

**PENURUNAN KADAR ION LOGAM Fe³⁺
MENGUNAKAN MEMBRAN NILON-CaO**

SKRIPSI

Disusun untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains
dalam Ilmu Kimia



Oleh : **Krisna Yudha Syahputra**

NIM : 1908036019

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

**PENURUNAN KADAR ION LOGAM Fe³⁺
MENGUNAKAN MEMBRAN NILON-CaO**

SKRIPSI

Oleh

Krisna Yudha Syahputra

1908036019

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

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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Krisna Yudha Syahputra
NIM : 1908036019
Progam Studi : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini yang berjudul:

PENURUNAN KADAR ION LOGAM Fe³⁺ MENGUNAKAN MEMBRAN NILON-CaO

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

Semarang, 16 Mei 2023

Pembuat
Pernyataan,



Krisna Yudha Syahputra
NIM. 1908036019

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : Penurunan Kadar Ion Logam Fe^{3+}
Menggunakan Membran Nilon-CaO

Penulis : Krisna Yudha Syahputra

NIM : 1908036019

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, 06 Juni 2023

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang,

Mulyatun, M.Si

NIP : 198305042011012000

Sekretaris Sidang,

Dyah Fitasari, M.Si

NIP : 198501022019032017

Penguji I,

Dr. Eng Anissa Adiwena Putri,
M. Sc

NIP : 198504052011012015

Penguji II,

Wirda Udaibah, M.Si

NIP : 198501042009122003



Pembimbing I,

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

NIP : 198304152009122006

NOTA DINAS

Semarang, 16 Mei 2023

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

Assalamu'alaikum wr. wb.

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

Judul : Penurunan Kadar Ion Logam Fe^{3+}
Menggunakan Membran Nilon-CaO

Penulis : **Krisna Yudha Syahputra**

NIM : 1908036019

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqasyah.

Wassalamu'alaikum wr, wb.

Pembimbing I,



Dr. Malikhatul Hidayah, M. Pd

NIP. 198304152009122006

ABSTRAK

Judul : **Penurunan Kadar Ion Logam Fe³⁺ Menggunakan Membran Nilon-CaO**

Nama : Krisna Yudha Syahputra

NIM : 1908036019

Cangkang telur bebek dapat dimanfaatkan untuk pembuatan CaO. Pengambilan CaO dari cangkang telur bebek dilakukan dengan metode kalsinasi pada suhu 900°C selama 3 jam. Pembuatan membran dengan polimer nilon dilakukan menggunakan metode inversi fasa yang ditambahkan variasi CaO 0%, 10%, 20%, dan 30% b/b pada membran. Analisis FT-IR membran nilon-CaO memiliki serapan C-H₂ dan Ca-O pada bilangan gelombang sekitar 2934 cm⁻¹ dan 444 cm⁻¹. Hasil uji tarik membran nilon-CaO 0%, 10%, 20%, dan 30% b/b mengalami penurunan. Analisis SEM-EDX-*mapping* menunjukkan membran nilon-CaO 0% b/b memiliki ukuran permukaan pori 1,85 µm dan membran nilon-CaO 30% b/b memiliki ukuran permukaan pori 2,77 µm dengan unsur Ca 0,46% massa yang tersebar dalam membran. Penambahan CaO 0%, 10%, 20%, dan 30% b/b pada membran meningkatkan nilai fluks hingga 147,29 L/m².jam dan meningkatkan koefisien rejeksi terhadap kadar ion logam Fe³⁺ hingga 99,58%.

Kata kunci: Membran, Nilon-CaO, Ion logam Fe³⁺

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini sebagaimana mestinya. Shalawat serta salam selalu tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW.

Skripsi dengan judul **“PENURUNAN KADAR ION LOGAM Fe³⁺ MENGGUNAKAN MEMBRAN NILON-CaO”** disusun untuk memenuhi syarat guna memperoleh gelar sarjana sains dalam Ilmu Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.

Penulis menyadari bahwa dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi tentunya tidak lepas dari dukungan, arahan, bimbingan, serta motivasi dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. H. Ismail, M. Ag, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
2. Dr. Malikhatul Hidayah, S. T., M. Pd, selaku Ketua Progam Studi Kimia UIN Walisongo Semarang dan dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu,

tenaga dan pikiran dalam memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis.

3. Mulyatun, M. Si, selaku Sekretaris Progam Studi Kimia UIN Walisongo Semarang yang senantiasa memberikan bimbingan, dukungan, serta motivasi kepada penulis selama belajar di UIN Walisongo.
4. Dyah Fitasari, M. Si, selaku dosen Wali yang senantiasa memberikan bimbingan, dukungan, serta motivasi kepada penulis selama belajar di UIN Walisongo.
5. Segenap Bapak dan Ibu Dosen Kimia yang sudah memberikan ilmu, pengetahuan, pengalaman, motivasi, dan pelajaran berharga bagi penulis.
6. Ibu Anita Karunia Z, S. Si, Ahmad Mughis, S. Pd. I, dan segenap asisten laboratorium kimia, yang telah berbagi pengalaman berharga bagi penulis selama penulis beraktivitas dan belajar sebagai asisten di Laboratorium Kimia UIN Walisongo.
7. Bapak Eko Putranto (Alm) dan Ibu Suprih Hartini, selaku orang tua kandung penulis yang selalu memberi dukungan dan motivasi terutama kasih sayang serta do'a disetiap harinya.
8. Fisca Meita L., Reyhan Yanuar S., dan Ganendra Bagus P.S selaku adik-adik kandung penulis yang selalu memberikan semangat kepada penulis

9. Teman-teman mahasiswa Kimia khususnya angkatan 2019 yang telah memberikan pengalaman selama penulis berproses di UIN Walisongo.
10. Semua pihak yang telah memberikan kontribusi dan dukungan yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Penulis menyadari bahwa pengetahuan yang penulis miliki masih kurang sehingga skripsi ini masih jauh dari kata kesempurnaan. Oleh, karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak guna untuk memperbaiki dan penyempurnakan pada penulisan berikutnya. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat, *Amin Ya Rabbal 'Alamin.*

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Semarang, 16 Mei 2023

Penulis



Krisna Yudha Syahputra

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	i
PENGESAHAN	iii
NOTA DINAS	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian	8
D. Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
A. Kajian Teori.....	9
1. Ion Besi(III) [Fe^{3+}]	9
2. Membran.....	12
3. Nilon	17
4. Kalsium Oksida (CaO)	19
5. Filtrasi	21

6.	<i>Universal Testing Machine</i> (Uji tarik).....	26
7.	<i>Scanning Electron Microscopy – EDX-mapping</i> (SEM-EDX-mapping).....	28
8.	<i>Fourier-Transform Infrared</i> (FT-IR).....	30
9.	<i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i> (AAS).....	32
B.	Kajian Pustaka	33
C.	Hipotesis	36
BAB III METODE PENELITIAN		37
A.	Alat dan Bahan.....	37
1.	Alat.....	37
2.	Bahan.....	37
B.	Langkah Kerja.....	38
1.	Karakterisasi CaO dari Cangkang Telur Bebek	38
2.	Pembuatan Membran.....	38
3.	Karakterisasi Membran	40
4.	Aplikasi Membran Nilon-CaO	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		44
A.	Karakterisasi CaO dari Cangkang Telur Bebek	44
B.	Pembuatan Membran.....	48
1.	Pembuatan Membran Nilon.....	48
2.	Pembuatan Membran Nilon-CaO	50
C.	Karakterisasi Membran	52
1.	Karakterisasi gugus fungsi membran menggunakan FT-IR.....	52
2.	Uji tarik membran	55

3.	Karakterisasi kandungan dan morfologi membran menggunakan SEM-EDX- <i>Mapping</i>	57
D.	Aplikasi Membran untuk Pengurangan Kadar Ion Logam Fe ³⁺	61
1.	Uji fluks membran	62
2.	Uji rejeksi membran.....	63
BAB V PENUTUP.....		65
A.	Kesimpulan	65
B.	Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA		67
LAMPIRAN.....		79

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Baku mutu Fe ³⁺ dalam air	12
Tabel 2.2	Perbedaan jenis filtrasi membran	17
Tabel 2.3	Sifat membran nilon	19
Tabel 2.4	Komposisi kimia cangkang telur	20
Tabel 2.5	Kisaran nilai fluks membran	26
Tabel 2.6	Frekuensi regangan inframerah	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Membran	13
Gambar 2.2	Skema metode inversi fasa	15
Gambar 2.3	Struktur nilon	19
Gambar 2.4	Struktur CaO	21
Gambar 2.5	Pemisahan <i>dead-end</i>	23
Gambar 2.6	Pemisahan <i>cross-flow</i>	24
Gambar 2.7	Skema pengujian kuat tarik	27
Gambar 2.8	SEM-EDX membran nilon	29
Gambar 2.9	Spektra FT-IR membran nilon	32
Gambar 2.10	Diagram skema AAS	33
Gambar 4.1	CaO dari cangkang telur bebek	45
Gambar 4.2	Spektra FT-IR CaO cangkang telur bebek	46
Gambar 4.3	Skema pembuatan membran nilon	48
Gambar 4.4	Membran nilon	50
Gambar 4.5	Skema pembuatan membran nilon-CaO	50
Gambar 4.6	Membran nilon-CaO	52
Gambar 4.7	Spektra FT-IR (a) CaO (b) nilon (c) membran nilon-CaO 10% (d) membran nilon-CaO 20% (e) membran nilon-CaO 30%	53
Gambar 4.8	Grafik pengaruh konsentrasi nilon terhadap uji tarik membran	55
Gambar 4.9	Grafik pengaruh konsentrasi CaO terhadap uji tarik membran nilon-CaO	56

Gambar 4.10	Perbesaran morfologi SEM 5000 kali membran nilon-CaO (a) 0% dan (b) 30%	58
Gambar 4.11	Analisis EDX membran nilon-CaO (a) 0% dan (b) 30%	59
Gambar 4.12	Analisis mapping membran nilon-CaO (a) 0% dan (b) 30%	60
Gambar 4.13	Skema reaktor membran aliran <i>cross-flow</i>	61
Gambar 4.14	Grafik pengaruh konsentrasi CaO terhadap fluks membran	62
Gambar 4.15	Grafik pengaruh konsentrasi CaO terhadap rejeksi membran	64

DAFTAR LAMPIRAN

		Halaman
Lampiran 1	Skema kerja	79
Lampiran 2	Analisis data	84
Lampiran 3	Dokumentasi	92
Lampiran 4	Kurva kalibrasi	95
Lampiran 5	Data pengukuran diameter permukaan pori membran dengan Image-J	95

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Limbah yang berasal dari logam berat menjadi hal yang dikhawatirkan bagi lingkungan dan kesehatan dalam masyarakat karena semakin banyak jumlah logam yang terlepas ke lingkungan disebabkan oleh aktivitas manusia (Ceribasi & Yetis, 2013). Keberadaan logam berat seperti Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, dan Zn dalam lingkungan yang melebihi ambang batas dapat membahayakan makhluk hidup. Salah satu ion logam yang terdapat dalam logam berat yaitu ion logam Fe^{3+} . Ion logam Fe^{3+} dapat menyebabkan kekeruhan, korosi, dan dampak lainnya. Industri pabrik kimia, listrik, elektronik, logam, penyepuhan elektro (*electroplating*), cat, dan bahan pewarna merupakan penghasil limbah yang mengandung ion logam Fe^{3+} , maka dari itu harus dilakukan pengolahan (Karim *et al.*, 2017).

Pengolahan air limbah perlu dilakukan untuk menjaga kelestarian lingkungan, seperti yang dijelaskan dalam Q.S Al-A'raf : 56

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

Artinya : “Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah (diciptakan) dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat kepada orang yang berbuat kebaikan”. Berdasarkan ayat di atas yang dimaksud adalah manusia di bumi ini dilarang untuk melakukan perbuatan yang merusak bumi, tetapi melakukan kegiatan sebaliknya yaitu menjaga bumi. Salah satu cara untuk melindungi bumi dengan melakukan pengolahan limbah, hal ini dilakukan karena banyaknya kandungan logam dalam limbah yang dapat mencemari lingkungan, salah satunya ion logam Fe^{3+} sehingga perlu proses pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan perairan (Kementrian Agama RI, 2015).

Radikal bebas dalam tubuh dapat disebabkan oleh berlebihnya kadar ion logam Fe^{3+} di dalam tubuh. Kelebihan ion logam Fe^{3+} pada tubuh juga dapat berasal dari obat atau makanan yang tercemar zat besi (Fe) sehingga menyebabkan toksisitas sampai kematian. Toksisitas ditandai dengan gejala *hematemesis* (muntah

darah), *sirosis* (kerusakan hati), dan *chronic kidney disease* (gagal ginjal) (Widowati, 2008). Ambang batas ion logam Fe^{3+} dalam air bersih sebesar 1,0 mg/L dan 5 mg/L pada limbah cair (Menkes, 2017; PERMENLHK, 2022). Berbagai metode yang telah dikembangkan untuk menurunkan kadar ion logam Fe^{3+} dari air limbah seperti melalui reaksi oksidasi, reduksi (Kurniawan *et al.*, 2020), ekstraksi pelarut (Pote *et al.*, 2013), elektrolisis (Yonhly *et al.*, 2020), osmosis (Sari *et al.*, 2018), pertukaran ion (Mulyono *et al.*, 2020), fotokatalisis (Nurillahi *et al.*, 2020), adsorpsi (Fitriyah *et al.*, 2022) dan penggunaan membran (Lubis *et al.*, 2022).

Membran merupakan lapisan tipis penghubung dua fasa cairan (fasa umpan dan fasa permeat) dan bertindak sebagai penghalang (*barrier*) untuk spesi tertentu. Berdasarkan karakteristik fisik dan kimianya, membran dapat memisahkan zat dengan ukuran berbeda dan membatasi perpindahan antar zat. Beberapa keunggulan dari teknologi membran yaitu pembuatan membran menggunakan suhu kamar, bervariasi sifatnya, dan mudah diaplikasikan. Selain itu, membran bersifat sebagai *clean technology* di mana membran tidak

menghasilkan limbah baru setelah digunakan dan dapat digunakan kembali (Alawiyah, 2017).

Membran dibuat menggunakan bahan dasar polimer. Polimer yang banyak digunakan dalam pembuatan membran seperti polisulfon, polietersulfon, polikarbonat, polivinil fluorid, poliamida, selulosa asetat dan sebagainya. Nilon sering digunakan dalam fabrikasi membran. Nilon digunakan karena tersusun dari ikatan amida yang membuat sifatnya kuat, ringan, memiliki rentang pH 1 - 14 dan dapat bertahan pada suhu tinggi (Azizo *et al.*, 2017). Membran nilon juga memiliki sifat mekanik baik, ukuran pori besar, dan bersifat hidrofilik sehingga dapat digunakan untuk pengolahan air. Namun, membran nilon memiliki kelemahan yaitu mudah mengalami *fouling*. *Fouling* terjadi karena adanya penyumbatan partikel pada permukaan membran sehingga mengganggu kinerja membran saat proses filtrasi logam (Liu *et al.*, 2019).

Menurut Syakir (2014), membran nilon dapat digunakan untuk mengurangi konsentrasi logam Pb sampai 56,51 %. Penelitian Fauzia *et al.* (2018) dihasilkan bahwa penggunaan membran nilon 4,5 gram dan 6 gram menghasilkan nilai fluks 120 L/m².jam dan 25 L/m².jam,

sedangkan nilai koefisien rejeksi sebesar 58,86% dan 93,81%. Hal sama juga dilakukan Maulina *et al.* (2019) penggunaan membran nilon/TiO₂ 10%, 20%, 30%, dan 40% b/b menghasilkan nilai fluks terbesar 128,62 L/m².jam tetapi terjadi penurunan kinerja membran pada membran nilon/TiO₂ 40% b/b. Penelitian yang sama dilakukan Fanani *et al.* (2014) menghasilkan uji tarik membran nilon 20% b/v dan 60% b/v sebesar 0,73 MPa dan 9,22 MPa. Hal yang sama juga dilakukan Syakir (2014) dengan penggunaan membran nilon 6,5 gram dapat menurunkan konsentrasi logam Pb dalam air mencapai 56,51 %

Pembuatan membran dapat dilakukan dengan berbagai metode di antaranya metode *track etching*, inversi fasa, dan *sintering*. Menurut Huang *et al.* (2019), pembuatan membran menggunakan metode inversi fasa memiliki kelebihan yaitu prosesnya sederhana dan biaya yang dibutuhkan sedikit. Penambahan kalsium oksida (CaO) dalam fabrikasi membran dapat mencegah terjadinya *fouling* dan meningkatkan fungsi membran dalam pengolahan air. Hal ini disebabkan karena CaO memiliki pori yang besar dan bersifat polar sehingga

dapat mengikat ion logam dalam air (Saswita & Setiani, 2018).

CaO dapat disintesis dari cangkang telur bebek. Cangkang telur bebek tergolong limbah yang tersusun dari 94% CaCO_3 , 1% MgCO_3 , 1% kalsium fosfor dan 4% protein (Aminah *et al.*, 2016). Tingginya kadar CaCO_3 pada cangkang telur bebek dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembentukan CaO dengan proses kalsinasi (Zahara *et al.*, 2020). Terbentuknya oksida logam dipengaruhi oleh tingginya suhu kalsinasi pada proses kalsinasi. Cangkang telur memiliki 7.000 - 17.000 pori dan luas permukaan yang besar, sehingga penggunaan cangkang telur bebek menjadi cara untuk mengurangi limbah dan meningkatkan nilai ekonomis cangkang telur (Muhammad *et al.*, 2020).

