2013). Kombinasi Proses Koagulasi dan Sistem Ultrafiltrasi dengan Membran PAN untuk Pemurnian Air Berwarna. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 2(2), 4–7.
- Sahribulan, & Pagarra, H. (2022). Identifikasi Gugus Fungsi Dari Senyawa Metabolit Sekunder Ekstrak Etanol Daun Kayu Jawa *Lannea coromandelica*. *Jurnal Binomial*, 5(2), 161–168.
- Sri Lestari, et al./Journal of Primary Education 9 (4) (2020) : 329-341 330 Introduction The cause of the low skills of scientific lite In this era of globalization, the skills
- Sepdiansyah, Kusumaatmaja & Chotimah (2019). Karakterisasi Membran *Polyacrylonitile* (PAN) Hasil Elektrosponing Sebagai Penyaring Air. 13(3), 20-25.
- Setiawan, A., Bawafi, M. I. A., Ramadani, T. A., & Santiasih, I. (2021). Sintesis Karbon Aktif Limbah Lumpur Aktif Industri Gula sebagai Adsorben Limbah Logam Berat

- Cu(II). *TEKNIK*, 42(1), 316–324.
- Setyaningrum, D., Susatyo, E. B., & Alauhdin, M. (2014). Sintesis Membran Kitosan-Silika Abu Sekam Padi untuk Filtrasi Ion Cd^{2+} dan Cu^{2+} . *Indonesian Journal of Chemical Science*, 3(1), 75–80.
- Silalahi, F. R. W., Zainuri, M., & Wulandari, S. Y. (2023). Studi Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Seng (Zn) di Perairan Muara Sungai Cisadane Kabupaten Tangerang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(1), 01–06.
- Silviah, S., Widodo, C., & Masrurroh. (2014). Penggunaan Metode FT-IR Untuk Mengidentifikasi Gugus Fungsi Pada Proses Pembaluran Penderita Mioma. *Physics Student Journal*, 1(1), 1–28.
- Singh, A. , S. R. K. , & A. M. (2021). Impact of copper contamination on children's health: A cognitive assessment study. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*.
- Standar Nasional Indonesia. (2019). *Cara uji kadar logam terlarut dan logam total secara Spektrometri Serapan Atom (SSA) - nyala*. Jakarta: BSN.
- Suryandari, E. T. (2019). Sintesis membran komposit pvdfe-zeolit untuk penghilangan metilen biru. *al Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, 6(2), 58–66.
- Susanti, S., Widiarti, N., & Prasetya, A. T. (2017). Sintesis Silika Gel Teraktivasi dari Pasir Kuarsa untuk Menurunkan Kadar ION Cu^{2+} dalam Air. *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 40(1), 39–42.
- Susanto, H., & Ulbricht, M. (2009). Characteristics, performance and stability of polyethersulfone ultrafiltration membranes prepared by phase separation method using different macromolecular additives. *Journal of Membrane Science*, 327(1–2), 125–135. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2008.11.025>
- Tampubolon, F. F., S, E. P., & Fansuri, H. (2015). Pengaruh Amobilisasi Kation Cu^{2+} dan Pb^{2+} terhadap Kuat Tekan dan Ketahanan Asam pada Geopolimer Abu Layang.

- Jurnal Sains Dan Seni Its*, 4(2), 0–5.
- Tantini. (2020). Antibakteri Pada Plastik Biodegradable dari Skripsi Oleh : Tantini. *Skripsi*.
- Valentine, D. A., Aprilia, S., Djuned, F. M. &... (2019). Sintesis Membran Kitosan-Silika Abu Sekam Padi Untuk Penurunan Logam Berat Cu dengan Proses Ultrafiltrasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 4(2), 573–582.
- Wardianto, F., Wijayanti, A., & Purwaningrum, P. (2023). Kajian Pengelolaan Limbah Padat Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) Rumah Tangga di Jakarta Barat. *Infomatek*, 25(2), 143–152.
<https://doi.org/10.23969/infomatek.v25i2.9767>
- Wenten, I. G., Khoiruddin, A. N., & ... (2014). Osmosis Balik. *Institut Teknologi Bandung, January*.
- WHO. (2022). *Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition, incorporating the First and Second Addenda*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>.
- Yap, C. K., Saleem, M., Tan, W. S., Syazwan, W. M., Azrizal-Wahid, N., Nulit, R., Ibrahim, Mohd. H., Mustafa, M., Rahman, M. A. A., Edward, F. B., Arai, T., Cheng, W. H., Okamura, H., Ismail, M. S., Kumar, K., Avtar, R., Al-Mutair, K. A., Al-Shami, S. A., Subramaniam, G., & Wong, L. S. (2022). Ecological–Health Risk Assessments of Copper in the Sediments: A Review and Synthesis. *Pollutants*, 2(3), 269–288.
<https://doi.org/10.3390/pollutants2030018>
- Yunita, Y., Nurlina, N., & Syahbanu, I. (2020a). Sintesis Nanopartikel Zink Oksida (ZnO) dengan Penambahan Ekstrak Klorofil sebagai Capping Agent. *Positron*, 10(2), 44. <https://doi.org/10.26418/positron.v10i2.42136>
- Yunita, Y., Nurlina, N., & Syahbanu, I. (2020b). Sintesis Nanopartikel Zink Oksida (ZnO) dengan Penambahan Ekstrak Klorofil sebagai Capping Agent. *Positron*, 10(2), 44. <https://doi.org/10.26418/positron.v10i2.42136>
- Yurnalisdel, Y. (2023). Analisis Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di Indonesia. *Jurnal Syntax*

Admiration, 4(2), 201–208.