Menurut Saswita *et al.* (2018), penggunaan CaO sebagai adsorben dalam pengolahan limbah cair dapat mengurangi konsentrasi ion logam besi(III) sebanyak 40%. Alhanif *et al.* (2018) penggunaan PES/CaO 20% b/b yang menghasilkan membran dengan distribusi ukuran pori yang seragam antara 0,1 - 1 μm dan kandungan CaO aktif sebesar 33,45% dalam membran. Saswita *et al.* (2018) penggunaan CaO dari cangkang telur sebagai

adsorben dalam limbah cair dapat menghasilkan pengurangan ion logam besi(III) sebanyak 40%.

Li *et al.* (2023) melakukan fabrikasi membran dengan penggunaan CaO 0,04 gram dapat menghasilkan membrane dengan nilai fluks 82% yang ditandai dengan sedikitnya *fouling* pada membran. Jannah *et al.* (2020) penggunaan CaO sebanyak 0,04 gram sebagai adsorben untuk mengurangi kadar ion logam besi(III) menghasilkan keefektifan sebesar 47,06%.

Berdasarkan referensi di atas, penelitian ini memiliki kebaruan yang dirumuskan sebagai permasalahan yaitu pembuatan membran nilon-CaO untuk pengurangan konsentrasi ion logam Fe^{3+} . Selain itu juga memvariasikan penggunaan bahan CaO pada pembuatan membran untuk mengetahui kinerja terbaik pada membran.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakter membran nilon dan nilon-CaO 10%, 20%, dan 30% b/b dilihat dari gugus fungsi, uji tarik, dan morfologi?
2. Bagaimana pengaruh penambahan CaO dalam membran nilon terhadap kemampuannya dalam menyerap ion logam Fe^{3+} ?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui karakter membran nilon dan nilon-CaO 10%, 20%, dan 30% b/b dilihat dari gugus fungsi, uji tarik, dan morfologi.
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan CaO dalam membran nilon terhadap kemampuannya dalam menyerap ion logam Fe^{3+} .

D. Manfaat Penelitian

1. Dapat mengetahui sintesis membran nilon-CaO 10%, 20%, dan 30% b/b.
2. Dapat mengetahui kemampuan membran nilon dan nilon-CaO 10%, 20%, dan 30% b/b dalam mengurangi kadar ion logam Fe^{3+} .
3. Dapat mengetahui keefektifan membran nilon-CaO untuk limbah ion logam Fe^{3+} .

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Ion Besi(III) [Fe³⁺]

Besi dalam bentuk larutan dapat menjadi spesi garam ferro (Fe²⁺) atau garam ferri (Fe³⁺); yang tersuspensi menjadi butiran dengan diameter <1 mm. Contohnya yaitu Fe(OH)₃ yang bergabung dengan zat organik maupun zat anorganik (Said, 2003). Fe³⁺ merupakan unsur mikro yang berguna dalam tubuh seperti pembentukan hemoglobin dalam darah. Meskipun tubuh membutuhkan Fe³⁺, namun Fe³⁺ dapat menyebabkan cedera pada dinding usus dalam penggunaan dosis yang tinggi. Adanya Fe³⁺ dalam *alveolus* juga dapat mengakibatkan berkurangnya fungsi paru-paru (Murraya *et al.*, 2018).

Ion logam Fe³⁺ yang berlebihan cenderung menimbulkan dampak kesehatan yang kurang baik, seperti kerusakan jaringan akibat pembentukan Fe³⁺ yang disebut *hemokromatosis* di dalam tubuh. Akumulasi Fe³⁺ di hati, limpa, jantung diamati pada pasien dengan *hemokromatosis* (Widowati, 2008).

Penderita *hemokromatosis* berisiko terkena penyakit jantung sampai kanker hati.

Mengonsumsi Fe^{3+} dalam jumlah banyak akan menyebabkan kerusakan langsung pada sistem pencernaan, sehingga terjadi penyerapan zat besi ke dalam aliran darah. Kerusakan sel dapat meluas ke organ lain seperti hati dan jantung bahkan bisa sampai menyebabkan kematian (Widowati, 2008). Karakteristik secara kimia dari besi(III) adalah sifatnya redoks, berbentuk kompleks, dan terjadinya pertukaran besi pada fase padat dan fase cair di dalam besi karbonat, hidroksida, dan sulfida (Achmad, 2004). Menurut Guo *et al.* (2023) penyebab tingginya kadar Fe^{3+} dalam air diantaranya :

a Suhu air

Semakin tinggi suhu dapat menyebabkan meningkatnya derajat korosif.

b Rendahnya pH

$\text{pH} \geq 7$ air termasuk normal dan tidak menyebabkan permasalahan, tetapi jika $\text{pH} \leq 7$ dapat melarutkan logam.

c Gas-gas terlarut dalam air

Gas O_2 , CO_2 , dan H_2S yang berada dalam air dapat menyebabkan sifat korosif.

d Bakteri

Oksidasi besi dalam air dapat digunakan bakteri untuk keberlangsungan hidupnya sebagai makanan, sehingga menyebabkan tingginya kadar besi dalam air.

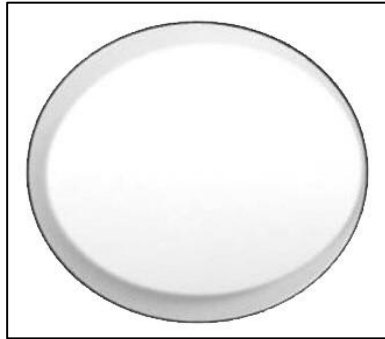
Pencemaran Fe^{3+} dapat terjadi melalui tanah, air, dan udara. Bentuk pencemaran yang paling sering ditemukan yaitu dalam perairan yang ditandai dengan warna air kuning sampai kecoklatan setelah kontak dengan udara (Nuryana *et al.*, 2019). Menurut Karim *et al.* (2017), pencemaran Fe^{3+} dalam air biasanya terjadi karena kegiatan industri logam, penyepuhan elektro (*electroplating*), dan cat. Berikut batas maksimum kadar Fe^{3+} dalam air yang disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Baku mutu Fe³⁺ dalam air (Menkes, 2017; PERMENLHK, 2022)

Jenis air	Batas maksimum (mg/L)
Air bersih	1,0
Air minum	0,3
Air limbah	5,0

2. Membran

Membran adalah lapisan tipis bahan semipermeabel yang digunakan untuk pemisahan zat terlarut (Mulder, 1991). Membran yaitu suatu lapisan tipis (Gambar 2.1) yang dapat memisahkan dua fasa dengan cara menahan komponen tertentu dan melewatkan komponen lainnya melalui pori-pori (Redjeki, 2011). Beberapa metode yang digunakan dalam pembuatan membran dapat berasal dari bahan organik, polimer, maupun anorganik. Menurut Mulder (1991), metode yang umum digunakan untuk membuat membran sebagai berikut:



Gambar 2.1 Membran (Alshahrani *et al.*, 2022)

a. *sintering*

Sintering adalah teknik sederhana untuk membuat membran berpori dari bahan organik seperti polimer (polietilen) dan bahan anorganik seperti logam (*stainless*), keramik (aluminium oksida), grafit (karbon), dan kaca (silika). Pembuatan membran dengan metode ini bergantung pada ukuran dan distribusi partikel padat di mana ukuran pori membran yang dihasilkan adalah 0,1 hingga 10 μm .

b. *stretching*

Membran terdiri dari bahan polimer semikristalin, polipropilena, dan polietilen, yang direntangkan tegak lurus terhadap bidang kompresi. Ukuran pori yang dihasilkan adalah 0,1

- 3 μm melalui proses *stretching* dan memiliki porositas yang besar.

c. *track-etching*

Pembuatan membran dilakukan menggunakan energi radiasi partikel tinggi secara tegak lurus. Penggunaan metode ini akan menghasilkan pantulan partikel pada polimer. Ukuran pori yang dihasilkan adalah 0,02 - 10 μm .

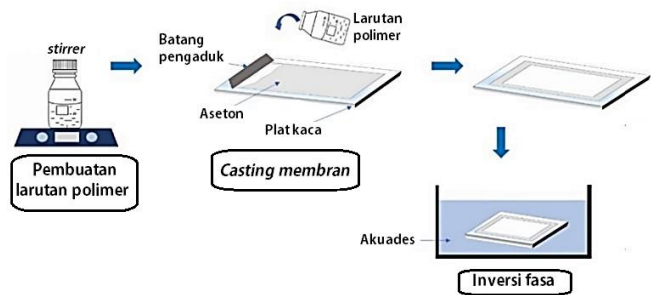
d. *Coating*

Membran dengan cara ini terdiri dari dua bahan komposit berbeda di dalamnya, di mana membran ini memiliki lapisan tipis berpori. Selektivitas dalam membran ditentukan dari lapisan tipis atas dan lapisan bawah sebagai pendukung.

e. *Phase Inversion*

Inversi fasa melalui proses perendaman biasanya banyak digunakan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Polimer ditambah pelarut (larutan polimer) dicetak kemudian direndam dalam bak koagulasi yang mengandung *nonsolvent*. Proses yang terjadi dalam bak koagulasi yaitu adanya pertukaran pelarut dan

nonsolvent sehingga terbentuk membran. Kombinasi pemisahan fasa dan perpindahan massa mempengaruhi struktur membran. Selama proses inversi fasa perendaman, sifat kinetik, dan termodinamika dari larutan polimer merupakan dua aspek kunci yang mempengaruhi morfologi dan sifat membran yang dihasilkan.



Gambar 2.2 Skema metode inversi fasa (Mat Nawi *et al.*, 2020)

Menurut Doran (2013), pembuatan membran yang berpori (*porous*) dapat menghasilkan dua struktur utama yaitu:

a. Membran asimetrik

Membran ini terdiri dari lapisan kulit ultra tipis (0,1 – 1 μm) dengan pori-pori yang sangat

kecil. Oleh karena itu, diameter pori dapat berubah secara signifikan melalui permukaan membran.

b. Membran simetrik

Pori-pori pada membran simetrik memiliki diameter pori (1 - 10 μm) yang terdapat seragam di permukaan membran. Hal ini memungkinkan membran bertindak sebagai penghalang untuk lewatnya partikel atau molekul.

Membran memiliki beberapa keunggulan yaitu proses filtrasi berlangsung kontinu, konsumsi energi rendah, proses pemisahan dapat terjadi pada suhu kamar, dan mudah digabung dengan bahan lain. Sifat membran bervariasi, dan mudah diatur. Selain itu juga tidak memerlukan aditif dan peralatan yang lengkap (Hidayah, 2021). Kelemahan membran dapat dilihat dari fluks dan selektivitas. Fluks dan selektivitas biasanya menjadi bagian yang ada selama prosedur pemisahan menggunakan membran, di mana fluks yang berbanding terbalik dengan selektivitas. Nilai fluks yang tinggi sering mengarah pada nilai selektivitas rendah dan sebaliknya. Namun, peningkatan fluks dan selektivitas diinginkan dalam proses pemisahan membran (Shalahuddin *et al.*, 2019).

Analisis yang digunakan untuk mengetahui kinerja membran dapat dilihat dari fluks (permeabilitas), rejeksi (selektivitas), dan struktur morfologi membran (Mulder, 1991). Pengolahan air menggunakan membran, biasanya paling banyak menggunakan pemisahan mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan *reverse osmosis*. Perbedaannya terletak pada kemampuan memfilter suatu partikel dalam air sesuai ukurannya ditunjukkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbedaan jenis filtrasi membran (Berk, 2009)

Jenis	Tekanan (bar)	Ukuran partikel (mm)
Mikrofiltrasi	0,2 - 3	> 0,2
Ultrafiltrasi	0,5 - 5	0,1 - 0,01
Nanofiltrasi	5 - 10	0,01 - 0,001
<i>Reverse osmosis</i>	10 - 150	< 0,001

3. Nilon

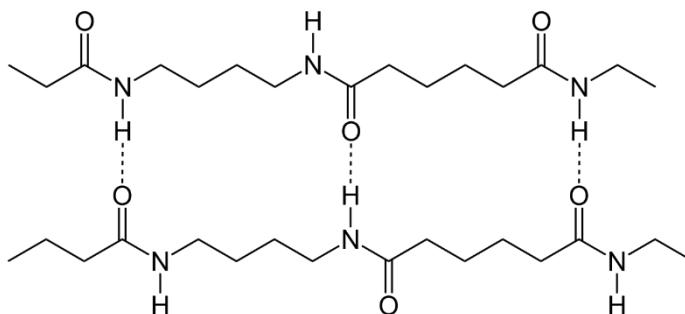
Nilon adalah salah satu polimer yang paling sering digunakan sebagai serat. Nilon memiliki ikatan amida yang khas dalam rantainya, sehingga nilon juga

disebut poliamida. Gugus amida ini sangat polar dan dapat berikatan satu sama lain dalam bentuk hidrogen. Bentuk struktur nilon sangat teratur dan simetris (Lakouraj *et al.*, 2009).

Struktur kimia nilon ditunjukkan pada Gambar 2.3. Ikatan hidrogen adalah gaya antarmolekul yang terjadi dalam nilon. Atom hidrogen berikatan nitrogen rantai nilon akan membentuk ikatan hidrogen yang sangat kuat dengan atom oksigen, karbonil, dan rantai nilon lainnya (Alshahrani *et al.*, 2022). Ikatan hidrogen ini menghasilkan kristal nilon yang sangat kuat karena mengikat rantai nilon yang lain. Sifat membran nilon dapat dilihat pada Tabel 2.3. Menurut Suhendi (2007), nilon yang dilakukan variasi dengan penambahan senyawa lain seperti CaO akan memperlebar ukuran pori. Selain itu, nilon juga dapat digunakan sebagai membran yang memiliki sifat fisik, kimia, dan mekanik yang sangat baik.

Tabel 2.3 Sifat membran nilon (Alshahrani *et al.*, 2022)

Parameter	Hasil
Ketebalan (mm)	0,22
Ukuran pori (μm)	0,10
Sudut kontak ($^\circ$)	0 \pm 0
Permeabilitas ($\text{l/m}^2\text{hbar}$)	1018,91
Densitas (μm^2)	23,25



Gambar 2.3 Struktur nilon (Lakouraj *et al.*, 2009)

4. Kalsium Oksida (CaO)

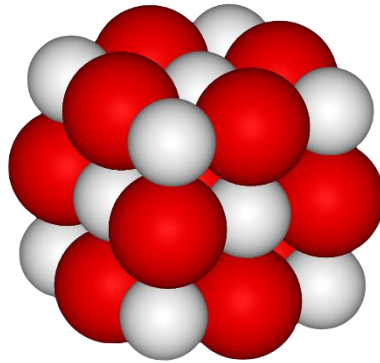
CaO salah satu senyawa yang memiliki ikatan ion di dalamnya, adanya ikatan tersebut karena ada atom yang mendonorkan dua elektron (atom Ca), dan ada atom yang menangkap dua elektron (atom O). Struktur

CaO ditunjukkan oleh Gambar 2.4. Struktur garam batuan CaO memiliki bilangan koordinasi enam. Enam atom O mengelilingi setiap atom Ca. Selain itu, karena kemampuannya untuk menghilangkan zat beracun dari limbah, CaO banyak digunakan sebagai adsorben dalam industri (Raba et al., 2016).

CaO dapat disintesis melalui cangkang telur dengan mengubah CaCO_3 menjadi CaO menggunakan kalsinasi pada suhu 900°C . Salah satu cangkang telur yang melimpah yaitu cangkang telur bebek di mana komposisi di dalamnya dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Komposisi kimia cangkang telur bebek (Mittal *et al.*, 2016)

Senyawa	Komposisi (%)
Abu	71,34
Protein	1,71
Lemak	0,36
Air	20,93
Serat kasar	16,21



Gambar 2.4 Struktur CaO (Raba et al., 2016)

5. Filtrasi

Filtrasi adalah proses penyaringan di mana partikel kecil dapat dihilangkan dengan melewati limbah melalui media lain sehingga padatan dapat dipertahankan. Filtrasi juga dapat diartikan sebagai pemisahan cairan dalam media berpori. Filtrasi biasanya dilakukan untuk menghilangkan padatan tersuspensi dari cairan (Kusuma, 2018).

Faktor-faktor yang mempengaruhi filtrasi seperti *fouling*, waktu kontak, ukuran partikel, dan kecepatan aliran air. *Fouling* adalah indikasi pengendapan dan akumulasi partikel mikroskopis yang tidak dapat diubah pada permukaan atau di

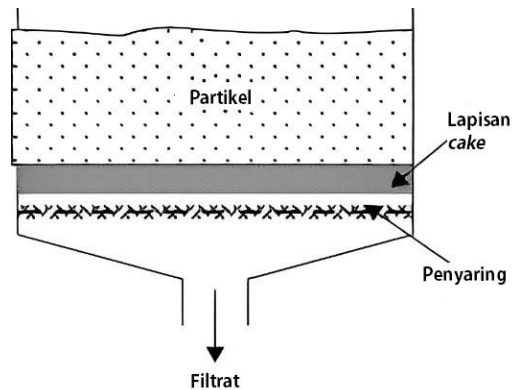
dalam membran itu sendiri. Waktu kontak mempengaruhi proses filtrasi karena semakin lama waktu kontak pada filtrasi dapat menghasilkan kualitas air yang semakin baik. Diameter partikel dapat mempengaruhi proses filtrasi di mana semakin kecil diameter partikel menyebabkan filtrasi lebih lambat dan kualitas filtrasi lebih baik. Efisiensi filtrasi dapat berkurang karena kecepatan debit air sehingga mempengaruhi kejenuhan air (Muhajar & Togomi, 2020).