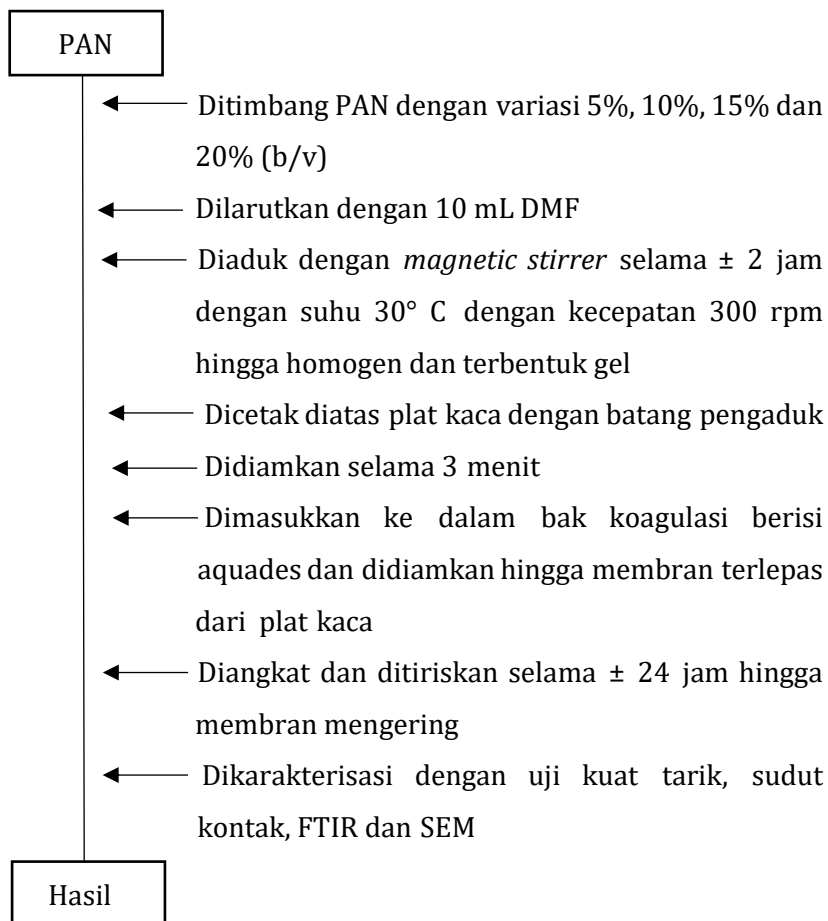
<https://doi.org/10.46799/jsa.v4i2.562>

Zhang, W. , S. H. , & Z. Y. (2020). Heavy metal contamination in industrial wastewater: A case study of Cu²⁺ pollution. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(5).

LAMPIRAN

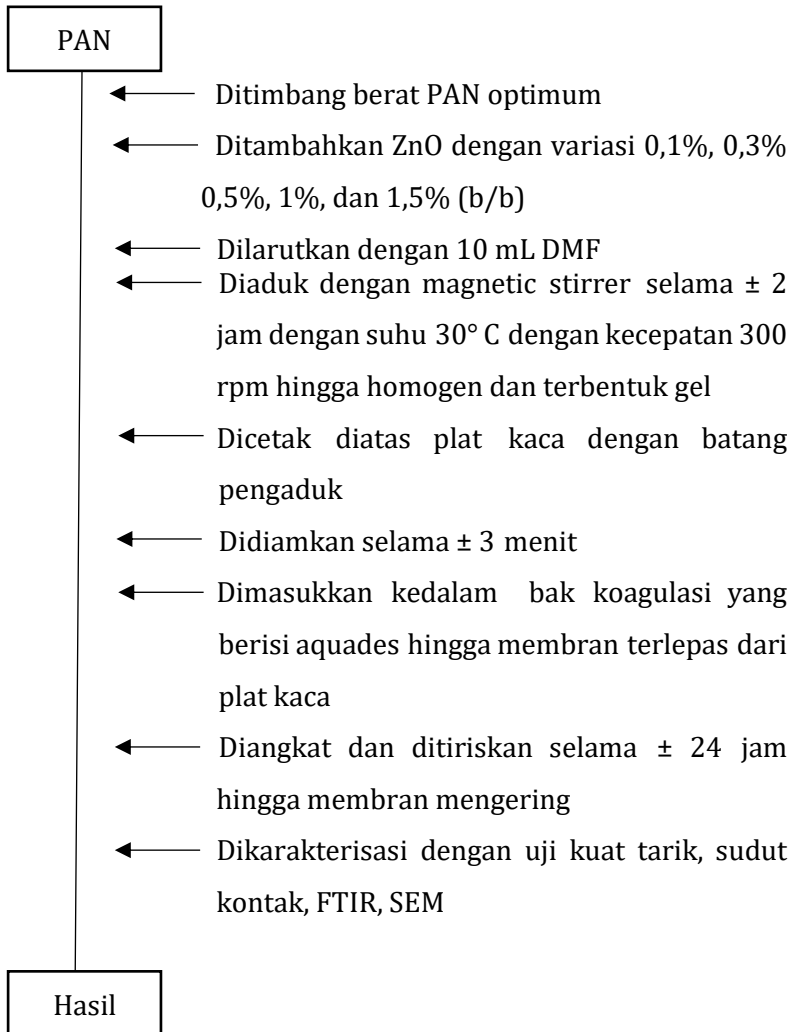
Lampiran 1 : Preparasi membran PAN

1. Pembuatan membran PAN



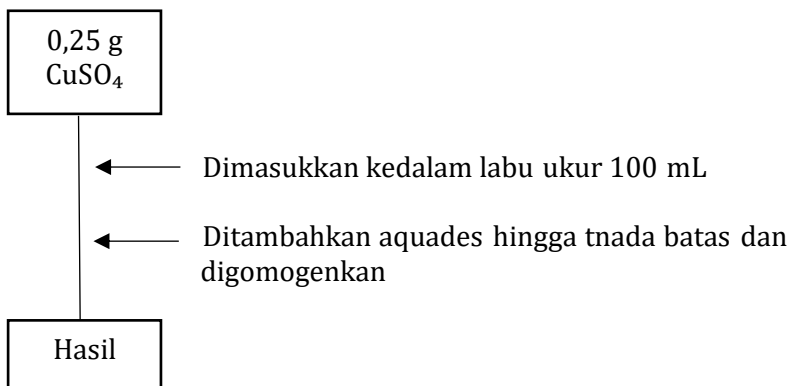
Lampiran 2 : Preparasi membran PAN-ZnO

1. Pembuatan membran PAN-ZnO

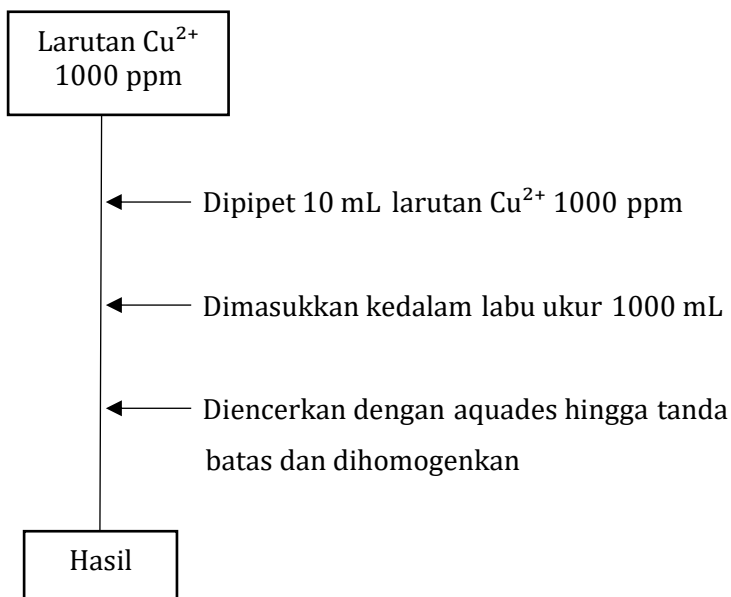


Lampiran 3 : Pengukuran kadar ion logam Cu^{2+}

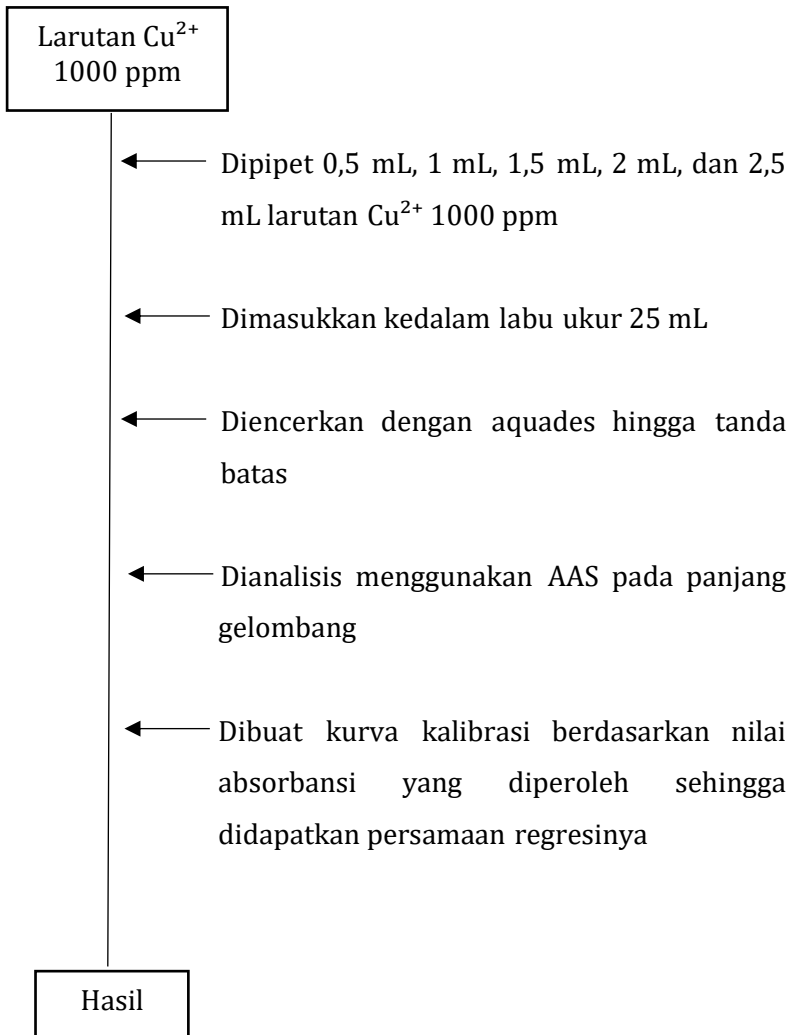
1. Pembuatan larutan baku Cu^{2+} 1000 ppm