Filtrasi pada membran dapat dilakukan dengan dua mekanisme pemisahan (Berk, 2009) :

a. Dead-end filtration

Pemisahan ini biasa disebut juga "*Cake filtration*". Berdasarkan aliran air yang ditunjukkan dalam Gambar 2.5, aliran tersebut mengarah langsung ke membran sehingga partikel padatan akan menumpuk di atas permukaan membran. Hal inilah yang menjadi kekurangan sistem filtrasi *dead-end*. Salah satu alternatif untuk mengurangi kelemahan tersebut dapat digunakan sistem *backwash* yang akan menyebabkan laju alir lebih besar dari nol. Apabila laju alir bernilai

nol maka membran mengalami penyumbatan oleh partikel (*fouling*).

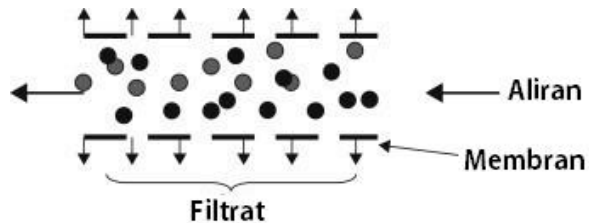


Gambar 2.5 Pemisahan *dead-end* (Berk, 2009)

b. Cross-flow filtration

Aliran air pada *cross-flow* bersifat turbulen sepanjang membran sehingga mencegah terakumulasinya partikel padat pada permukaan membran (*fouling*). Membran serat tubular dan bulat serta mikrofiltrasi adalah jenis membran yang biasanya digunakan. Air yang tidak tersaring dan mengandung partikel padat (*retentate*) akan ditiriskan atau disaring kembali. Penggunaan *cross-flow* biasanya digunakan karena aliran umpan dan permeat diorientasikan pada sudut 90° ditunjukkan Gambar 2.6. Penggunaan filtrasi ini

tersebar luas, dan hasilnya sesuai air umpan dengan konsentrasi partikel yang tinggi.



Gambar 2.6 Pemisahan *cross-flow* (Berk, 2009)

Penilaian kinerja filtrasi menggunakan membran adalah fluks dan rejeksi yang dapat dihitung sesuai Persamaan 2.1.

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

Keterangan:

J = fluks cairan atau permeabilitas ($L \cdot \text{jam}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$),

V = volume permeat (L)

A = luas permukaan membran (m^2)

t = waktu permeat (jam).

Sedangkan untuk rejeksi (R) dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.2.

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

Keterangan:

R = koefisien rejeksi (%)

C_p = konsentrasi zat setelah filtrasi (ppm)

C_f = konsentrasi zat sebelum filtrasi (ppm).

Akumulasi komponen tertentu dalam air yang dihasilkan pada permukaan membran atau di pori-pori membran dapat mengakibatkan penurunan efisiensi fluks. *Fouling* adalah proses di mana partikel, partikel koloid, atau makromolekul terlarut diserap ke pori-pori membran atau ke permukaan membran oleh interaksi fisik dan kimia, yang menghasilkan pori-pori membran yang lebih kecil (Liu *et al.*, 2019). Jenis suatu membran dapat dilihat pada Tabel 2.5 yang menerangkan besaran nilai fluks.

Tabel 2.5 Kisaran nilai fluks membran (Mulder, 1991)

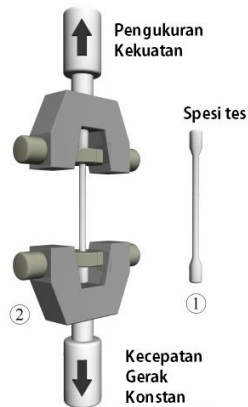
Proses membran	Besaran nilai fluks (L/ m².jam)
Mikrofiltrasi	> 50
Ultrafiltrasi	0 - 50
Nanofiltrasi	1,40 - 12
<i>Reverse Osmosis</i>	0,05 - 1,4

6. *Universal Testing Machine (Uji tarik)*

Sifat tarik terdiri dari reaksi material untuk menahan ketika gaya diterapkan di bawah tegangan. Hal ini penting untuk menentukan sifat modulus membran dengan memberikan informasi tentang elastisitas, batas kekakuan, elongasi, dan lain-lain. Skema uji tarik dapat dilihat pada Gambar 2.7. Pengujian tarik akan menghasilkan kurva beban dan perpanjangan yang diubah menjadi kurva tegangan dan regangan, dengan menentukan sifat tarik bahan dari bahan ke bahan (Salindeho *et al.*, 2013).

Sifat tarik biasanya ditentukan melalui pengujian tarik, yang biasanya dijelaskan dengan uji standar ASTM. Standar yang sesuai untuk pengujian tarik adalah ASTM D638 dan ASTM D3039, tergantung pada jenis komposit polimer. ASTM D638 direkomendasikan

untuk komposit yang berorientasi acak, terputus-putus, dapat dicetak, atau dengan volume penguatan rendah. Sebagai gantinya, ASTM D3039 diterapkan untuk komposit polimer yang diperkuat serat modulus yang sangat berorientasi dan tinggi (Rahmanto, 2019).



Gambar 2.7 Skema pengujian kuat tarik (Santos *et al.*, 2010)

Tegangan adalah besarnya gaya tarik F_T persatuan A_T di mana benda yang diuji akan patah jika menggunakan gaya tarik maksimum. Uji tarik menggunakan modulus young (σ_T) sesuai Persamaan 2.3 (Rosidah, 2013).

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_T} \quad (2.3)$$

Di mana σ_T merupakan tegangan (N/mm^2), F_T merupakan gaya maksimum (N), dan A_T yaitu luas permukaan membran (mm^2).

Regangan merupakan perbandingan pertambahan panjang dibagi dengan panjang mula-mula ditunjukkan pada Persamaan 2.4 (Suryandari, 2019).

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.4)$$

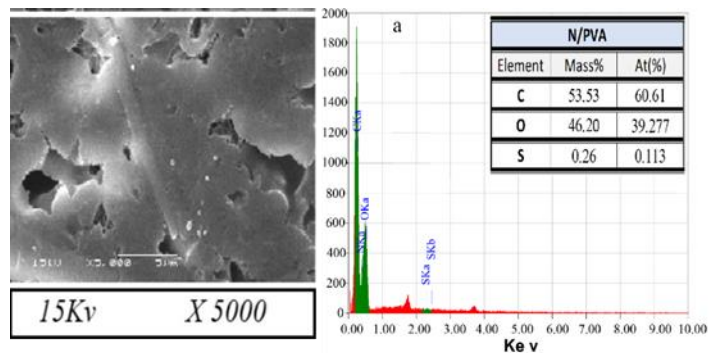
Di mana $\Delta\varepsilon$ merupakan regangan (mm^2), Δl merupakan pertambahan panjang (mm^2), dan l_0 yaitu pertambahan panjang membran awal (mm^2).

7. *Scanning Electron Microscopy – EDX-mapping (SEM-EDX-mapping)*

SEM-EDX-mapping adalah alat untuk menganalisis bentuk, morfologi permukaan, dan komposisi bahan atau material, dan persebaran material. Keunggulan SEM-EDX-mapping adalah preparasi sampel yang sederhana, ukuran sampel yang relatif besar, dan memiliki rentang perbesaran sampai 150.000 kali (Rangkuti, 2016). Batasan penggunaan SEM adalah saat berlangsung dalam ruang hampa.

Selama pengeringan sampel, terjadi perubahan dalam struktur yang dapat muncul. Aspek ini menunjukkan kelemahan dari SEM-EDX. Penggunaan *mapping* dalam SEM-EDX bertujuan untuk mengetahui sebaran material yang ada di dalamnya, biasanya ditunjukkan dengan warna berbeda tiap logam.

Hasil uji SEM-EDX pada nilon perbesaran 5000 kali tertera pada Gambar 2.8. Dalam Gambar 2.8 terlihat bahwa membran nilon memiliki struktur pori membran mikrofiltrasi, di mana persebaran pori membran merata pada permukaan membran, sedangkan hasil EDX membran terlihat memiliki unsur C paling banyak yaitu sebesar 53,53 % massa, hal ini terjadi karena membran terdiri dari banyak ikatan karbon (C) di dalamnya (Mahmoud *et al.*, 2022).



Gambar 2.8 SEM-EDX membran nilon (Mahmoud *et al.*, 2022)

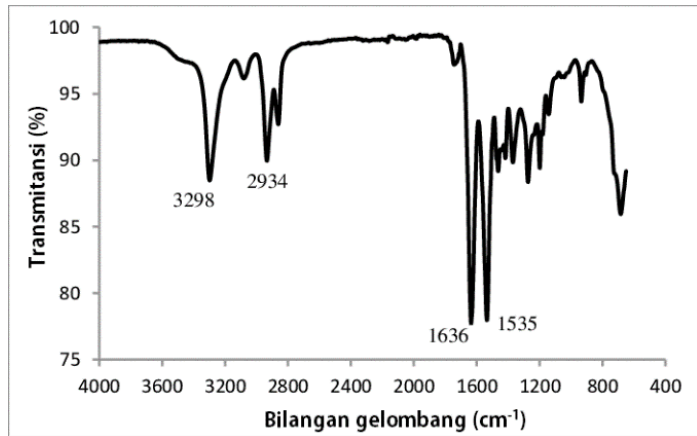
8. *Fourier-Transform Infrared (FT-IR)*

Spektrofotometer FT-IR adalah alat untuk mengetahui interaksi yang kuat menggunakan *fourier transform* yang menerjemahkan *interferogram* ke dalam spektrum. Spektrofotometer FT-IR digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah transmisi atau penyerapan sampel. Alat ini mengidentifikasi keberadaan senyawa organik dan anorganik dalam sampel (Dachriyanus, 2004). Frekuensi regangan inframerah terdapat pada Tabel 2.6.

Rentang bilangan gelombang penyerapan inframerah pada $600 - 4000 \text{ cm}^{-1}$, dan sampel akan ditentukan melalui data spektrum yang berasal dari perangkat lunak secara otomatis. Spektra FT-IR membran nilon ditunjukkan oleh Gambar 2.9. Berdasarkan Gambar 2.9 membran nilon memiliki beberapa serapan seperti serapan N-H pada bilangan gelombang 3298 cm^{-1} dan 1535 cm^{-1} . Selain itu pada bilangan gelombang 1636 cm^{-1} muncul gugus karbonil dalam membran dan pada bilangan gelombang 2934 cm^{-1} adanya serapan CH_2 yang sesuai dengan poliamida (Wu *et al.*, 2004).

Tabel 2.6 Frekuensi regangan inframerah (Syamsudin, 2017)

Ikatan	Tipe Senyawa	Bilangan gelombang (cm⁻¹)
C-H	Alkana	2850 – 2970 1340 – 1470
C-H	Alkena	3010 – 3095
C-H	Alkuna	3300
C-H	Cincin aromatik	3010 – 3100
C-H	Cincin aromatik	690 – 900
O-H	Fenol, ikatan hidrogen	3590 – 3650
O-H	Fenol, monomer alkohol,	3200 – 3600
N-H	alkohol ikatan hidrogen Amina, amida	3300 – 3500
C=C	Alkena	1610 – 1680
C=C	Cincin aromatik	1500 – 1600
C≡C	Alkuna	2100 – 2260
C-N	Amina, amida	1180 – 1360
C-O	Alkohol, Eter, Asam karboksilat, Ester	1050 – 1300
C=O	Aldehid, Keton, Asam karboksilat, Ester	1690 – 1760
NO ₂	Senyawa nitro	1500 – 1570

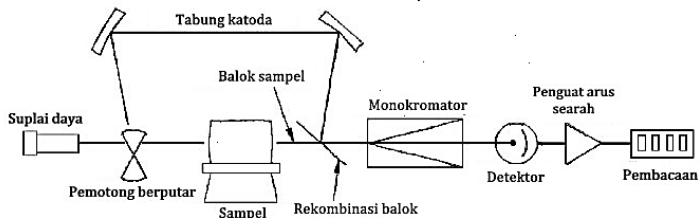


Gambar 2. 9 Spektra FT-IR membran nilon (Alvarado *et al.*, 2022)

9. Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

AAS adalah alat yang digunakan untuk menentukan kandungan logam berat maupun logam ringan. Prinsip kerja AAS (Gambar 2.10) adalah mengubah sampel dalam bentuk cair menjadi bentuk *aerosol* atau kabut dan masuk ke dalam nyala api bersama dengan campuran bahan bakar gas. Unsur yang akan dianalisis dipecah menjadi atom-atom dengan keadaan dasarnya. Cahaya dari lampu katoda diarahkan pada atom-atom di dalam bingkai pada panjang gelombang yang sesuai untuk diujikan. Cahaya yang tidak diserap oleh atom ditransmisikan dan

dipancarkan oleh detektor, yang akan diubah menjadi sinyal terukur (Manuhutu, 2009).



Gambar 2.10 Diagram skema AAS (Satyanarayana *et al.*, 2020)

B. Kajian Pustaka

Fauzia *et al.* (2018) menyatakan bahwa penggunaan nilon 4,5 gram pada fabrikasi membran menghasilkan nilai fluks 120 L/m².jam dan nilai koefisien rejeksi sebesar 93,81% yang menandakan kinerja membran baik untuk proses filtrasi. Maulina *et al.* (2019) melakukan fabrikasi membran dari nilon dan titanium dioksida (TiO₂) ditambah hidrogen klorida (HCl) sebagai *precursor* dan asetil aseton sebagai *chelating agent* dengan metode inversi menghasilkan bahwa membran nilon dengan penambahan TiO₂ memiliki nilai fluks yang meningkat tetapi menurunkan nilai koefisien rejeksi pada membran.

Penelitian terdahulu mengenai karakteristik fisik membran dari nilon diantaranya yaitu Fanani *et al.* (2014) menyatakan bahwa membran yang terbuat dari nilon menggunakan metode inversi fasa dengan massa nilon 10 gram, 15 gram, 20 gram, 25 gram, dan 30 gram yang dipadukan dengan HCl menghasilkan nilai kuat tekan dan kuat tarik membran semakin besar seiring bertambahnya massa nilon dalam membran, selain itu dari hasil Analisa SEM membran nilon termasuk golongan membran mikrofiltrasi dengan ukuran permukaan pori 0,3 μm - 5,4 μm . Syakir, (2014) melakukan fabrikasi membran dengan komposisi 6,9 gram; 6,6 gram; dan 6,5 gram benang nilon menggunakan metode inversi fasa menghasilkan nilai kuat tarik dan nilai kuat tekan yang semakin tinggi seiring bertambahnya massa nilon dalam membran dan berdasarkan spektra FT-IR membran nilon memiliki gugus uluran O-H, C=N, C=C, C-N aromatik dan C-O yang terjadi *overleap*, selain itu membran nilon juga menghasilkan nilai fluks yang kecil dan nilai koefisien rejeksi terhadap timbal sebesar 56,5105 % pada tahap satu dan 57,3743 % pada tahap dua filtrasi.

Penelitian terdahulu mengenai penggunaan cangkang telur bebek sebagai sintesis CaO yaitu

Aryuwanti, (2015) melakukan sintesis CaO dari cangkang telur bebek menggunakan metode kalsinasi dengan suhu 900°C dan diaplikasikan menggunakan variasi waktu kontak yaitu 10, 20, 30, 40 menit serta berat adsorben yaitu 1 gram dan 2 gram. Didapatkan hasil bahwa variasi waktu kontak tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap penyerapan logam berat Cu pada limbah cair. Sedangkan adanya variasi berat adsorben memberikan pengaruh terhadap penyerapan logam Cu pada limbah cair dengan efisiensi adsorpsi optimal sebesar sebesar 95,87% pada berat adsorben 1 gram dan 96,94% pada berat adsorben 2 gram.

Penelitian terdahulu mengenai penggunaan CaO dalam fabrikasi membran diantaranya Alhanif *et al.* (2018) penggunaan CaO 20% b/b dalam fabrikasi membran yang ditambahkan polietersulfon (PES) menggunakan metode inversi fasa, menghasilkan analisa SEM-EDX membran memiliki distribusi ukuran permukaan pori yang seragam antara 0,1 - 1 µm dan kandungan CaO aktif sebesar 33,45% dalam membran terbaik pada 20% yang menghasilkan membran, selain itu hasil analisis FTIR menunjukkan adanya gugus fungsional Ca-O pada membran. Li *et al.* (2023) menyatakan bahwa

penggunaan CaO 0,04 gram dalam fabrikasi membran menggunakan metode inversi fasa dapat menghasilkan sedikitnya *fouling* pada membran yang ditandai dengan meningkatnya nilai fluks membran hingga 82% dan menghasilkan nilai koefisien rejeksi membran sebesar 90%.

C. Hipotesis

Penggunaan CaO dari cangkang telur bebek dalam pembuatan membran yang ditambahkan dengan nilon dapat mencegah *fouling* dan memperbesar ukuran permukaan pori membran. Membran nilon-CaO merupakan kombinasi yang baik untuk mengurangi kadar ion logam dalam air limbah. Dengan demikian, diharapkan kinerja kombinasi membran meningkat dalam fluks dan koefisien rejeksi kadar ion logam Fe^{3+} .

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

1. Alat

Peralatan yang digunakan adalah alat gelas seperti batang pengaduk, kaca arloji, desikator, lumpang alu, labu ukur, gelas beker, plat kaca ukuran 12 x 5 cm. Peralatan non gelas seperti neraca analitik, ayakan 80 mesh, *furnace*, dan *magnetic stirrer*. Instrumen yang digunakan adalah SEM-EDX-*mapping* (SEM-EDX JEOL JSM-6510LA), spektrofotometer FT-IR (Perkin-Elmer UATR Spectrum Two), Universal Testing Machine (Zwick), AAS (ICE 3000 Series Thermo Scientific), dan reaktor membran *cross-flow*.

2. Bahan

Kalsium Oksida (CaO) dari cangkang telur bebek berasal dari penjual martabak sekitar kampus 3 UIN Walisongo, Asam Format (HCOOH, Teknis), benang nilon (Golden Fish), Besi(III) klorida heksahidrat (FeCl₃.6H₂O, Merck, p.a), dan akuades (H₂O).