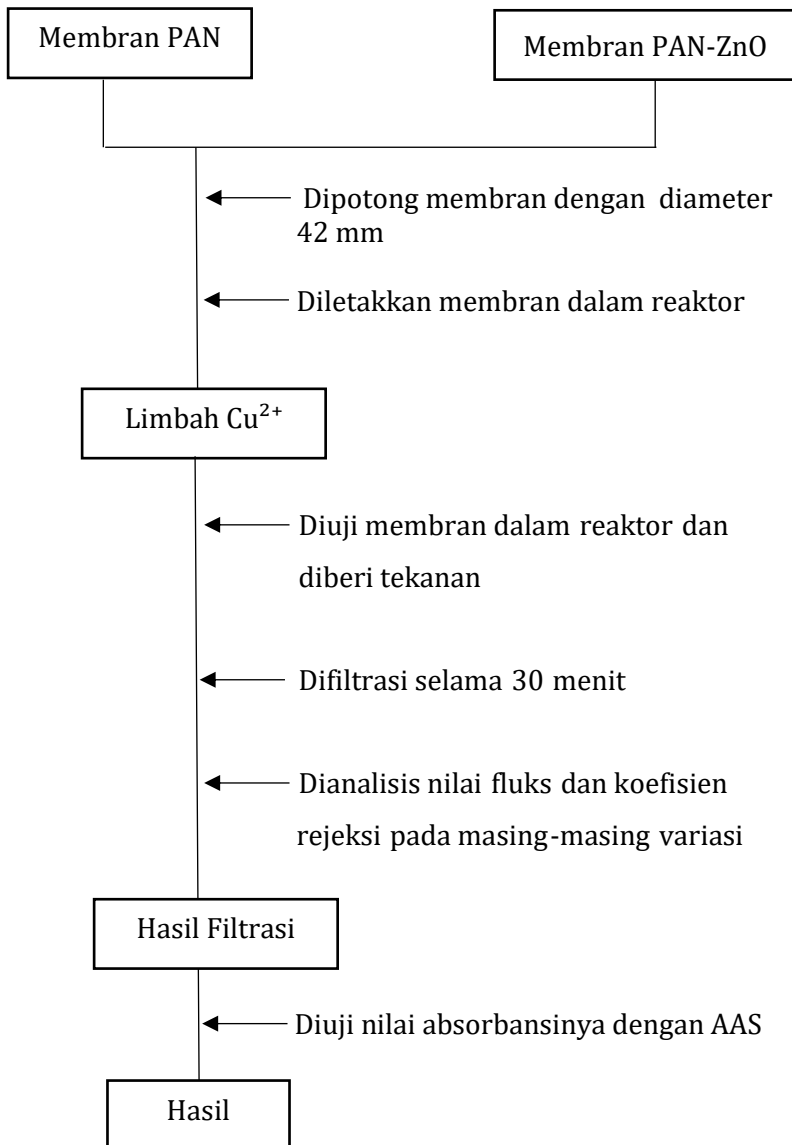
2. Pembuatan larutan Cu^{2+} 10 ppm



3. Pembuatan larutan standar



Lampiran 4 : Uji kinerja membran pada limbah



Pembuatan Membran

a. Membran PAN

$$\% \frac{b}{v} = \frac{PAN \text{ (gram)}}{DMF \text{ (mL)}} \times 100\%$$

$\frac{0,5}{10} \times 100\% = 5\%$
$\frac{1}{10} \times 100\% = 10\%$
$\frac{1,5}{10} \times 100\% = 15\%$
$\frac{2}{10} \times 100\% = 20\%$

b. Membran PAN-ZnO

Diketahui : Membran PAN optimum yaitu 15%

$$\% \frac{b}{b} = \frac{ZnO \text{ (gram)}}{PAN \text{ (gram)}} \times 100\%$$

$\frac{0,0025}{1,5} \times 100\% = 0,1 \%$
$\frac{0,005}{1,5} \times 100\% = 0,3\%$

$\frac{0,075}{1,5} \times 100\% = 0,5\%$
$\frac{0,15}{1,5} \times 100\% = 1\%$
$\frac{0,225}{1,5} \times 100\% = 1,5\%$

Lampiran 5 : Hasil uji kuat tarik

1. Membran PAN

Membran PAN (b/v)	Kuat tarik (MPa)	Elongasi (%)	Modulus Young (MPa)
5%	0,610	1,833	0,33
10%	1,907	3,667	0,52
15%	3,109	3,333	0,93
20%	0,250	3,306	0,62



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS DIPONEGORO

Unit Pelaksana Teknis (UPT) Laboratorium Terpadu Undip

Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Kota Semarang, Indonesia

Telp/WA: 024-76918147 / 081910013241

Website: <https://labterpadu.undip.ac.id>

E-mail: labterpadu@live.undip.ac.id

CORES-DU_R-7.8 LHU

LAPORAN HASIL UJI (LHU)

No. Seri : 2025 - 0159

Nomor Kode Sampel Uji : (SP25-0304-34-05-1) - (SP25-0304-34-05-3)
Jenis Sampel Uji / Pengujian : Membran/Tensile Strength
Nama Pelanggan : Daffa Azhar Adillah (Tegal)
Tanggal Penerimaan Contoh (jika sesuai) : 11-02-2025
Tanggal Pengambilan Contoh (jika sesuai) : -
Titik Pengambilan Contoh / koordinat : -
Tanggal Pengujian Contoh : 12-02-2025
Trigger : 4,5 g
Defl : 60 mm
Speed : 1,0 mm/s

No.	Nama Sampel Uji	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	Deformasi (mm)	Force		Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)
							gram	newton		
1.	SP25-0304-34-05-1(PAN 5%)	30	5	0,11	0,55	0,55	34,3	0,336	0,610	1,833
2.	SP25-0304-34-05-2 (PAN 10%)	30	5	0,11	0,55	1,10	107,0	1,049	1,907	3,667
3.	SP 25-0304-34-05-3(PAN 15%)	30	5	0,11	0,55	1,00	174,5	1,710	3,109	3,333

2. Membran PAN-ZnO

PAN-ZnO	Kuat Tarik (MPa)	Elongasi (%)	Modulus Young (MPa)
0,1%	0,185	1,098	0,01
0,3%	0,623	1,894	0,07
0,5 %	4,272	5,000	0,85
1 %	3,953	4,500	0,87
1,5 %	3,321	4,000	0,83



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN
TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
Unit Pelaksana Teknis (UPT) Laboratorium Terpadu Undip
Jl. Prof. H. Soedarmo SH, Tembung, Kota Semarang, Indonesia
Telp/WA: 024-76918147 / 081910013241
Website: <https://labterpadu.undip.ac.id>
E-mail: labterpadu@live.undip.ac.id

CORES-DU_R-7.8 LHU

LAPORAN HASIL UJI (LHU)
No. Seri : 2025 - 0259

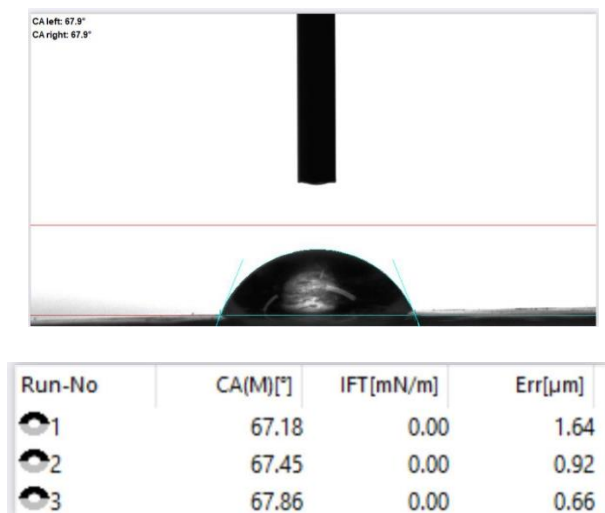
Nomor Kode Sampel Uji : (SP25-0371-34-05-1) - (SP25-0371-34-05-3)
Jenis Sampel Uji / Pengujian : Membran/Tensile Strength
Nama Pelanggan : Daffa Azhar Adillah (Jl. KH. Umar Asmawi rt 03/01, Kebasen)
Tanggal Penerimaan Contoh (jika sesuai) : 26-02-2025
Tanggal Pengambilan Contoh (jika sesuai) : -
Titik Pengambilan Contoh / koordinat : -
Tanggal Pengujian Contoh : 27-02-2025
Trigger : 4,5 g
Defl : 60 mm
Speed : 1,0 mm/s

No.	Nama Sampel Uji	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	Deformasi (mm)	Force		Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)
							gram	newton		
1.	SP25-0371-34-05-1 (PAN-ZnO 0,5%)	30	5	0,11	0,55	1,50	239,8	2,350	4,272	5,000
2.	SP25-0371-34-05-2 (PAN-ZnO 1%)	30	5	0,12	0,60	1,35	242,0	2,372	3,953	4,500
3.	SP25-0371-34-05-3 (PAN-ZnO 1,5%)	30	5	0,13	0,65	1,20	191,3	1,874	3,321	4,000

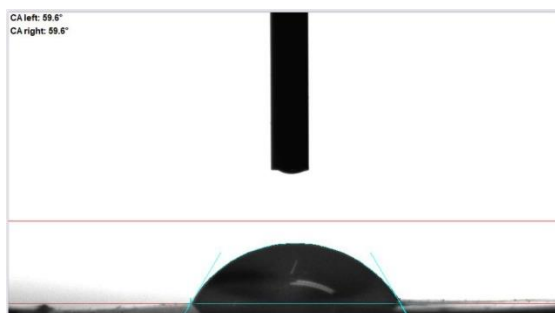
Lampiran 6 : Hasil uji sudut kontak

Membran	Sudut Kontak (°)
PAN	67,9
PAN-ZnO 0,5%	59,6
PAN-ZnO 1%	52,7
PAN-ZnO 1,5%	49,8

1. Membran PAN

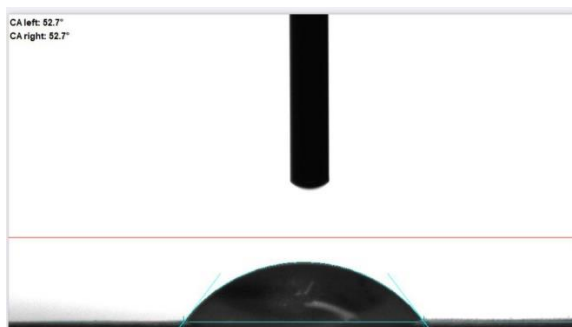


2. Membran PAN-ZnO 0,5%



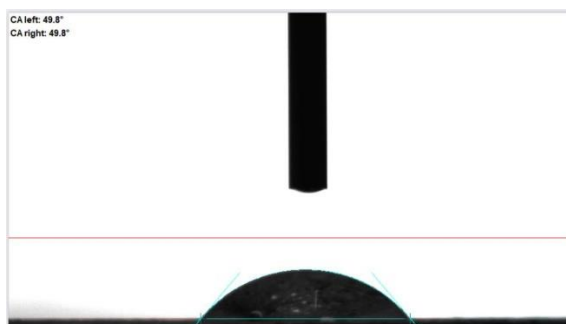
Run-No	CA(M)[°]	IFT[mN/m]	Err[μm]
 1	58.96	0.00	1.64
 2	59.16	0.00	1.57
 3	59.60	0.00	1.20

3. Membran PAN-ZnO 1%



Run-No	CA(M)[°]	IFT[mN/m]	Err[μm]
 1	52.71	0.00	0.56
 2	52.74	0.00	0.65
 3	53.02	0.00	0.33