B. Langkah Kerja

1. Karakterisasi CaO dari Cangkang Telur Bebek

Pembuatan CaO dari cangkang telur bebek dimulai dengan mencuci cangkang telur bebek menggunakan air hingga bersih dan lapisan tipis dilepaskan dari cangkangnya. Cangkang telur selanjutnya dianginkan hingga kering dan ditumbuk menjadi lebih kecil. Cangkang telur bebek diayak dengan ayakan 80 mesh. Hasil ayakan yang lolos dikalsinasi pada suhu 900°C selama 3 jam. Hasil dari kalsinasi disimpan dalam desikator selama 24 jam, dan dilakukan karakterisasi dengan spektrofotometer FT-IR (Altaera & Broto, 2020).

2. Pembuatan Membran

a. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Nilon

Pembuatan membran menggunakan metode inversi fasa. Membran dibuat dengan komposisi 10 mL asam format dan nilon 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35% b/v. Campuran nilon dan asam format (larutan polimer) diaduk menggunakan *stirerr* selama 60 menit dengan kecepatan 350 rpm. Larutan polimer dibiarkan selama 30 menit. Setelah

itu larutan polimer dituang pada plat kaca yang diratakan menggunakan batang pengaduk. Membran yang sudah dicetak dimasukkan dalam bak koagulasi berisi akuades hingga membran terlepas dari plat kaca. Membran kemudian diangkat dan dikeringkan selama 24 jam dan dilakukan uji tarik (Rosidah, 2013).

b. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Nilon-CaO

Langkah pertama yang dilakukan yaitu pembuatan larutan polimer. Penentuan konsentrasi nilon dan asam format terbaik dilihat dari hasil uji tarik. CaO ditambahkan dengan komposisi 0%, 10%, 20%, dan 30% b/b, kemudian dilakukan pengadukan selama 60 menit dengan kecepatan 350 rpm. Larutan polimer dibiarkan terlebih dahulu selama 30 menit. Larutan polimer dicetak pada plat kaca yang diratakan menggunakan batang pengaduk. Membran yang sudah dicetak dimasukkan dalam bak koagulasi berisi akuades hingga membran terlepas dari plat kaca. Membran kemudian diangkat dan dikeringkan selama 24 jam. Membran nilon-CaO selanjutnya dikarakterisasi

dengan spektrofotometer FT-IR, SEM-EDX-*mapping*, dan uji tarik (Syakir, 2014).

3. Karakterisasi Membran

a Analisis spektrofotometer FT-IR

Analisis dengan spektrofotometer FT-IR bertujuan untuk menentukan gugus fungsi di dalam CaO dari cangkang telur dan membran nilon-CaO berdasarkan data bilangan gelombang (Tabel 2.6). Karakterisasi dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

b Uji tarik

Uji tarik membran nilon dan nilon-CaO dengan alat *Universal Testing Machine*. Uji ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik membran. Membran ditarik dari dua arah sehingga diameternya mengecil dan panjangnya bertambah, di mana besarnya beban pada membran saat pertambahan panjang yang terjadi dicatat dan dilakukan perhitungan sesuai Persamaan 2.3. Uji ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

c Analisa dengan SEM-EDX-*mapping*

Analisa dengan SEM-EDX-*mapping* digunakan

untuk mengetahui kandungan, morfologi permukaan, dan sebaran material pada membran nilon dan membran nilon-CaO yang menghasilkan pengurangan ion logam Fe^{3+} terbaik. Karakterisasi ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

4. Aplikasi Membran Nilon-CaO

Membran nilon-CaO yang telah disintesis digunakan untuk pengurangan kadar ion logam Fe^{3+} artifisial dalam air.

a Pembuatan larutan induk Fe^{3+} 1000 ppm

Padatan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ditimbang sebanyak 0,4827 gr kemudian dimasukkan dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan akuades sampai tanda batas, kemudian dihomogenkan sehingga didapatkan larutan induk 1000 ppm.

b Pembuatan larutan standar

Larutan induk 1000 ppm diambil 10 mL dan dimasukkan dalam labu ukur 100 mL, lalu ditambahkan akuades sampai tanda batas. Larutan standar besi 100 ppm siap digunakan. Larutan standar besi 100 ppm diambil 10 mL dimasukkan dalam labu ukur 100 mL, ditambahkan akuades

sampai tanda batas. Larutan standar besi 10 ppm siap digunakan.

Larutan standar besi 10 ppm diambil berturut-turut 2,5; 5,0; 10,0; 20,0; dan 40,0 mL untuk membuat konsentrasi 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; dan 4,0 ppm dimasukkan dalam labu ukur 100 mL, ditambahkan akuades sampai tanda batas. Larutan standar siap digunakan sebagai kurva kalibrasi.

c Pembuatan larutan Fe^{3+}

Larutan induk 1000 ppm diambil 8,2 mL dan dimasukkan dalam labu ukur 1000 mL, selanjutnya ditambahkan akuades sampai tanda batas lalu di homogenkan.

d Pengujian membran untuk pengurangan kadar ion logam Fe^{3+}

Membran nilon-CaO 0 %, 10%, 20 %, dan 30% b/b dipotong melingkar sesuai alat filtrasi membran (diameter \pm 40 mm). Larutan Fe^{3+} dimasukkan dalam reaktor sebanyak 500 mL dan ditutup rapat, kemudian diberi tekanan hingga larutan dapat melewatinya selama 30 menit (Chadiroh, 2021). Konsentrasi larutan sebelum dan sesudah melewati membran digunakan untuk

menentukan nilai fluks menggunakan Persamaan 2.1, dan koefisien rejeksi menggunakan Persamaan 2.2, di mana konsentrasinya diukur menggunakan AAS. Pengujian dilakukan di Laboratorium Terpadu UIN Walisongo.

BAB IV

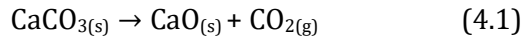
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini membahas pembuatan membran nilon, membran nilon-CaO menggunakan CaO dari cangkang telur bebek serta aplikasi membran nilon-CaO pada pengurangan ion logam Fe^{3+} dalam air. Pembuatan membran selanjutnya dilakukan uji fluks dan persen rejeksinya. Karakterisasi membran dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray-mapping* (SEM-EDX-mapping), *Fourier Transform Infrared* (FT-IR), dan *Universal Testing Machine* (uji tarik).

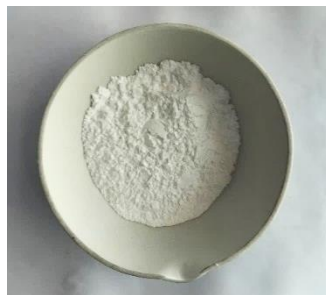
A. Karakterisasi CaO dari Cangkang Telur Bebek

Pembuatan CaO dari cangkang telur bebek dimulai dengan mencuci cangkang telur bebek menggunakan air sampai bersih, hal ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran yang menempel, bau, dan lapisan membran di cangkangnya. Cangkang telur bebek kemudian dikeringkan pada suhu ruang. Cangkang tersebut dihaluskan dan diayak dengan ukuran 80 mesh, hal ini bertujuan agar diperoleh sampel yang seragam, karena semakin kecil ukuran partikel maka semakin besar luas permukaan. Sampel dikalsinasi menggunakan *furnace*

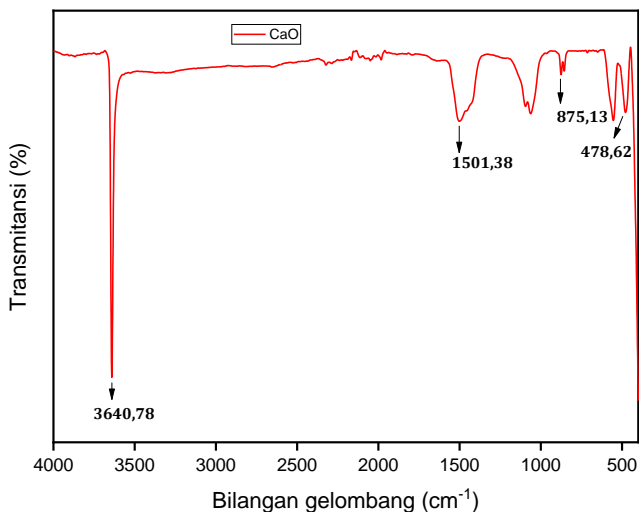
selama 3 jam pada suhu 900°C. Menurut Inthiyah (2022) kalsinasi pada suhu 900°C selama 3 jam dilakukan dengan tujuan supaya CaO dapat terbentuk dari CaCO₃ sebagaimana dalam reaksi Persamaan 4.1.



Penggunaan suhu 900°C selama 3 jam juga dapat menghasilkan ukuran cangkang telur lebih kecil dan seragam, hasil ini sesuai dengan penelitian Correia *et al.* (2017). Menurut Suryandari *et al.* (2021) perubahan ukuran cangkang telur lebih kecil disebabkan terlepasnya gas CO₂ dari proses CaCO₃ menjadi CaO, di mana semakin banyak gas CO₂ terlepas menunjukkan semakin kecil massanya dan jumlah senyawa CaO yang terbentuk. Hasil yang didapatkan CaO berwarna putih, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 CaO dari cangkang telur bebek



Gambar 4.2 Spektra FT-IR CaO cangkang telur bebek

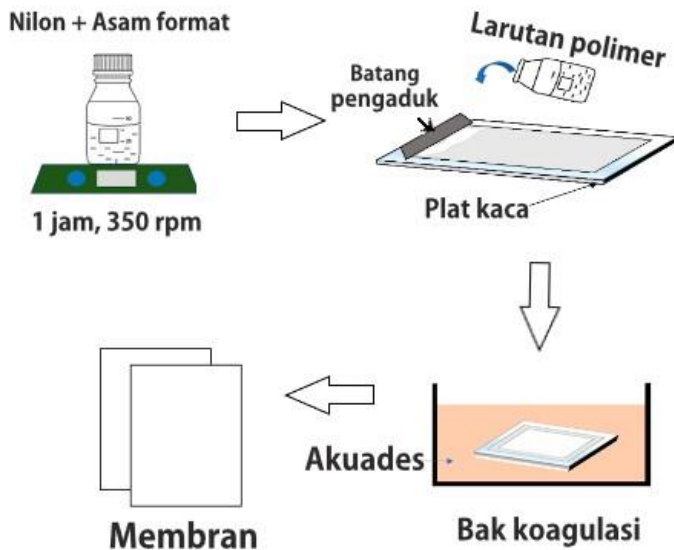
Berdasarkan Gambar 4.2 gugus fungsi dari CaO cangkang telur bebek menunjukkan puncak tajam pada daerah bilangan gelombang 3640,78 cm⁻¹ di mana puncak ini menunjukkan adanya gugus O-H dari Ca(OH)₂. Hal ini terjadi karena gugus OH menunjukkan keberadaan air yang teradsorpsi di udara dan mengindikasikan bahwa CaO telah terhidrasi dengan udara. Munculnya puncak yang lemah pada bilangan gelombang 1501,38 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya ikatan O-C-O dari senyawa karbonat didukung oleh penelitian Granados *et al.* (2007).

Vibrasi tekuk C-O muncul sebagai pita serapan lemah yang berada pada daerah bilangan gelombang

875,13 cm^{-1} . Puncak tersebut menunjukkan CaCO_3 dan Ca(OH)_2 sesuai dengan penelitian Miguel *et al.* (2009). Hal ini menunjukkan bahwa sampel mengandung senyawa selain CaO yang mengindikasikan sampel hasil sintesis belum 100% murni. Namun demikian, keberadaan CaO masih mendominasi. Hal tersebut didukung oleh data pada bilangan gelombang di daerah 478,62 cm^{-1} yang dapat dijadikan acuan untuk memastikan adanya CaO pada sampel. Menurut Sihombing (2017), hal ini dikarenakan spektrum CaO standar memiliki puncak tajam dengan bilangan gelombang sekitar 400 - 500 cm^{-1} yang berhubungan dengan ikatan Ca-O vibrasi ulur. Berdasarkan data spektra FT-IR dapat diidentifikasi bahwa senyawa CaO dari cangkang telur bebek sudah terbentuk.

B. Pembuatan Membran

1. Pembuatan Membran Nilon



Gambar 4.3 Skema pembuatan membran nilon

Pembuatan membran menggunakan metode inversi fasa ditunjukkan oleh Gambar 4.3. Penggunaan metode tersebut dipilih karena sederhana, biaya, dan menghasilkan pori seragam. Membran dibuat dengan komposisi 10 mL asam format dan nilon 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35% b/v. Penggunaan asam format bertujuan untuk melarutkan benang nilon. Campuran nilon dan asam

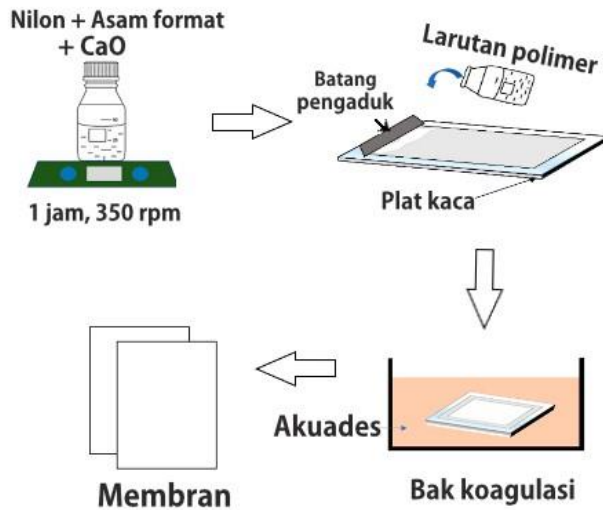
format diaduk menggunakan *stirerr* selama 60 menit dengan kecepatan 350 rpm. Hal ini dilakukan karena dalam waktu dan kecepatan tersebut larutan polimer sudah homogen. Larutan polimer setelah homogen dibiarkan terlebih dahulu selama 30 menit untuk menghilangkan gelembung pada larutan polimer. Pencetakan membran dilakukan dengan menuangkan larutan polimer pada plat kaca kemudian diratakan menggunakan batang pengaduk.

Larutan polimer yang sudah dicetak dimasukkan dalam bak koagulasi berisi akuades hingga terlepas dari plat kaca. Terlepasnya dari plat kaca menandakan bahwa membran sudah terbentuk, Penggunaan akuades bertujuan agar uap dalam pelarut dapat keluar. Membran kemudian diangkat dan dikeringkan selama 24 jam. Pengeringan ini bertujuan agar membran dapat dikarakterisasi dan menjadikan massa membran konstan. Membran nilon yang dihasilkan (Gambar 4.4) berwarna putih, tidak transparan, dan memiliki permukaan yang halus sesuai dengan penelitian Suhendi (2007). Membran selanjutnya dilakukan uji tarik untuk menentukan membran nilon terbaik.



Gambar 4.4 Membran nilon

2. Pembuatan Membran Nilon-CaO



Gambar 4.5 Skema pembuatan membran nilon-CaO

Pembuatan membran nilon-CaO menggunakan metode inversi fasa ditunjukkan oleh Gambar 4.5. Konsentrasi nilon dan asam format diambil yang terbaik saat dilakukan uji tarik yaitu 10 mL asam format dengan nilon 25% b/v. CaO ditambahkan dengan komposisi 0%, 10%, 20%, dan 30% b/b dalam larutan polimer. Penggunaan CaO dilakukan untuk menambah keefektifan membran dalam pengurangan ion logam Fe^{3+} . Pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* pada larutan polimer yang sudah ditambah CaO selama 60 menit. Pencetakan membran dilakukan setelah didiamkan 30 menit, hal ini bertujuan untuk menghilangkan gelembung dalam larutan polimer. Pencetakan dilakukan pada plat kaca kemudian diratakan menggunakan batang pengaduk.

Larutan polimer yang sudah dicetak dimasukkan dalam bak koagulasi berisi akuades hingga terlepas dari plat kaca. Terlepasnya dari plat kaca menandakan bahwa membran sudah terbentuk, penggunaan akuades bertujuan agar uap dalam pelarut dapat keluar. Membran kemudian diangkat dan dikeringkan selama 24 jam, hal ini bertujuan agar

membran dapat dilakukan karakterisasi dan menjadikan massa membran konstan. Membran nilon-CaO yang dihasilkan sesuai Gambar 4.6 berwarna putih, dan memiliki permukaan yang halus, hasil ini sesuai dengan penelitian Alhanif *et al.* (2018). Membran nilon-CaO selanjutnya dikarakterisasi dengan spektrofotometer FT-IR, SEM-EDX-*mapping*, dan uji tarik.



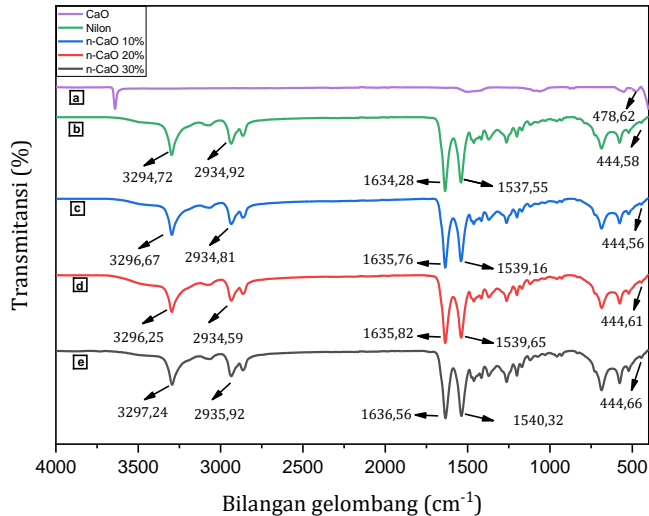
Gambar 4.6 Membran nilon-CaO

C. Karakterisasi Membran

1. Karakterisasi gugus fungsi membran menggunakan FT-IR

Informasi berupa gugus fungsi yang terdapat pada membran dapat diperoleh dengan menggunakan karakterisasi melalui

spektrofotometer FT-IR. Gambar 4.7 mengilustrasikan spektrum hasil karakterisasi membran nilon dan nilon-CaO dengan alat FT-IR.



Gambar 4.7 Spektra FT-IR (a) CaO (b) nilon (c) membran nilon-CaO 10% b/b (d) membran nilon-CaO 20% b/b (e) membran nilon-CaO 30% b/b

Gugus fungsi dari membran nilon-CaO berdasarkan Gambar 4.7. Membran nilon-CaO 0% b/b memiliki bilangan gelombang yang terletak pada $3294,72 \text{ cm}^{-1}$ dan $1537,55 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan regangan ikatan N-H. Sinyal pada bilangan gelombang $1634,28 \text{ cm}^{-1}$ merupakan gugus karbonil

(C=O). Selain itu, sinyal pada bilangan gelombang 2934,92 cm^{-1} yaitu getaran asimetris dari ikatan CH_2 yang menunjukkan gugus amida, hasil ini sesuai dengan penelitian Wu *et al.* (2004). Membran nilon-CaO 0% juga memiliki gugus Ca-O pada bilangan gelombang 444,58 cm^{-1} , hal ini terjadi karena nilon yang digunakan tidak 100% murni.

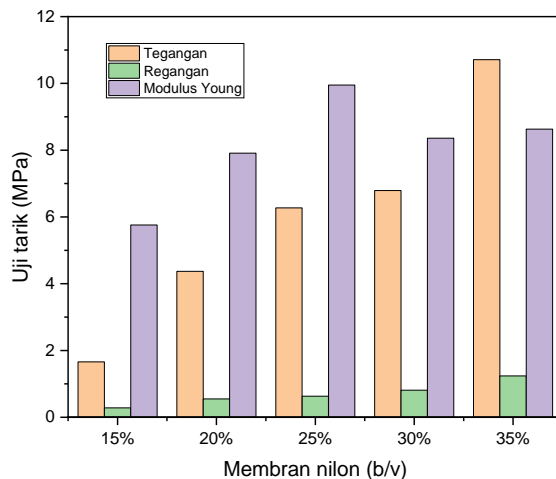
Membran nilon dengan penambahan CaO 10%, 20%, dan 30% b/b memiliki gugus N-H berturut-turut pada bilangan gelombang 3296,67 cm^{-1} dan 1537,16 cm^{-1} ; 3296,25 cm^{-1} dan 1539,65 cm^{-1} ; 3297,24 cm^{-1} dan 1540,32 cm^{-1} . Gugus lain juga terbentuk pada membran nilon-CaO 10%, 20%, dan 30% b/b yaitu gugus CH_2 pada bilangan gelombang 2934,81 cm^{-1} ; 2934,59 cm^{-1} ; dan 2935,92 cm^{-1} . Selain itu munculnya puncak pada bilangan gelombang 1635,76 cm^{-1} ; 1635,82 cm^{-1} ; dan 1636,56 cm^{-1} yang menunjukkan adanya ikatan C=O atau gugus karbonil pada membran nilon-CaO 10%, 20%, dan 30% b/b.

Gugus fungsi CaO pada membran nilon-CaO 10%, 20%, dan 30% b/b muncul pada bilangan gelombang 444,56 cm^{-1} ; 444,61 cm^{-1} ; dan 444,66 cm^{-1} . Hal ini menunjukkan bahwa dalam penelitian ini

membran nilon sudah berhasil terbentuk CaO di dalamnya. Menurut Sihombing (2017), CaO standar memiliki puncak tajam dengan bilangan gelombang sekitar $400\text{-}500\text{ cm}^{-1}$ berhubungan dengan ikatan Ca-O vibrasi ulur.

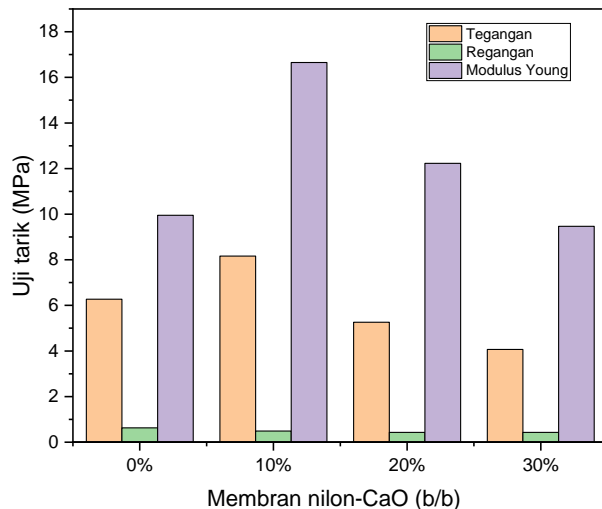
2. Uji tarik membran

Analisis gaya mekanik dilakukan berdasarkan uji tarik, dan sifat-sifatnya diukur untuk menentukan kekuatan membran ketika mengalami gaya yang dapat mempengaruhinya. Uji tarik umumnya digunakan untuk mengukur gaya yang dibutuhkan dalam memutuskan membran nilon.



Gambar 4.8 Grafik pengaruh konsentrasi nilon terhadap uji tarik membran

Berdasarkan Gambar 4.8 hasil uji tarik terbaik terjadi pada membran nilon 25% b/v dengan memiliki nilai modulus young terbesar yaitu 9,95 MPa. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Alshahrani *et al.* (2022) semakin besar nilai modulus young, maka sifat mekanik membran tersebut semakin baik untuk melakukan filtrasi karena semakin kuat ikatan amida dalam membran, sehingga membran nilon 25% b/v ini yang akan digunakan dalam pembuatan membran nilon-CaO.

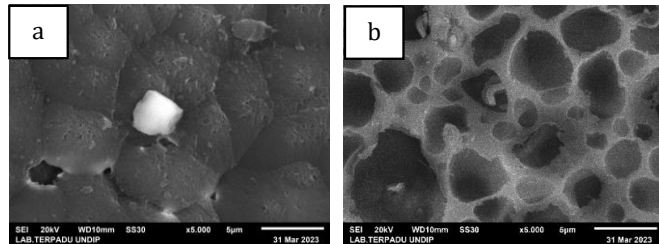


Gambar 4.9 Grafik pengaruh konsentrasi CaO terhadap uji tarik membran

Berdasarkan Gambar 4.9 semakin banyak penambahan CaO dalam membran menyebabkan terjadinya penurunan nilai modulus young pada membran. Hal ini terjadi karena penambahan CaO menyebabkan pori membran semakin besar dan menurunkan sifat mekanik membran, di mana membran dengan diameter lebih besar cenderung memiliki sifat mekanik yang lemah karena ikatan antar polimer pada membran semakin renggang. Hal ini sesuai dengan penelitian Arinstein *et al.* (2007) dan Wong *et al.* (2008).

3. Karakterisasi kandungan dan morfologi membran menggunakan SEM-EDX-Mapping

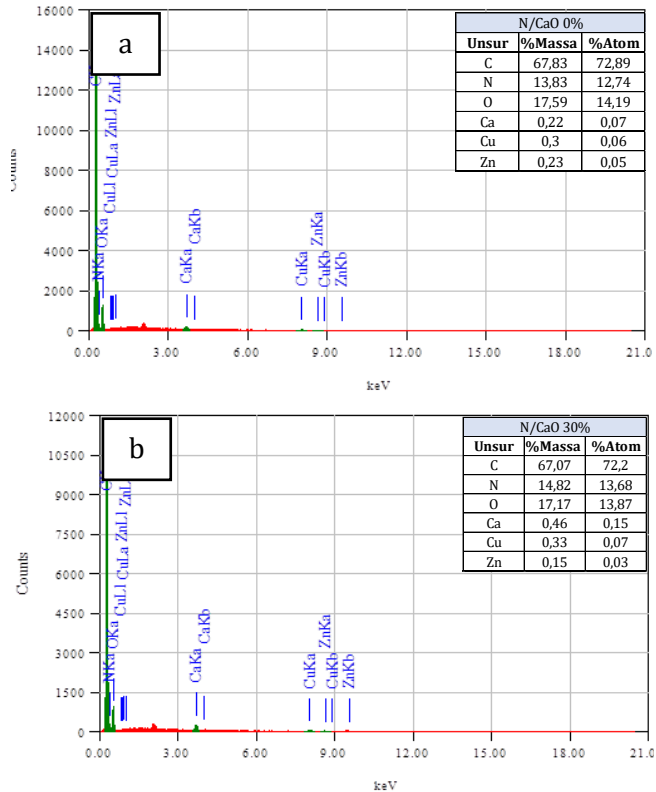
Analisis morfologi permukaan membran nilon-CaO 0% b/b dan membran nilon-CaO 30% b/b telah dilakukan menggunakan SEM. Komposisi unsur dianalisis menggunakan EDX serta persebaran unsur dalam membran nilon dan membran nilon-CaO 30% b/b telah dipetakan menggunakan SEM elemental *mapping*.



Gambar 4.10 Perbesaran morfologi SEM 5000 kali membran nilon-CaO (a) 0% b/b dan (b) 30% b/b

Membran nilon-CaO 0% b/b (Gambar 4.10a) melalui SEM dengan perbesaran 5000 kali diketahui memiliki ukuran rata-rata permukaan pori yaitu 1,85 μm . Hasil ini sesuai dengan penelitian Liu *et al.* (2019). Membran nilon-CaO 30% b/b (Gambar 4.10b) melalui SEM dengan perbesaran 5000 kali terlihat membran memiliki ukuran rata-rata permukaan pori yaitu 2,77 μm . Menurut Suryandari (2019) perbesaran ukuran permukaan pori terjadi karena adanya penambahan material dalam membran yang menyebabkan membran bersifat *porous*.

Berdasarkan ukuran permukaan pori membran, kedua membran tersebut termasuk membran mikrofiltrasi simetrik. Hasil ini sesuai dengan penelitian Shalahuddin *et al.* (2019).

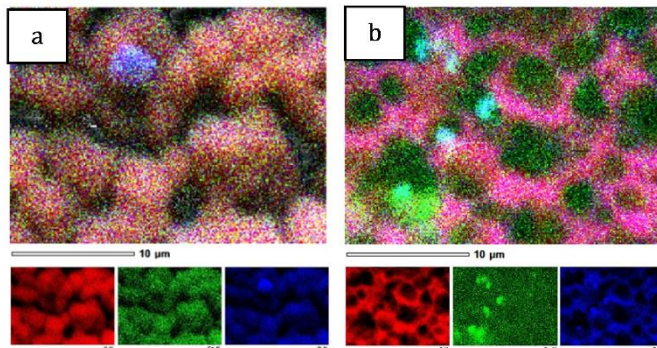


Gambar 4.11 Analisis EDX membran nilon-CaO (a) 0% b/b dan (b) 30% b/b

Analisis membran nilon-CaO 0% b/b dengan EDX untuk memastikan adanya unsur C, N, O, dan Ca. Berdasarkan Gambar 4.11a, membran nilon-CaO 0% b/b mengandung unsur Ca 0,22% massa, hal ini

terjadi karena bahan yang digunakan untuk membuat membran tidak sepenuhnya murni nilon 100%.

Berdasarkan EDX membran nilon-CaO 30% b/b (Gambar 4.11b) kandungan Ca dalam membran tersebut sebesar 0,46% massa, hal ini menunjukkan bahwa penambahan CaO dalam membran berhasil. Hasil ini sesuai dengan penelitian Mahmoud *et al.* (2022).



Gambar 4.12 Analisis mapping membran nilon-CaO (a) 0% dan (b) 30%

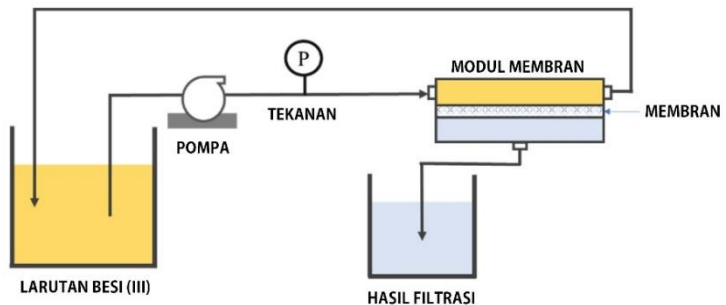
Analisis *mapping* dilakukan untuk mengetahui sebaran material dalam membran, dilihat dari (Gambar 4.12a dan Gambar 4.12b) warna hijau menggambarkan unsur Ca, warna merah menggambarkan unsur C, dan warna biru menggambarkan unsur O dalam membran. Membran

nilon-CaO 30% terdiri dari unsur C, O, dan Ca yang tersebar di dalam membran secara merata. Hal ini menunjukkan berhasilnya penambahan CaO dalam membran. Hasil ini sesuai dengan penelitian Alhanif *et al.* (2018).

D. Aplikasi Membran untuk Pengurangan Kadar Ion

Logam Fe^{3+}

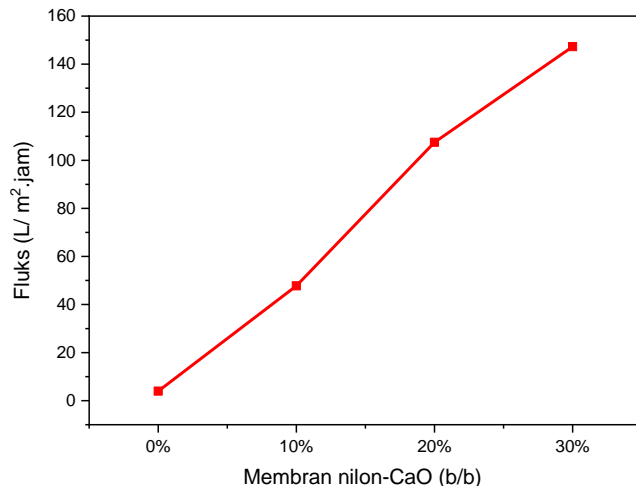
Proses aplikasi membran menggunakan reaktor membran aliran *cross-flow* seperti pada Gambar 4.13 dengan melakukan uji fluks dan rejeksi pada akuades dan larutan Fe^{3+} yang telah dibuat menggunakan membran nilon-CaO.



Gambar 4.13 Skema reaktor membran aliran *cross-flow*

1. Uji fluks membran

Uji fluks membran merupakan jumlah permeat yang melewati permukaan membran menggunakan tekanan 1 - 3 bar, penggunaan tekanan tersebut karena membran termasuk membran mikrofiltrasi. Membran dipotong melingkar dengan diameter 40 mm. Membran yang telah dipotong, diletakkan dalam alat filtrasi dengan sistem *cross-flow*, lalu dialirkan akuades dahulu agar pori membran stabil. Penggunaan aliran *cross-flow* ini bertujuan untuk mengurangi *fouling* pada membran.



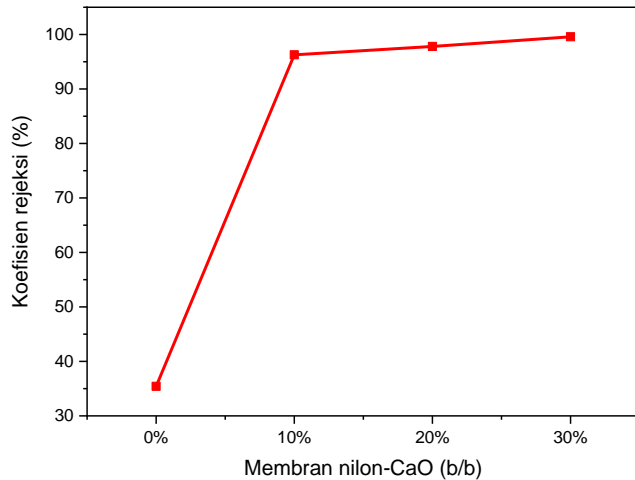
Gambar 4.14 Grafik pengaruh konsentrasi CaO terhadap fluks membran

Hasil perbandingan dari perhitungan fluks dapat dilihat pada Gambar 4.14. Membran nilon-CaO 0% b/b memiliki nilai fluks paling rendah yaitu 3,98 L/ m².jam, hal ini terjadi karena membran memiliki konsentrasi polimer yang tinggi di permukaan membran yang menyebabkan fraksi volume dari polimer naik dan menurunkan nilai fluks.

Membran nilon-CaO 30% b/b memiliki fluks paling tinggi sebesar 147,29 L/ m².jam. Peningkatan nilai fluks terjadi karena membran bersifat *porous* (Gambar 4.10) dan menyebabkan meningkatnya nilai fluks yang berpengaruh pada sedikitnya *fouling* pada membran saat filtrasi. Hasil ini sesuai dengan penelitian Du *et al.* (2020).

2. Uji rejeksi membran

Nilai rejeksi membran menunjukkan kinerja membran saat proses filtrasi, dengan pengukuran fluks membran memungkinkan juga mengukur nilai rejeksi membran. Perhitungan rejeksi membran didasarkan pada konsentrasi larutan setelah filtrasi dan sebelum filtrasi membran terhadap ion logam Fe³⁺.