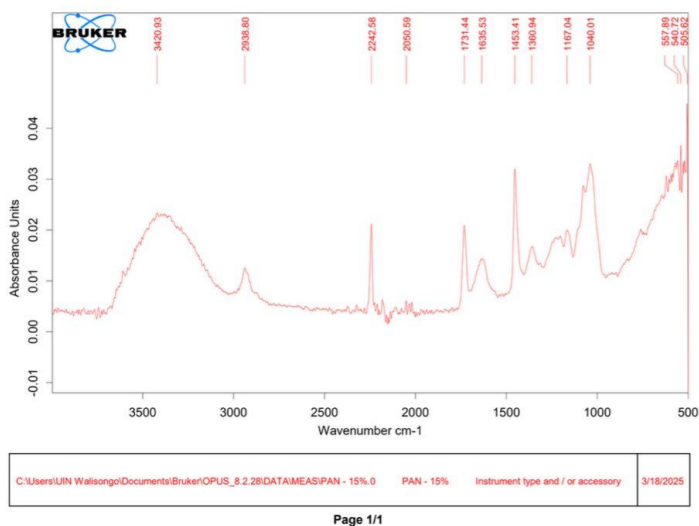
4. Membran PAN-ZnO 1,5%



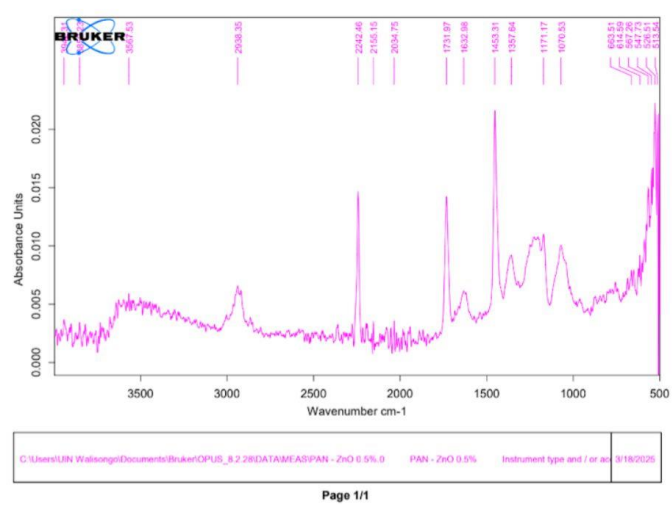
Run-No	CA(M)[°]	IFT[mN/m]	Err[μm]
1	48.95	0.00	0.61
2	49.15	0.00	0.73
3	49.82	0.00	0.87

Lampiran 7 : Hasil uji FTIR

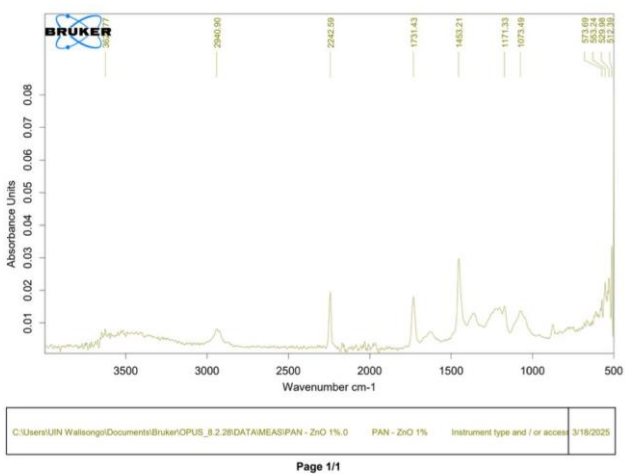
1. Membran PAN 15%



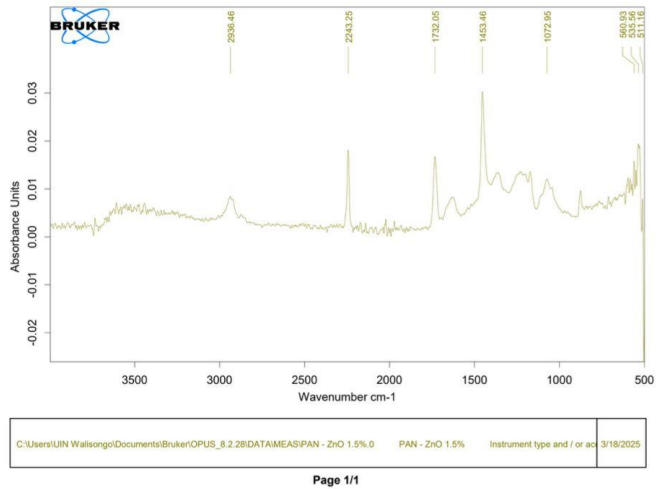
2. Membran PAN-ZnO 0,5%



3. Membran PAN-ZnO 1%



4. Membran PAN-ZnO 1,5%



Lampiran 8 : Perhitungan fluks membran

Perhitungan fluks menggunakan rumus :

$$J = \frac{v}{A \times t}$$

Dengan : J = nilai fluks (L/m².jam)

A = Luas permukaan (m².)

V = Volume permeat (L)

t = Waktu (Jam)

Diketahui :

$$t = 30 \text{ menit} = 0,5 \text{ jam}$$

$$\text{Diameter membran (d)} = 4,0 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$$

$$\text{Jari-jari membran (r)} = 0,02 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} A &= \pi r^2 \\ &= 3,14 \times (0,02)^2 \\ &= 3,14 \times 0,004 \\ &= 0,001256 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

➤ Membran PAN

$$\text{Volume permeat} = 12 \text{ mL} = 0,012 \text{ L}$$

$$\begin{aligned} J &= \frac{0,012}{0,001256 \times 0,5} \\ &= 4,777 \text{ L/m}^2.\text{jam} \end{aligned}$$

➤ Membran PAN-ZnO 0,5%

$$\text{Volume permeat} = 27,5 \text{ mL} = 0,0275 \text{ L}$$

$$\begin{aligned} J &= \frac{0,0275}{0,001256 \times 0,5} \\ &= 10,947 \text{ L/m}^2.\text{jam} \end{aligned}$$

➤ Membran PAN-ZnO 1%

$$\text{Volume permeat} = 23 \text{ mL} = 0,023 \text{ L}$$

$$\begin{aligned} J &= \frac{0,023}{0,001256 \times 0,5} \\ &= 9,156 \text{ L/m}^2.\text{jam} \end{aligned}$$

➤ Membran PAN-ZnO 1,5 %

Volume permeat = 17 mL = 0,017 L

$$J = \frac{0,017}{0,001256 \times 0,5}$$

$$= 6,767 \text{ L/m}^2.\text{jam}$$

Membran	Volume Permeat (L)	Luas permukaan (m ²)	Waktu (Jam)	Fluks L/m ² .jam
PAN 15%	0,012	0,001256	0,5	4,777
PAN-ZnO 0,5%	0,0275	0,001256	0,5	10,947
PAN-ZnO 1%	0,023	0,001256	0,5	9,156
PAN-ZnO 1,5%	0,017	0,001256	0,5	6,767

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

1. Pembuatan Larutan baku Cu^{2+} 1000 ppm

$$\text{Mr CuSO}_4 = 160 \text{ g/mol}$$

$$\text{Ar Cu} = 63,5 \text{ g/mol}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa CuSO}_4 &= \frac{\text{Mr CuSO}_4}{\text{Ar Cu}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1000 \text{ mL}} \times \frac{100 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} \\ &= \frac{331,2 \text{ g/mol}}{207 \text{ g/mol}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1000 \text{ mL}} \times \frac{100 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} \\ &= 251 \text{ mg} \\ &= 0,251 \text{ gram}\end{aligned}$$

2. Pembuatan Larutan Standar

➤ 10 ppm

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

$$V_1 \cdot 1000 \text{ ppm} = 1000 \text{ mL} \cdot 10 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$

3. Pembuatan Kurva Standar

➤ Konsentrasi 2 mg/L

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

$$25 \text{ mL} \cdot 2 \text{ ppm} = V_2 \cdot 10 \text{ ppm}$$

$$\frac{25 \text{ mL} \cdot 2 \text{ ppm}}{10 \text{ ppm}} = V_2$$

$$5 \text{ mL} = V_2$$

- Konsentrasi 4 mg/L

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

$$25 \text{ mL} \cdot 4 \text{ ppm} = V_2 \cdot 10 \text{ ppm}$$

$$\frac{25 \text{ mL} \cdot 4 \text{ ppm}}{10 \text{ ppm}} = V_2$$

$$10 \text{ mL} = V_2$$

- Konsentrasi 6 mg/L

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

$$25 \text{ mL} \cdot 6 \text{ ppm} = V_2 \cdot 10 \text{ ppm}$$

$$\frac{25 \text{ mL} \cdot 6 \text{ ppm}}{10 \text{ ppm}} = V_2$$

$$15 \text{ mL} = V_2$$

- Konsentrasi 8 mg/L

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

$$25 \text{ mL} \cdot 8 \text{ ppm} = V_2 \cdot 10 \text{ ppm}$$

$$\frac{25 \text{ mL} \cdot 8 \text{ ppm}}{10 \text{ ppm}} = V_2$$

$$20 \text{ mL} = V_2$$

- Konsentrasi 10 mg/L

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

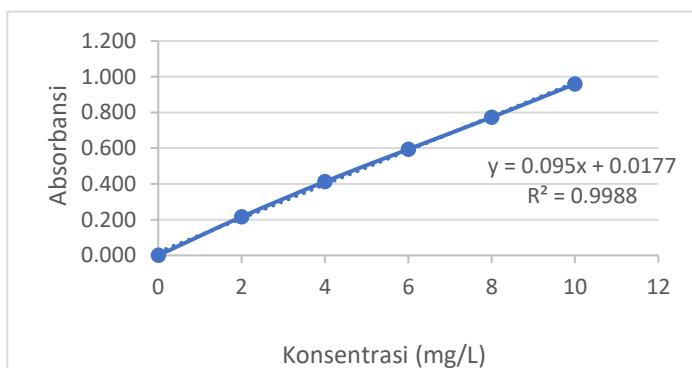
$$25 \text{ mL} \cdot 10 \text{ ppm} = V_2 \cdot 10 \text{ ppm}$$

$$\frac{25 \text{ mL} \cdot 10 \text{ ppm}}{10 \text{ ppm}} = V_2$$

$$25 \text{ mL} = V_2$$

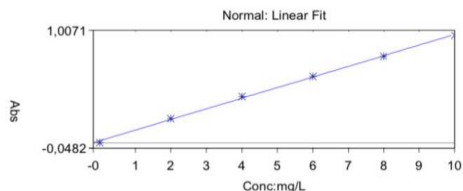
Lampiran 10 : Kurva standar

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi
0	0
2	0,216
4	0,413
6	0,594
8	0,773
10	0,959