Gambar 4.15 Grafik pengaruh konsentrasi CaO terhadap rejeksi membran

Berdasarkan Gambar 4.15 penambahan CaO dalam membran menunjukkan nilai koefisien rejeksi membran semakin besar di mana membran nilon-CaO 30% b/b dapat mengurangi kadar ion logam Fe^{3+} sebesar 99,58%. Hal ini terjadi karena dengan penambahan CaO menyebabkan kuatnya ikatan logam pada membran yang mengakibatkan membran dapat menyerap ion logam Fe^{3+} . Hasil ini sesuai dengan penelitian Demirkol *et al.* (2021).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakterisasi FT-IR menunjukkan adanya serapan C-H₂ pada membran nilon-CaO 0%, 10%, 20%, dan 30% b/b pada bilangan gelombang sekitar 2934 cm⁻¹ yang menunjukkan membran tersebut nilon dan juga muncul serapan Ca-O pada bilangan gelombang sekitar 444 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya kandungan CaO di dalam membran. Hasil uji tarik membran nilon-CaO 0%, 10%, 20%, dan 30% b/b berturut-turut sebesar 16,78 MPa; 16,65 MPa; 12,23 MPa; dan 9,47 MPa. Analisis SEM-EDX-*mapping* menunjukkan membran nilon-CaO 0% b/b memiliki ukuran permukaan pori 1,85 μm dan membran nilon-CaO 30% b/b memiliki ukuran permukaan pori 2,77 μm dengan kandungan unsur Ca 0,46 % massa.

2. Penambahan CaO 0%, 10%, 20% dan 30% b/b pada membran meningkatkan nilai fluks membran hingga 147,29 L/m².jam dan meningkatkan rejeksi kadar ion logam Fe³⁺ hingga 99,58 %.

B. Saran

1. Disarankan untuk penelitian selanjutnya melakukan penambahan zat aditif lain untuk memperkuat sifat mekanik membran nilon-CaO.
2. Disarankan untuk penelitian selanjutnya melakukan karakterisasi SEM-EDX-*mapping* untuk semua variasi membran nilon-CaO.

DAFTAR PUSTAKA

- Alawiyah, R. 2017. *Membran Cellulose Nitrat untuk Produksi Etanol Absolut dengan Metoda Pervaporasi (Kajian Pengaruh Temperatur Umpan terhadap Fluks dan Selektivitas Membran)* [Skripsi]. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Alhanif, M., Purnomo, A., Zuhra, U. A., & Kumoro, A. C. 2018. Preparation and characterization of cao catalyst - Polyethersulfone (PES) membrane for biodiesel production and purification. *AIP Conference Proceedings*, 2026. <https://doi.org/10.1063/1.5065045>
- Alshahrani, A. A., Al-Zoubi, H., Alotaibi, S. E., Hassan, H. M. A., Alsohaimi, I. H., Alotaibi, K. M., Alshammari, M. S., Nghiem, L., & Panhuis, M. In Het. 2022a. Assessment of commercialized nylon membranes integrated with thin layer of MWCNTs for potential use in desalination process. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 872–883. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.09.084>
- Alshahrani, A. A., Al-Zoubi, H., Alotaibi, S. E., Hassan, H. M. A., Alsohaimi, I. H., Alotaibi, K. M., Alshammari, M. S., Nghiem, L., & Panhuis, M. In Het. 2022b. Assessment of commercialized nylon membranes integrated with thin layer of MWCNTs for potential use in desalination process. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 872–883. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.09.084>

- Altaera, Y. S., & Broto, R. T. W. 2020. *Utilization of Chicken Egg Shell Waste as a CaO Catalyst for Used Cooking Oil Biodiesel* (Vol. 01, Issue 1).
- Aminah, S., & Meikawati, W. 2016. Calcium Content And Flour Yield Of Poultry Eggshell With Acetic Acid Extraction. *The 4th Universty Research Coloquium 2016*, 49–53.
- Arinstein, A., Burman, M., Gendelman, O., & Zussman, E. 2007. Effect of supramolecular structure on polymer nanofibre elasticity. *Nature Nanotechnology*, 2(1), 59–62. <https://doi.org/10.1038/nnano.2006.172>
- Aryuwanti, L. 2015 . Pemanfaatan Cangkang Telur Bebek Sebagai Adsorben Untuk Mengadsorpsi Logam Cu. [Skripsi]. Fakultas Teknik. Universitas Mulawarman.
- Azizo, A. S., Wirzal, M. D. H., Bilad, M. R., & Yusoff, A. R. M. 2017. Assessment of nylon 6, 6 nanofibre membrane for microalgae harvesting. *AIP Conference Proceedings*, 1891. <https://doi.org/10.1063/1.5005365>
- Berk, Z. 2009. Chapter 8 - Filtration. In Z. Berk (Ed.), *Food Process Engineering and Technology* (pp. 195–216). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373660-4.00008-9>
- Ceribasi, H., & Yetis, U. 2013. Biosorption of Ni(II) and Pb(II) by *Phanerochaete chrysosporium* from a Binary System-Kinetic. *Water Research*, 27(1), 15–20.
- Chadiroh, L.2021. *Sintesis Membran Silika Sekam Padi Termodifikasi Zeolit-Semen Untuk Proses Dekolorisasi Remazol Black B* [Skripsi]. UIN Walisongo.

- Correia, L. M., Cecilia, J. A., Rodríguez-Castellón, E., Cavalcante, C. L., & Vieira, R. S. 2017. Relevance of the Physicochemical Properties of Calcined Quail Eggshell (CaO) as a Catalyst for Biodiesel Production. *Journal of Chemistry*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/5679512>
- Dachriyanus. 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*. Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi Universitas Andalas.
- Demirkol, T. G., Çelik, S. Ö., Güneş Durak, S., Acarer, S., Çetin, E., Akarçay Demir, S., & Tüfekci, N. 2021. Effects of Fe(OH)₃ and MnO₂ Floccs on Iron/Manganese Removal and Fouling in Aerated Submerged Membrane Systems. *Polymers*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/polym13193201>
- Doran, P. M. 2013. Chapter 11 - Unit Operations. In P. M. Doran (Ed.), *Bioprocess Engineering Principles (Second Edition)* (Second Edition, pp. 445–595). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-220851-5.00011-3>
- Du, X., Shi, Y., Jegatheesan, V., & Ul Haq, I. 2020. A review on the mechanism, impacts and control methods of membrane fouling in MBR system. In *Membranes* (Vol. 10, Issue 2). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/membranes10020024>
- Fanani, A., Nugroho, W. A., & Hendrawan, Y. 2014. Analisa Pengaruh Variasi Penambahan Massa Nilon pada Preparasi Membran Nilon terhadap Karakteristik Fisik Membran. In *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem* (Vol. 2, Issue 3).

- Fauzia, K., Misto, & Maulina, W. 2018. Kajian Membran Nilon Sebagai Filter Pada Proses Penjernihan Nira Tebu. *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 3(1), 57–66. <https://doi.org/10.21009/SPEKTRA>
- Fitriyah, Akbar, T., & Alfandi, I. 2022. Pengolahan Limbah Cair Batik Banten secara Koagulasi Menggunakan Tawas dan Adsorpsi dengan Memanfaatkan Zeolit Alam Bayah. *Serambi Engineering*, VII(1), 2499–2509.
- Granados, M. L., Poves, M. D. Z., Alonso, D. M., Mariscal, R., Galisteo, F. C., Moreno-Tost, R., Santamaría, J., & Fierro, J. L. G. 2007. Biodiesel from sunflower oil by using activated calcium oxide. *Applied Catalysis B: Environmental*, 73(3), 317–326. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2006.12.017>
- Guo, Q., Li, Y., Zheng, L.-W., Wei, X.-Y., Xu, Y., Shen, Y.-W., Zhang, K.-G., & Yuan, C.-G. 2023. Facile fabrication of Fe/Zr binary MOFs for arsenic removal in water: High capacity, fast kinetics and good reusability. *Journal of Environmental Sciences*, 128, 213–223. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.08.002>
- Hidayah, M. 2021. *Modification of Surface Hollow Fiber Membrane Ultrafiltration for Processing Produced Water*. 251–257. <https://doi.org/10.5220/0010041302510257>
- Inthiyah, N. 2022. *Kombinasi Serbuk Daun Mengkudu (Morinda Citrifolia L) Dan Cao Dari Canggang Telur Bebek Sebagai Adsorben Pengolahan Minyak Goreng Bekas [Skripsi]*. Universitas Islam Negeri Walisongo.

- Jamaludin, A., & Darma, A. 2012. Analisis Kerusakan X-Ray Fluorescence (Xrf). *Majalah Ilmiah PIN*, *V*, 19–28.
- Jannah, N., Triantoro, A., & Riswan. 2020. Analisis Pengaruh Fly Ash Dan Kapur Tohor Pada Netralisasi Air Skala Laboratorium Di Pt Jorong Barutama Greston. In *JURNAL HIMASAPTA* (Vol. 5, Issue 1).
- Karim, M. A., Juniar, H., Fitria, M., & Ambarsari, P. 2017. *Adsorpsi Ion Logam Fe Dalam Limbah Tekstil Sintesis Dengan Menggunakan Metode Batch* (Vol. 2, Issue 2).
- Kementrian Agama RI. 2015. *Al-Quran Dan Terjemahnya*. Al-Hadi Media Kreasi.
- Kurniawan, P., Kasmiyatun, M., & Soebiyono. 2020. Reduksi Kandungan Logam Berat Fe Pada Air Sungai Jetis Salatiga Secara Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif. *Journal of Chemical Engineering*, *1*(1), 12–17.
- Kusuma, C. 2018. Pengaruh Waktu Pengadukan Dan Pengambilan Sampel Larutan Caco34% Terhadap Jumlah Endapan Pada Alat Filter Press. *Jurnal Inovasi Proses*, *3*(1).
- Lakouraj, M. M., & Mokhtary, M. 2009. Synthesis of polyamides from p-Xylylene glycol and dinitriles. *Journal of Polymer Research*, *16*(6), 681–686. <https://doi.org/10.1007/s10965-009-9273-z>
- Li, B., Wang, Z., Xia, S., Zhang, B., Li, W., Qiu, W., Ma, J., Ding, A., & He, X. 2023. CaO₂-based tablet for effective and green membrane cleaning without additional catalysts. *Journal of Membrane Science*, *672*, 121466. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.memsci.2023.121466>

- Liritzis, I., & Zacharias, N. 2011. *X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology* (pp. 109-142). https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6886-9_6
- Liu, L., Luo, X.-B., Ding, L., & Luo, S.-L. 2019a. 4 - Application of Nanotechnology in the Removal of Heavy Metal From Water. In X. Luo & F. Deng (Eds.), *Nanomaterials for the Removal of Pollutants and Resource Reutilization* (pp. 83-147). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814837-2.00004-4>
- Liu, L., Luo, X. B., Ding, L., & Luo, S. L. 2019b. Application of Nanotechnology in the Removal of Heavy Metal From Water. *Nanomaterials for the Removal of Pollutants and Resource Reutilization*, 83-147. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814837-2.00004-4>
- Lubis, K. L., Elystia, S., Ermal, D. A. S., & Zultiniar, Z. 2022. Penyisihan Logam Fe Pada Air Gambut Menggunakan Membran Chitosan Sebagai Adsorben. *JURNAL SAINS TEKNOLOGI & LINGKUNGAN*, 8(1), 15-24. <https://doi.org/10.29303/jstl.v8i1.298>
- Mahmoud, A., Saied, M. A., Naser, A., & Fahmy, A. 2022. Synthesis and Characterization of Nylon 6,6-Polyvinyl Alcohol-Based Polyelectrolytic Membrane. *Arabian Journal for Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-07537-3>
- Manuhutu, O. 2009. *Penetapan Kadar Lidokain Hcl Dalam Sediaan Injeksi Secara Spektrofotometri Serapan Atom Tidak Langsung*. UNIVERSITAS SANATA DHARMA.

- Mat Nawi, N. I., 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). <https://doi.org/10.3390/membranes10060121>
- Maulina, W., Istikomatul, B., & Supriyadi. 2019. Uji Aktivitas Antibakteri dan Permeabilitas Membran Hibrid Nilon-TiO₂. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 15(3), 81. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v15i3.4625>
- Menkes, R. I. 2017. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia*. Kementerian Kesehatan RI.
- Miguel, G.-R., Juan, H., Leticia, B., Joaquín, N.-M., & E, R.-G. M. 2009. Characterization of Calcium Carbonate, Calcium Oxide, and Calcium Hydroxide as Starting Point to the Improvement of Lime for Their Use in Construction. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 21(11), 694–698. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2009\)21:11\(694\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2009)21:11(694))
- Mittal, A., Teotia, M., Soni, R. K., & Mittal, J. 2016. Applications of egg shell and egg shell membrane as adsorbents: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 223, 376–387. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.08.065>
- Muhajar, & Togomi, Z. 2020. *Pengaruh Ketebalan Media Dan Waktu Filtrasi Terhadap Pengolahan Limbah Rumah Tangga* [Thesis]. Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Muhammad, F., Yusriani, & Dewi, S. 2020. Efektivitas Cangkang Telur Ayam Negeri (*Gallus Gallus Domesticus*) Sebagai

- Adsorben Terhadap Daya Jerap Logam Berat Merkuri.
Jurnal TechLINK, 4(2).
<https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2018/07/27/konsumsi-telur-ayam-ras-diprediksi->
- Mulder, M. 1991. *Basic Principles of Membrane Technology*. Kluwer Academy Pub London.
- Mulyono, S., Mulyani, W., & Kriswandana, F. 2020. Efektifitas Media Penukar Ion Zeolit Dan Ferolit Dalam Menurunkan Kadar Fe Air Sumur. *Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes*, 11.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33846/sf11nk416>
- Murraya, Taufiq, N., & Supriyantini, E. 2018. Kandungan Logam Berat Besi (Fe) Dalam Air, Sedimen Dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Trimulyo, Semarang. *Journal of Marine Research*, 133–140.
- Nurillahi, R., Halimah, D. N., Apriliani, D. G., & Fatimah, I. 2020. *Pengolahan Limbah Batik Cair Menggunakan Fotokatalis Tio₂-Abu Vulkanik Desa Wukirsari Yogyakarta*.
- Nuryana, S. D., Hidartan, Yuda, H. F., & Cahyaningratri. 2019. Penyaringan Unsur-unsur Logam (Fe, Mn) Air Tanah Dangkal di Kelurahan Jembatan Lima, Tambora Jakarta Barat. In *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia* (Vol. 1, Issue 3).
- Nurzam, F. H., & Anaperta, Y. M. 2019. Analisis Potensi Batuan Trass (Pozolan) Untuk Bahan Baku Pembuatan Semen di PT. Bumi Hijau Citra Andalas Site Batu Hampar, Kecamatan Akabiluru, Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 5(1).

- PERMENLHK, R. I. 2022. Pengolahan Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pertambangan Dengan Menggunakan Metode Lahan Basah Buatan. *Kementerian Lingkungan Hidup RI*, 5.
- Pote, L. L., Aprilita, N. H., & Suratman, A. 2013. *Penghilangan Interferensi Fe dan Mn dengan Ekstraksi Pelarut pada Penentuan Co dan Cu dalam Pirolusit Menggunakan Spektrometri Serapan Atom* (Vol. 23, Issue 2).
- Raba, A., Jose, J., & Ortega, B. 2016. *Synthesis Of Calcium Oxide By Means Of Two Different Chemical Synthesis Of Calcium Oxide*. December.
- Rahmanto, M. H. 2019. Analisa Kekuatan Tarik Dan Impak Komposit Berpenguat Serat Kelapa Dan Tebu Dengan Perendaman Naoh Dan Menggunakan Resin Polyester. *JTM*, 07(03), 31–40.
- Rangkuti, D. 2016. *Pembuatan Dan Karakterisasi Beton Polimer Berbasis Limbah Pulp Dregs Sebagai Agregat Dan Resin Epoksi Sebagai Perekat*. Universitas Sumatera Utara.
- Redjeki, S. 2011. *Proses Desalinasi Dengan Membran*. Masyarakat (Dp2m) Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional .
- Rosidah, A. 2013. *Sintesis Dan Karakteristik Membran Nilon Yang Berasal Dari Limbah Benang*.
- Said, N. I. 2003. *Metoda Praktis Penghilangan Zat Besi dan Mangan di Dalam Air Minum*. Kelair BPPT.
- Salindeho, R., Soukota, J., & Poeng, R. 2016. *Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material*.

- Santos, I., Nieves, J., Bringas, P., & Penya, Y. 2010. Machine-Learning-Based Defect Prediction in High-Precision Foundry Production. In *Structural Steel and Castings: Shapes and Standards, Properties and Applications* (pp. 259–276).
- Sari, M., Purwoto, S., Studi, P., Lingkungan, T., Sipil, T., & Perencanaan, D. 2018. *Penurunan Kandungan Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Pada Air Sumur Menggunakan Membran Keramik* (Vol. 70, Issue 1).
- Saswita, N., & Setiani. 2018. *Penggunaan Kapur Tohor (Cao) Dalam Penurunan Kadar Logam Fe Dan Mn Pada Limbah Cair Pewarnaan Ulang Jeans Kabupaten Magelang Tahun 2017* (Vol. 6).
<http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkm>
- Satyanarayana, A., Jagannadharao, M., Mouli, K., & Seetaramireddy, B. 2020. The Performance of PIXE Technique through a Geochemical Analysis of High Grade Rocks. *Journal of Nuclear Physics Material Sciences Radiation and Applications*, 7, 13–28.
<https://doi.org/10.15415/jnp.2019.71002>
- Schramm, R. 2016. *Use of X-ray Fluorescence Analysis for the Determination of Rare Earth Elements*. 1(9).
<https://doi.org/doi:10.1515/psr-2016-0061>
- Shalahuddin, I., & Wibisono, Y. 2019. Mekanisme Fouling pada Membran Mikrofiltrasi Mode Aliran Searah dan Silang. *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(1), 6.
<https://doi.org/10.22146/jrekpros.40458>
- Sihombing, T. A. 2017. *Effects Of Decomposition Temperatures And Catalyst Concentration Of Calcium Oxide (Cao) From*

Chicken Eggshells On Biodiesel Production From Waste Cooking Oil. Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya .

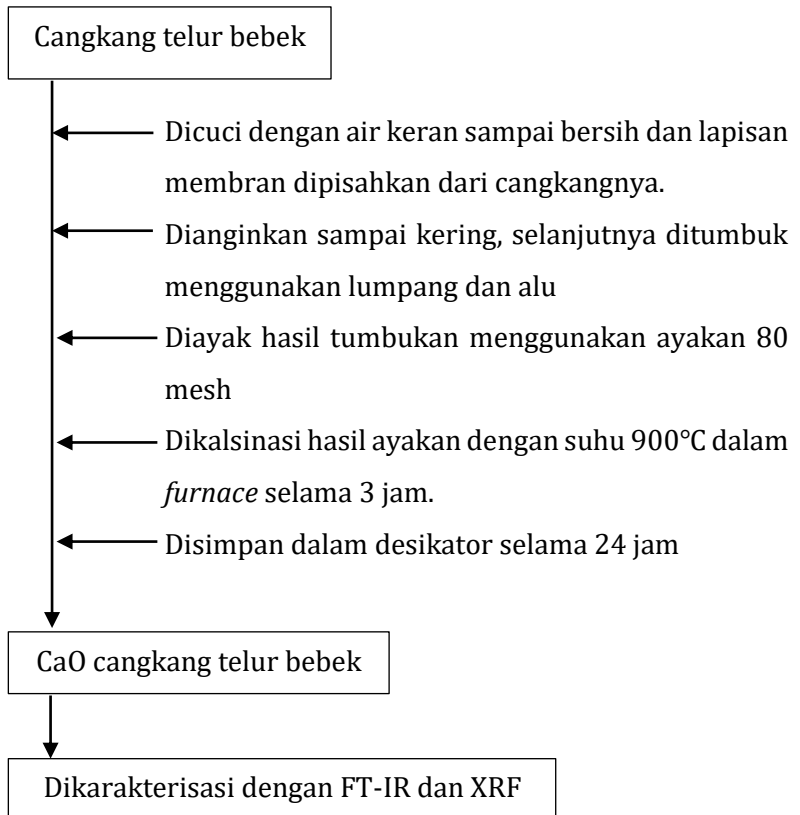
- Suhardin, A., Syahrul Ulum, M., Darwis. 2018. Penentuan Komposisi Serta Suhu Kalsinasi Optimum CaO Dari Batu Kapur Kecamatan Banawa Determining The Composition and Optimum Calcination Temperature of CaO of Banawa Limestone. *Natural Science: Journal of Science and Technology ISSN*, 7(1), 30–35.
- Suhendi, A. 2007. *Pencirian Membran Mikrofiltrasi Nilon-6.* Institut Pertanian Bogor.
- Suryandari, A. S., Ardiansyah, Z. R., Nurmala, V., Putri, A., Arfiansyah, I., Mustain, A., Dewajani, H., & Mufid, D. 2021. *Sintesis Biodiesel melalui Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas Berbasis Katalis Heterogen CaO dari Limbah Cangkang Telur Ayam.* 5(1).
- Suryandari, E. T. 2019. *Sintesis Membran Komposit PvdF-Zeolit Untuk Penghilangan Metilen Biru* (Vol. 6, Issue 2).
- Syakir, A. 2014. *Karakterisasi Membran Komposit Nilon-Arang Untuk Proses Filtrasi Timbal.*
- Syamsudin, K. W. A. 2017. *Sintesis dan Karakterisasi Karbon Aktif Tandan Pisang Dengan Aktivator H₃PO₄ 10% untuk Adsorpsi Logam Pb (II) Dan Cr (VI) Dalam Larutan.* Universitas Islam Indonesia.
- Widowati, W. 2008. Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran. *Penerbit Andi.*

- Wu, Y., Xu, Y., Wang, D., Zhao, Y., Weng, S., Xu, D., & Wu, J. 2004. *FT-IR Spectroscopic Investigation on the Interaction Between Nylon 66 and Lithium Salts.*
- Yonhly, H., Zainal, A., Ibrahim, I., Teknik, J., Politeknik, K., & Lhokseumawe, N. 2020. *Penurunan Kadar Besi Fe 2+ Dan Mn 2+ Dengan Metode Elektrolisis* 4 (1).
- Zahara, A., Bhername, G., & Harahap, M. R. 2020. *Literature Review: Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Sintesis Katalis Heterogen Cao Dari Cangkang Telur.*

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Skema kerja

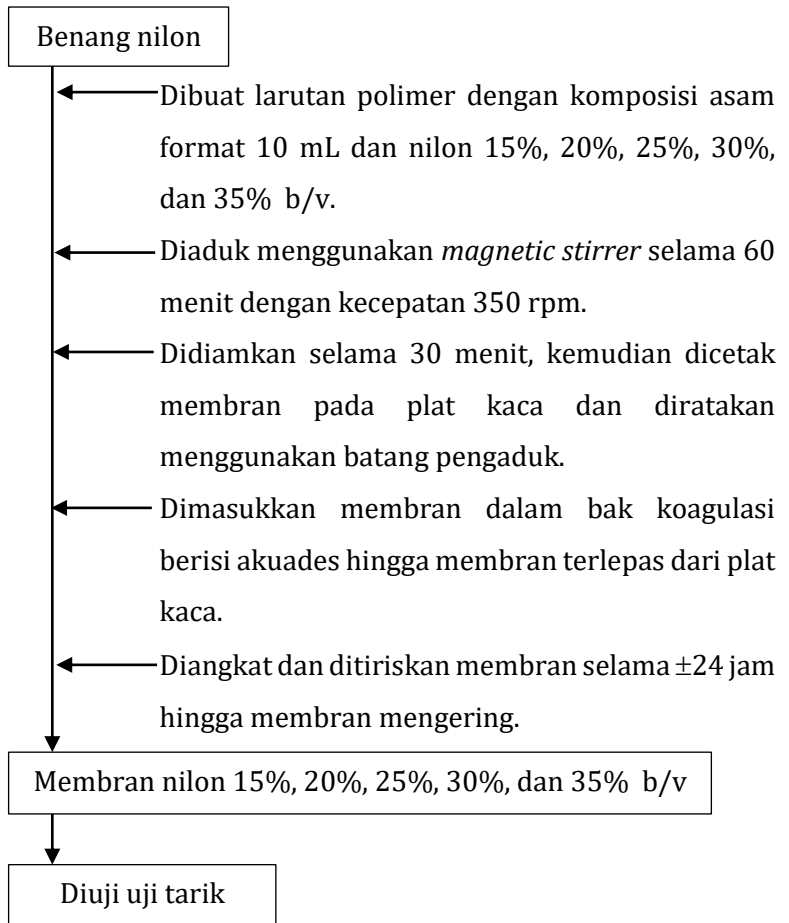
A. Sintesis dan karakterisasi cao dari cangkang telur bebek



(Altaera & Broto, 2020).

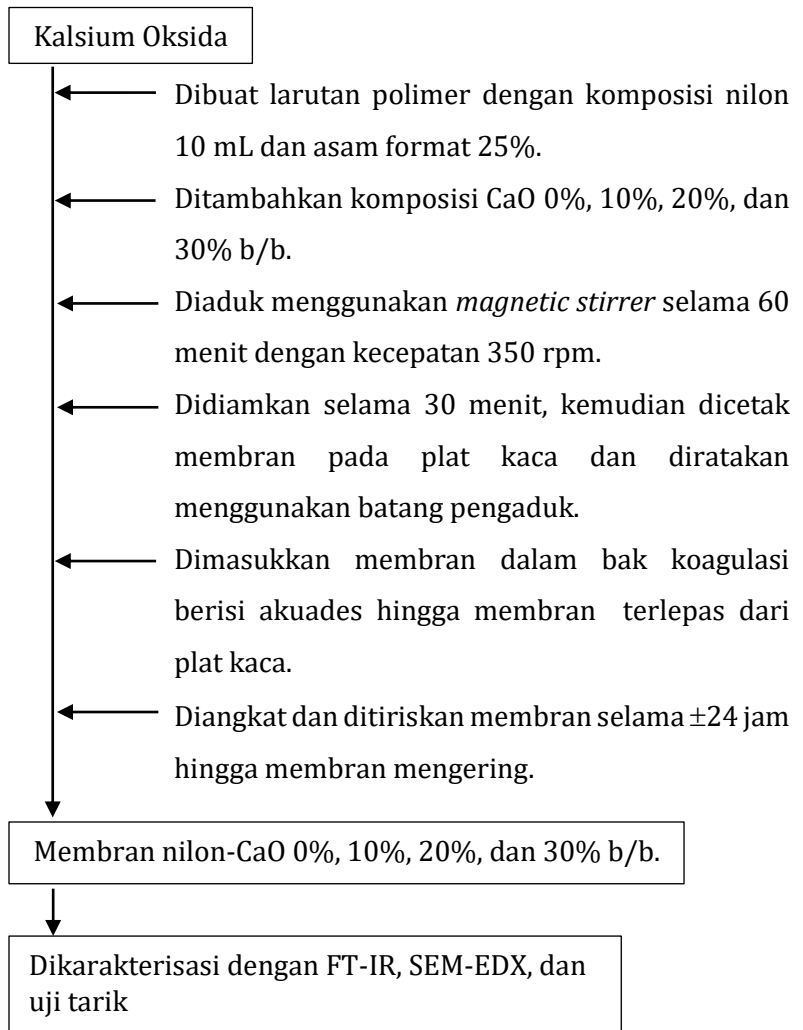
B. Pembuatan membran

1. Membran nilon



(Rosidah, 2013)

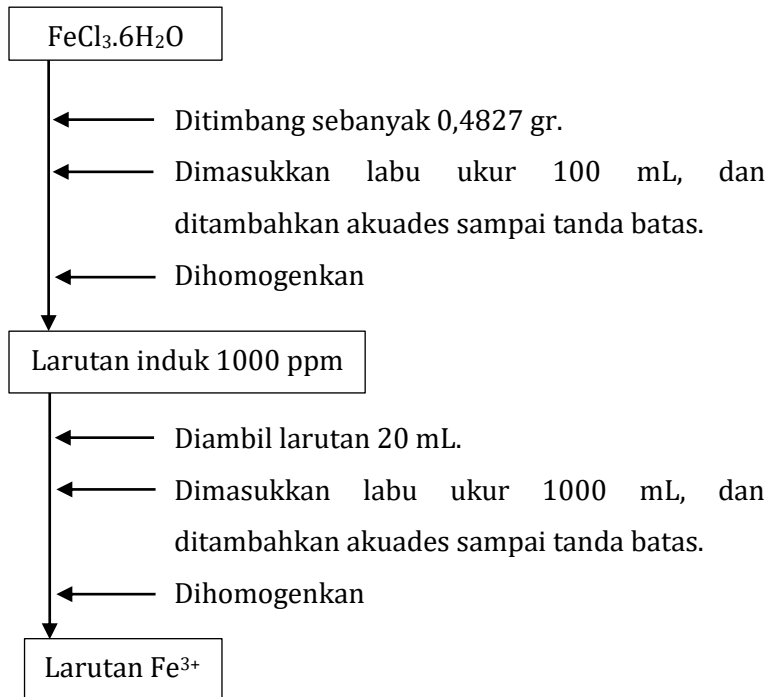
2. Membran nilon-CaO



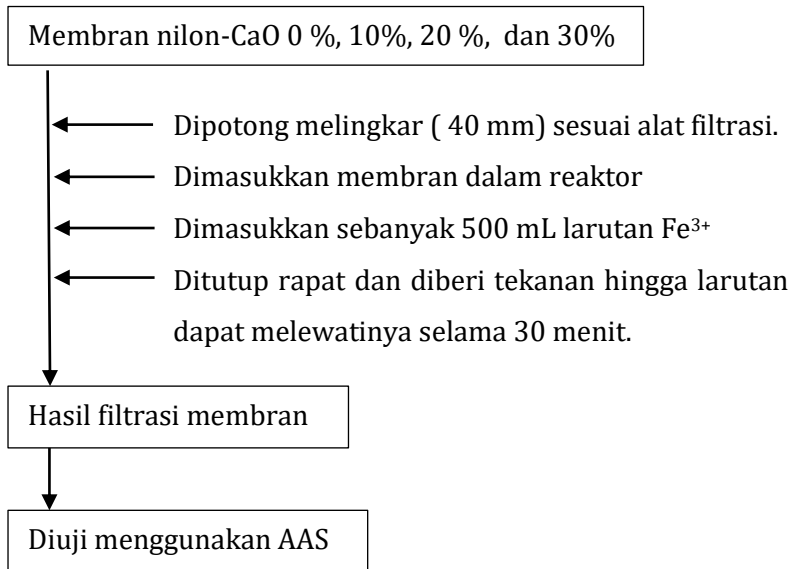
(Syakir, 2014)

C. Aplikasi membran

1. Pembuatan larutan Fe^{3+}



2. Pengujian membran untuk pengurangan kadar logam Fe



(Chadiroh, 2021)

Lampiran 2 : Analisis data

A. Pembuatan membran

1. Membran nilon

Diketahui :

$$\% \frac{b}{v} = \frac{\text{nilon (gram)}}{\text{asam format (mL)}} \times 100\%$$

$\frac{1,5}{10} \times 100\% = 15\% \text{ b/v}$
$\frac{2}{10} \times 100\% = 20\% \text{ b/v}$
$\frac{2,5}{10} \times 100\% = 25\% \text{ b/v}$
$\frac{3}{10} \times 100\% = 30\% \text{ b/v}$
$\frac{3,5}{10} \times 100\% = 35\% \text{ b/v}$

2. Membran nilon CaO

Diketahui :

Membran nilon yang terbaik 25% b/v

$$\% \frac{b}{b} = \frac{\text{CaO (gram)}}{\text{nilon (gram)}} \times 100\%$$

$\frac{0}{2,5} \times 100\% = 0\% \text{ b/b}$
$\frac{0,25}{2,5} \times 100\% = 10\% \text{ b/b}$
$\frac{0,5}{2,5} \times 100\% = 20\% \text{ b/b}$
$\frac{0,75}{2,5} \times 100\% = 30\% \text{ b/b}$

B. Pembuatan larutan Fe^{3+}

Diketahui :

$$\begin{aligned} 1000 \text{ ppm} &= 1000 \text{ mg/L} \\ &= 100 \text{ mg/100 mL} \end{aligned}$$

$$\text{Mr FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 270,33 \text{ g/mol}$$

$$\text{Ar Fe} = 56 \text{ g/mol}$$

Ditanya = Massa $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ untuk membuat larutan
1000 ppm dalam 100 mL?

$$\text{Jawab} = \text{mol Fe} = \text{mol FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$$

$$\begin{aligned} \frac{\text{Ar Fe}}{\text{Mr FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}} &= \frac{\text{massa Fe}}{\text{massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}} \\ \frac{56 \text{ g/mol}}{270,33 \text{ g/mol}} &= \frac{100 \text{ mg}}{\text{massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}} \end{aligned}$$

$$\text{massa FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 482,732 \text{ mg} = 0,04827 \text{ g}$$

- Pembuatan larutan 20 ppm dalam 1000 mL

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$1000 \text{ mL} \times 20 \text{ ppm} = V_2 \times 1000 \text{ ppm}$$

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

C. Nilai uji tarik membran

Diketahui :

Tegangan =

0%	8,56 Mpa
10%	8,16 Mpa
20%	5,26 Mpa
30%	4,07 Mpa

Regangan =

0%	0,51 mm
10%	0,49 mm
20%	0,43 mm
30%	0,43 mm

Ditanya : Modulus Young membran (σ_T)?

Dijawab :

- Membran nilon-CaO 0%

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_T}$$

$$\sigma_T = \frac{8,56}{0,51}$$

$$= 16,78 \text{ Mpa}$$

- Membran nilon-CaO 10%

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_T}$$

$$\sigma_T = \frac{8,16}{0,49}$$

$$= 16,65 \text{ Mpa}$$

- Membran nilon-CaO 20%

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_T}$$

$$\sigma_T = \frac{5,26}{0,43}$$

$$= 12,23 \text{ Mpa}$$

- Membran nilon-CaO 30%

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_T}$$

$$\sigma_T = \frac{4,07}{0,43}$$

$$= 9,47 \text{ Mpa}$$

D. Nilai fluks membran nilon-CaO

Diketahui :

Waktu = 30 menit = 0,5 jam

Volume permeat =

0%	0,01 L
10%	0,12 L
20%	0,27 L
30%	0,37 L

Diameter membran = 40 mm = 0,04 m

Ditanya : nilai fluks (J) membran?

Jawab : luas permukaan = πr^2

$$= 3,14 (0,04)^2$$

$$= 5,024 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

- Membran nilon-CaO 0%

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

$$J = \frac{0,01}{(0,005024 \times 0,5)}$$

$$= 3,98 \text{ L/m}^2 \cdot \text{Jam}$$

- Membran nilon-CaO 10%

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

$$J = \frac{0,12}{(0,005024 \times 0,5)}$$

$$= 47,77 \text{ L/m}^2 \cdot \text{Jam}$$

- Membran nilon-CaO 20%

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

$$J = \frac{0,27}{(0,005024 \times 0,5)}$$

$$= 107,48 \text{ L/m}^2\text{.Jam}$$

- Membran nilon-CaO 30%

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

$$J = \frac{0,37}{(0,005024 \times 0,5)}$$

$$= 147,29 \text{ L/m}^2\text{.Jam}$$

E. Nilai % rejeksi membran nilon-CaO

Diketahui :

Membran	Konsentrasi awal (ppm)	Konsentrasi akhir (ppm)
0%	8,20	5,3110
10%	8,20	0,3059
20%	8,20	0,1794
30%	8,20	0,0344

Ditanya : nilai % rejeksi membran?