Solution Results - Cu

Y = 0,09500x + 0,0174
Fit: 0,9988
Characteristic Conc: 0,0463



Sample ID	Signal	Rsd	Conc	Corrected Conc
	Abs	%	mg/L	mg/L
Cu Blank	-0,000	>99	0,0000	
1	0,000	Background: -0,001		20/03/2025 11:14:15
2	-0,000	Background: 0,000		20/03/2025 11:14:19
3	-0,001	Background: 0,000		20/03/2025 11:14:23
Cu Standard 1	0,216	0,4	2,0000	
1	0,216	Background: 0,003		20/03/2025 11:14:44
2	0,216	Background: 0,003		20/03/2025 11:14:48
3	0,215	Background: 0,003		20/03/2025 11:14:53
Cu Standard 2	0,413	0,2	4,0000	
1	0,412	Background: 0,004		20/03/2025 11:15:16
2	0,413	Background: 0,005		20/03/2025 11:15:20
3	0,414	Background: 0,005		20/03/2025 11:15:24
Cu Standard 3	0,594	0,6	6,0000	
1	0,590	Background: 0,005		20/03/2025 11:15:44
2	0,597	Background: 0,005		20/03/2025 11:15:48
3	0,594	Background: 0,005		20/03/2025 11:15:52
Cu Standard 4	0,773	0,5	8,0000	
1	0,772	Background: 0,005		20/03/2025 11:16:12
2	0,770	Background: 0,006		20/03/2025 11:16:16
3	0,777	Background: 0,006		20/03/2025 11:16:20
Cu Standard 5	0,959	0,1	10,0000	
1	0,958	Background: 0,006		20/03/2025 11:16:46
2	0,960	Background: 0,007		20/03/2025 11:16:50
3	0,959	Background: 0,007		20/03/2025 11:16:55

Lampiran 11 : Perhitungan ion logam Cu²⁺ hasil filtrasi

Membran	Absorbansi
PAN	0,516
PAN-ZnO 0,5%	0,480
PAN-ZnO 1%	0,486

PAN-ZnO 1,5%	0,500
--------------	-------

➤ Membran PAN

Absorbansi : 0,516

$$y = 0,095x + 0,01777$$

$$0,516 = 0,095x + 0,01777$$

$$0,53377 = 0,095x$$

$$X = \frac{0,53377}{0,095}$$

$$X = 5,618 \text{ mg/L}$$

Konsentrasi akhir : 5,618 mg/L

➤ Membran PAN-ZnO 0,5%

Absorbansi = 0,480

$$y = 0,095x + 0,01777$$

$$0,480 = 0,095x + 0,01777$$

$$0,49777 = 0,095x$$

$$X = \frac{0,49777}{0,095}$$

$$X = 5,239 \text{ mg/L}$$

Konsentrasi akhir : 5,239 mg/L

➤ Membran PAN-ZnO 1%

Absorbansi = 0,486

$$y = 0,095x + 0,01777$$

$$0,486 = 0,095x + 0,01777$$

$$0,50377 = 0,095x$$

$$X = \frac{0,50377}{0,095}$$

$$X = 5,302 \text{ mg/L}$$

Konsentrasi akhir : 5,302 mg/L

➤ Membran PAN-ZnO 1,5%

$$\text{Absorbansi} = 0,500$$

$$y = 0,095x + 0,01777$$

$$0,500 = 0,095x + 0,01777$$

$$0,51777 = 0,095x$$

$$X = \frac{0,51777}{0,095}$$

$$X = 5,450 \text{ mg/L}$$

Konsentrasi akhir : 5,450 mg/L

Lampiran 12 : Perhitungan persen rejeksi membran

Perhitungan persen rejeksi membran menggunakan rumus :

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

Dengan

R = koefisien rejeksi (%)

C_p = Konsentrasi zat terlarut dalam permeat

C_f = Konsentrasi zat terlarut dalam umpan

➤ Membran PAN

$$\begin{aligned}\%R &= \left(1 - \frac{C_p}{C_f} \right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{5,618}{9,629} \right) \times 100\% \\ &= 41,65 \%\end{aligned}$$

➤ Membran PAN-ZnO 0,5%

$$\begin{aligned}\%R &= \left(1 - \frac{C_p}{C_f} \right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{5,239}{9,629} \right) \times 100\% \\ &= 45,55 \%\end{aligned}$$

➤ Membran PAN-ZnO 1%

$$\begin{aligned}\%R &= \left(1 - \frac{C_p}{C_f} \right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{5,302}{9,629} \right) \times 100\% \\ &= 44,93 \%\end{aligned}$$

➤ Membran PAN-ZnO 1,5%

$$\begin{aligned}\%R &= \left(1 - \frac{C_p}{C_f} \right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{5,450}{9,629} \right) \times 100\% \\ &= 43,40 \%\end{aligned}$$

Membran	Konsentrasi awal ion Cu ²⁺ (mg/L)	Konsentrasi Akhir ion Cu ²⁺ (mg/L)	Rejeksi
PAN 15%	9,629	5,618	41,65 %
PAN-ZnO 0,5%	9,629	5,239	45,55%
PAN-ZnO 1%	9,629	5,302	44,93%
PAN-ZnO 1,5%	9,629	5,450	43,40%

Lampiran 13 : Dokumentasi pembuatan membran



Penimbangan PAN



Stirrer PAN + ZnO



Membran pada Bak
Koagulasi



Proses pelepasan
membran dari plat kaca

Lampiran 14 : Dokumentasi proses filtrasi membran



Alat filtrasi



Membran dalam alat filtrasi



Proses filtrasi



Limbah hasil filtrasi

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

Nama Lengkap : Daffa Azhar Adillah
Tempat, Tgl Lahir : Tegal, 07 Juni 2003
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Alamat : Jl. KH. Umar Asnawi rt 03/01, Desa
Kebasen, Kec. Talang, Kab. Tegal.
Nomor HP : 081914363131
Email : daffaazharadillah76@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan Formal

1. SDN 01 Kebasen : 2009-2015
2. MTsN 01 Tegal : 2015-2018
3. MAN 01 Tegal : 2018-2021
4. UIN Walisongo Semarang : 2021-2025