Dijawab :

- Membran nilon-CaO 0%

$$\begin{aligned} \% \text{koefisien rejeksi} &= \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{5,3110}{8,2}\right) \times 100\% \\ &= 35,22\% \end{aligned}$$

- Membran nilon-CaO 10%

$$\begin{aligned} \% \text{koefisien rejeksi} &= \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{0,3059}{8,2}\right) \times 100\% \\ &= 96,27\% \end{aligned}$$

- Membran nilon-CaO 20%

$$\begin{aligned} \% \text{koefisien rejeksi} &= \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{0,1794}{8,2}\right) \times 100\% \\ &= 97,81\% \end{aligned}$$

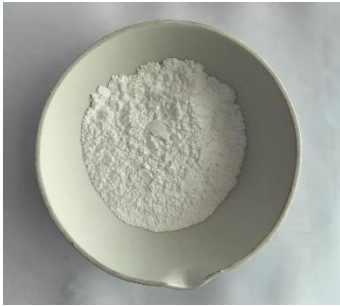
- Membran nilon-CaO 30%

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

$$= \left(1 - \frac{0,0344}{8,2}\right) \times 100\%$$

$$= 99,58\%$$

Lampiran 3 : Dokumentasi



CaO dari cangkang telur bebek



Nilon + asam format
+ CaO



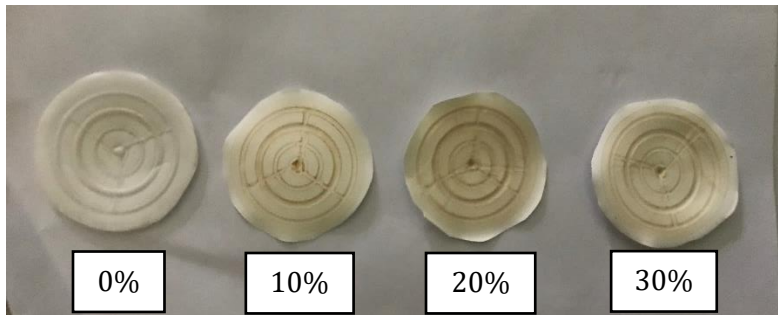
Membran nilon



Membran nilon-CaO



Reaktor membran *cross-flow*

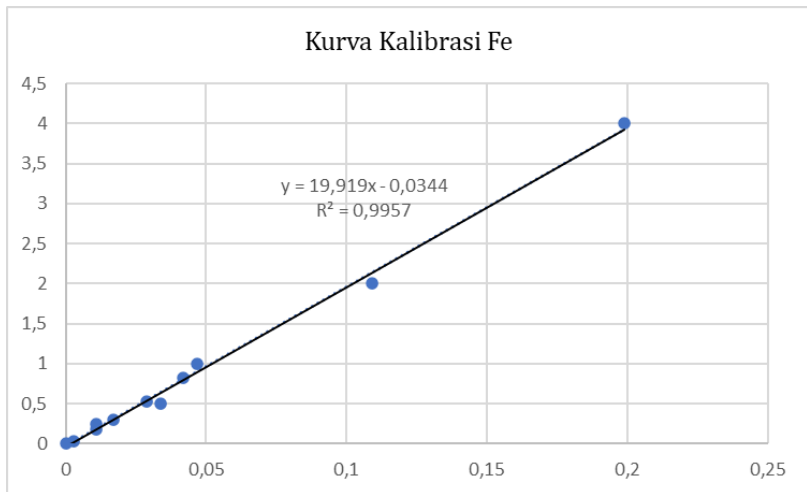


Membran nilon-CaO setelah filtrasi



Kondisi Larutan Fe^{3+} saat filtrasi

Lampiran 4 : Kurva kalibrasi



Lampiran 5 : Data pengukuran diameter permukaan pori membran dengan Image-J

A. Membran nilon-CaO 0%

No	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	0.027	37.009	11.025	90.827	10.981	2.730
2	0.022	41.279	16.361	87.743	16.970	2.227
3	0.017	43.496	24.659	79.853	23.512	1.679
4	0.015	40.676	20.309	72.000	24.969	1.445
5	0.004	27.147	18.500	47.000	19.440	0.361
6	0.022	29.744	16.417	52.000	31.781	2.165
7	0.012	27.379	14.310	70.000	29.495	1.137
8	0.003	29.706	17.367	51.000	27.408	0.304
9	0.021	40.889	17.126	116.000	-48.343	2.061

10	0.017	38.390	18.246	63.387	-40.638	1.674
11	0.017	33.157	15.051	118.000	-35.618	1.648
12	0.018	40.198	16.195	72.857	-38.918	1.735
13	0.006	25.266	13.866	67.000	8.673	0.597
14	0.006	20.778	10.807	53.000	11.889	0.582
15	0.005	21.921	13.074	60.000	-110.41	0.459
16	0.004	24.067	11.650	48.000	-112.06	0.399
17	0.003	26.836	19.033	40.556	-105.06	0.269
18	0.004	38.526	27.480	61.000	18.886	0.402
19	0.005	40.602	22.319	66.117	-81.158	0.455
20	0.005	40.685	24.200	73.282	-118.61	0.501
21	0.004	43.887	31.989	74.000	-30.466	0.394
22	0.006	54.696	39.556	77.444	-91.061	0.540
23	0.005	36.368	26.109	58.000	42.436	0.474
24	0.009	45.254	27.903	79.000	-1.848	0.930
25	0.007	50.329	27.000	97.000	0.000	0.720
26	0.005	50.667	31.000	80.000	-90.000	0.470
27	0.007	45.292	33.535	67.778	-90.868	0.660
28	0.005	46.699	28.433	66.951	-88.807	0.487
29	0.003	54.077	41.500	70.583	4.764	0.241
30	0.003	56.054	33.325	83.692	-77.905	0.286
31	0.002	58.022	36.110	103.000	19.983	0.234
32	0.004	52.387	34.564	72.000	-67.620	0.368
33	0.002	53.072	43.333	69.556	0.000	0.160
34	0.003	55.873	44.990	69.462	14.036	0.288
35	0.003	57.110	38.238	71.395	-86.532	0.334
36	0.004	63.218	49.920	86.000	36.870	0.400
37	0.004	62.279	45.697	76.417	-25.866	0.370
38	0.002	59.199	42.535	72.551	-76.759	0.178

39	0.003	59.509	42.889	78.000	55.008	0.240
40	0.002	55.125	43.777	72.000	13.392	0.216
41	0.002	57.316	39.942	84.841	-90.000	0.207
42	0.002	54.325	45.345	78.333	3.814	0.154
43	0.002	54.296	35.746	70.635	-94.086	0.140
44	0.001	51.478	42.207	64.333	4.086	0.134
45	0.001	51.478	42.207	64.333	4.086	0.134
46	0.002	51.772	42.500	67.000	7.125	0.161
47	0.002	52.273	43.059	70.000	-90.000	0.167
48	0.002	55.570	44.497	63.549	-90.000	0.167
49	0.002	63.685	47.200	85.667	-82.405	0.155
50	0.002	56.103	38.374	71.630	8.130	0.209
51	0.002	64.909	33.000	90.889	34.509	0.191
52	0.001	57.365	42.387	66.288	57.995	0.093
53	0.9	59.057	52.778	66.014	-60.255	0.081
54	0.9	64.223	55.390	71.295	26.565	0.066
55	0.002	69.188	54.061	86.796	-70.346	0.144
56	0.003	53.067	32.667	88.333	0.000	0.240
57	0.004	54.868	39.337	73.235	-80.789	0.379
58	0.002	63.972	51.148	82.815	-49.399	0.179
59	0.002	74.127	49.333	102.167	82.875	0.162
60	0.002	60.692	51.056	75.000	-25.017	0.161
61	0.002	65.426	53.209	89.347	-126.87	0.200
62	0.002	54.739	44.593	79.667	-63.435	0.227
63	0.002	51.305	38.988	63.612	30.069	0.215
64	0.002	54.986	33.307	80.333	-92.603	0.227
65	0.002	57.159	49.765	77.369	-79.992	0.170
66	0.002	64.755	54.556	80.333	-86.424	0.154
67	0.001	57.308	51.008	65.397	48.814	0.109

68	0.001	57.827	48.800	70.100	16.699	0.104
69	0.003	53.069	41.340	68.000	-61.821	0.318
70	0.002	65.368	48.000	85.000	-48.814	0.213
71	0.002	62.996	56.133	74.067	7.595	0.151
72	0.002	58.648	47.771	70.771	-50.906	0.206
73	0.001	53.931	40.897	71.181	28.610	0.128
74	0.003	48.135	38.216	65.115	-61.390	0.251
75	0.002	49.585	38.593	62.961	7.595	0.148
76	0.002	55.281	44.913	72.715	0.000	0.227
77	0.004	57.096	39.996	75.853	-69.775	0.401
78	0.002	70.863	53.647	98.294	3.366	0.170
79	0.003	73.424	41.000	122.000	-90.000	0.320
80	0.004	64.482	46.138	82.606	-101.97	0.337
81	0.002	64.985	52.510	77.000	-33.690	0.144
82	0.002	52.005	42.900	63.200	-5.711	0.201
83	0.003	54.008	29.742	72.452	-91.848	0.310
84	0.001	60.519	44.500	80.000	-14.036	0.124
85	0.001	57.564	49.000	75.000	-99.462	0.122
86	0.001	61.780	49.595	74.000	-33.690	0.108
87	0.001	53.000	40.000	72.000	-90.000	0.120
88	0.001	46.399	33.173	73.667	-75.964	0.118
89	0.001	44.935	39.667	51.889	-135.00	0.104
90	0.004	52.259	40.885	70.074	-85.711	0.394
91	0.002	53.697	45.227	66.333	17.526	0.202
92	0.002	52.310	42.227	61.213	23.199	0.152
93	0.002	62.015	42.067	93.667	23.199	0.233
94	0.002	59.084	49.499	70.444	-70.710	0.213
95	0.002	62.923	40.177	85.995	2.862	0.193
96	0.001	64.415	51.494	77.333	-19.983	0.118

97	0.002	66.641	47.241	80.612	-104.03	0.167
98	0.001	72.034	55.600	99.667	45.000	0.099
99	0.003	61.032	48.630	85.400	9.462	0.305
100	0.002	64.287	49.635	76.556	-87.274	0.207
101	0.002	74.994	58.722	104.778	0.000	0.200
102	0.001	67.080	47.178	84.444	-90.000	0.113
103	0.001	74.075	56.686	91.000	-45.000	0.132
Rata-rata						1.850

B. Membran nilon-CaO 30%

No	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	0.031	58.803	30.000	104.479	22.620	3.128
2	0.029	63.933	34.000	129.000	30.426	2.930
3	0.022	69.945	42.595	130.140	34.129	2.180
4	0.032	58.414	28.979	133.000	42.973	3.207
5	0.027	66.892	35.975	110.875	52.696	2.647
6	0.026	54.762	28.823	126.945	147.051	2.581
7	0.032	55.577	29.765	122.000	147.501	3.210
8	0.036	72.169	38.681	129.303	87.114	3.584
9	0.035	60.270	32.334	110.000	18.435	3.519
10	0.023	48.043	25.134	112.000	120.579	2.306
11	0.034	60.163	29.909	101.509	18.113	3.386
12	0.043	63.290	30.076	158.000	-52.481	4.248
13	0.047	67.662	28.069	138.833	39.289	4.703
14	0.047	76.038	36.148	166.200	-7.447	4.641
15	0.045	68.169	31.574	141.821	-148.11	4.499
16	0.041	60.270	30.011	127.000	37.208	4.079
17	0.025	58.422	33.471	99.617	140.013	2.434
18	0.026	46.887	25.135	84.087	139.254	2.581

19	0.018	84.223	51.779	149.000	33.959	1.777
20	0.017	78.887	46.969	120.316	-37.875	1.715
21	0.032	66.170	26.271	153.857	4.357	3.168
22	0.038	61.720	25.344	148.359	-52.487	3.754
23	0.027	40.386	24.740	66.940	26.565	2.690
24	0.014	90.678	59.616	158.317	23.703	1.347
25	0.014	87.621	54.826	141.304	-60.101	1.388
26	0.017	89.237	52.956	172.939	169.875	1.711
27	0.052	70.576	31.464	134.000	4.467	5.149
28	0.061	61.662	27.822	143.000	-67.847	6.062
29	0.055	70.278	31.863	162.630	-67.023	5.445
30	0.027	48.161	23.797	90.360	-43.781	2.666
31	0.036	65.553	38.440	144.240	48.366	3.622
32	0.041	52.454	30.676	118.259	45.900	4.063
33	0.023	65.761	36.711	105.657	-47.675	2.278
34	0.026	63.328	28.544	160.785	-40.746	2.581
35	0.029	58.903	32.264	137.000	50.421	2.927
36	0.032	57.358	28.122	154.909	10.257	3.210
37	0.031	58.283	27.000	131.000	-90.000	3.068
38	0.034	84.696	58.038	137.287	47.899	3.365
39	0.026	83.821	49.230	127.451	-43.122	2.596
40	0.028	86.863	56.698	155.000	16.113	2.818
41	0.030	81.970	44.750	146.000	-88.282	3.009
42	0.017	67.052	45.598	134.878	15.489	1.727
43	0.016	68.559	41.801	144.000	-57.758	1.541
44	0.016	63.785	34.266	105.080	8.130	1.560
45	0.018	67.183	40.046	126.000	-43.210	1.816
46	0.016	101.676	60.911	148.589	-70.880	1.592
47	0.013	102.049	72.954	146.392	26.565	1.300

48	0.015	100.416	60.360	166.000	-101.45	1.514
49	0.014	98.138	64.994	183.000	-36.027	1.364
50	0.015	51.015	30.147	101.160	-3.053	1.506
51	0.013	47.110	27.438	89.438	-88.210	1.284
52	0.014	53.591	28.628	151.218	-30.141	1.438
53	0.014	51.838	32.943	88.888	33.453	1.346
54	0.033	115.468	78.664	174.000	0.521	3.309
55	0.029	114.933	82.497	165.277	4.128	2.925
56	0.025	122.032	77.286	186.357	-0.682	2.527
57	0.015	118.963	88.782	181.939	-95.711	1.511
58	0.033	62.208	23.894	201.282	16.091	3.256
59	0.025	84.363	51.562	127.127	31.201	2.497
60	0.030	59.953	26.272	141.380	-19.537	2.968
61	0.027	58.411	24.176	159.000	-21.448	2.715
62	0.024	73.231	40.207	152.098	32.307	2.420
63	0.024	89.617	46.532	150.063	86.379	2.381
64	0.008	72.543	40.650	127.850	92.148	0.803
65	0.010	72.641	45.915	127.000	87.563	0.943
66	0.014	72.505	45.896	117.000	80.538	1.342
67	0.009	79.990	56.791	120.990	76.264	0.929
68	0.011	75.404	51.000	117.444	31.329	1.080
69	0.009	84.947	60.838	125.259	-75.651	0.890
70	0.010	77.245	45.702	114.786	-74.846	0.997
71	0.009	78.176	41.000	117.000	-90.000	0.902
72	0.028	94.497	54.931	145.004	72.474	2.797
73	0.023	116.803	68.179	180.105	5.659	2.237
74	0.017	107.451	59.236	168.441	-28.664	1.714
75	0.012	110.333	65.796	171.338	-13.069	1.153
76	0.024	111.985	53.602	218.292	7.658	2.408

77	0.015	66.111	37.276	122.955	-30.579	1.537
78	0.016	54.669	37.693	80.735	-32.692	1.596
79	0.015	53.033	36.048	90.000	-42.839	1.504
80	0.016	48.683	32.716	73.959	-39.806	1.566
81	0.018	47.306	28.617	88.093	-42.780	1.831
82	0.021	48.175	29.476	75.095	-43.847	2.113
83	0.021	48.175	29.476	75.095	-43.847	2.113
84	0.024	50.465	29.169	109.652	-45.343	2.368
85	0.022	57.054	33.820	172.000	-44.635	2.226
86	0.013	57.381	37.354	100.000	-45.630	1.290
87	0.042	54.296	32.890	116.000	36.431	4.187
88	0.042	48.805	27.610	90.308	37.314	4.135
89	0.046	50.401	26.612	79.026	39.710	4.614
90	0.050	52.027	28.636	124.000	42.383	4.968
91	0.050	55.738	29.737	104.708	60.945	4.955
92	0.041	50.798	27.005	91.822	-158.45	4.096
93	0.049	68.242	34.920	159.277	24.659	4.854
94	0.049	52.164	27.561	93.278	-69.611	4.835
95	0.046	71.879	34.692	153.620	155.452	4.586
96	0.039	60.627	29.244	188.865	176.442	3.878
97	0.046	55.429	30.461	99.000	-77.118	4.587
98	0.005	61.453	43.000	95.000	17.745	0.526
99	0.007	65.204	32.000	106.720	-53.130	0.702
100	0.005	65.399	45.000	97.312	-51.710	0.485
101	0.018	64.382	40.807	124.037	-5.254	1.752
102	0.012	69.064	35.763	122.831	-88.059	1.184
103	0.010	59.694	40.373	95.744	-83.019	0.990
Rata-rata						2.777

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Krisna Yudha Syahputra
2. Tempat & Tgl. Lahir : Semarang, 18 Mei 2001
3. Alamat Rumah : Jl. Magersari IV/96 Semarang
4. HP : +6281252097882
5. E-mail : Krisnaydha63@gmail.com

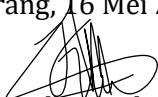
B. Riwayat Pendidikan

- a. SD N Pendrikan Kidul (2007 - 2013)
- b. SMP N 7 Semarang (2013 - 2016)
- c. SMA N 14 Semarang (2016 - 2019)

C. Prestasi Akademik

- a. Medali Emas Olimpiade Kimia Internasional Tahun 2023
- b. Juara Favorit Lomba Karya Tulis Ilmiah (LKTIN) Nasional 2021
- c. Finalis Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional (LKTIN) Tahun 2021
- d. Finalis Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional (LKTIN) Tahun 2020

Semarang, 16 Mei 2023


Krisna Yudha Syahputra