

**STUDI TRANSPOR *MALACHITE GREEN* DENGAN Co-EDAF 6%  
SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA MENGGUNAKAN METODE  
*POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM)***

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Fadhillah Nurul Aini**



**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### STUDI TRANSPOR *MALACHITE GREEN* DENGAN Co-EDAF 6% SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA MENGGUNAKAN METODE *POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM)*

Oleh

FADHILLAH NURUL AINI

Kontaminasi zat warna merupakan masalah yang sering dihadapi dalam pengelolaan air limbah. Proses penghilangan zat warna dengan metode konvensional, sering kali tidak efektif dan tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu, metode membran *Polymer Inclusion Membrane (PIM)* telah dikembangkan sebagai alternatif yang lebih efektif dan ramah lingkungan untuk menghilangkan zat warna dari air permukaan. Penelitian mengenai transpor *Malachite Green (MG)* dengan menggunakan metode PIM menggunakan senyawa pembawa *Copoly Eugenol-Diallyl Phthalate (Co-EDAF 6%)* telah dilakukan. Penelitian ini menggunakan beberapa parameter yang memiliki pengaruh pada MG, diantaranya pH MG pada fasa sumber, konsentrasi fasa penerima  $\text{HNO}_3$ , ketebalan membran, konsentrasi senyawa pembawa, waktu transpor, dan kompetisi transpor MG pada limbah buatan. Preparasi pembuatan membran PIM dilakukan dengan melarutkan polivinil klorida (PVC), dibenzil eter (DBE), dan senyawa pembawa (Co-EDAF 6%) dalam pelarut tetrahidrofuran (THF). Konsentrasi MG setelah transpor ditentukan dengan spektrofotometer UV-Vis dan absorbansinya diukur pada panjang gelombang 617 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran PIM dengan senyawa pembawa Co-EDAF 6% mampu mentranspor MG pada pH fasa sumber 8, konsentrasi fasa penerima  $\text{HNO}_3$  0,75 M, ketebalan membran PIM  $T_{54}$ , konsentrasi senyawa pembawa 0,02 M dengan waktu transpor 18 jam dengan %*removal* 91,86%. Membran PIM sebelum dan setelah transpor dikarakterisasi menggunakan FTIR dan SEM EDX. Transpor MG dengan logam Pb(II) dan Cu(II) menghasilkan %*removal* MG memiliki selisih sebesar 3,9 % antara transpor dengan logam dan tanpa logam. Keberadaan logam kompetitor menjadi pengganggu pada proses transpor MG dari fasa sumber menuju fasa penerima.

Kata kunci : *Copoly Eugenol-Dialil Ftalat 6%, Malachite Green, Polymer Inclusion Membrane, Transpor.*

## **ABSTRACT**

### **TRANSPORT STUDY OF MALACHITE GREEN WITH Co-EDAF 6% AS A CARRIER USING THE POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM) METHODS**

**By**

**FADHILLAH NURUL AINI**

Dye contamination is a frequently encountered problem in wastewater management. The process of dye removal by conventional methods is often ineffective and not environmentally friendly. Therefore, the Polymer Inclusion Membrane (PIM) method has been developed as a more effective and environmentally friendly alternative for removing dyes from surface water. Research on Malachite Green (MG) transport using the PIM method using the carrier Copoly Eugenol- Diallyl Phthalate (Co-EDAF 6%) was conducted. This study uses several parameters that have an influence on MG, including the pH of MG in the source phase, the concentration of the receiving phase HNO<sub>3</sub>, membrane thickness, concentration of carrier compounds, transport time, and MG transport competition in artificial waste. Preparation of PIM membrane was carried out by dissolving polyvinyl chloride (PVC), dibenzyl ether (DBE), and carrier (Co-EDAF 6%) in tetrahydrofuran (THF) solvent. The concentration of MG after transport was determined with a UV-Vis spectrophotometer and the absorbance was measured at a wavelength of 617 nm. The results showed that PIM membrane with 6% Co-EDAF carrier was able to transport MG at source phase pH 8, receiving phase concentration of HNO<sub>3</sub> 0.75 M, PIM membrane thickness T54, carrier concentration 0.02 M with a transport time of 18 hours with %removal 91.86%. PIM membranes before and after transport were characterized using FTIR and SEM EDX. MG transport with Pb(II) and Cu(II) metals resulted in %removal of MG having a difference of 3.9% between transport with metal and without metal. The presence of competitor metals becomes a disturbance in the process of MG transport from the source phase to the receiving phase.

**Keyword :** Copoly Eugenol-Dialyl Phthalate 6%, Malachite Green, Polymer Inclusion Membrane, Transport.

**STUDI TRANSPOR *MALACHITE GREEN* DENGAN Co-EDAF 6%  
SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA MENGGUNAKAN METODE  
*POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM)***

Oleh

*Fadhillah Nurul Aini*

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar  
SARJANA SAINS

pada

Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

Judul : **STUDI TRANSPOR *MALACHITE GREEN*  
DENGAN Co-EDAF 6% SEBAGAI  
SENYAWA PEMBAWA MENGGUNAKAN  
METODE *POLYMER INCLUSION*  
*MEMBRANE (PIM)***

Nama : **Fadhillah Nurul Aini**

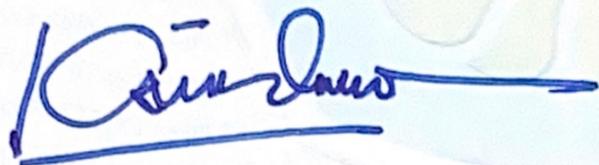
Nomor Pokok Mahasiswa : 2017011073

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

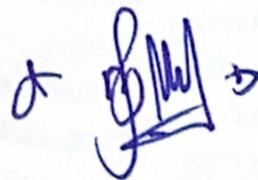


**Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.**  
NIP. 197007052005011003



**Dr. Rinawati, M.Si.**  
NIP. 197104142000032001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila

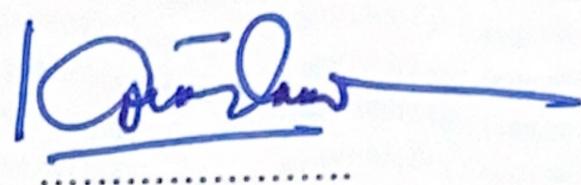


**Dr. Mita Rilyanti, M.Si.**  
NIP. 197205302000032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.**



.....

Sekretaris : **Dr. Rinawati, M.Si.**



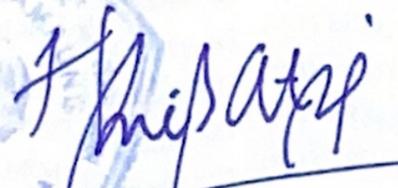
.....

Anggota : **Dr. Nuhasanah, M.Si.**



.....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Eng. Heri Satria, M.Si.**  
NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 15 Juli 2024

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Fadhillah Nurul Aini  
Nomor Pokok Mahasiswa : 2017011073  
Program Studi : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul **Studi Transpor Malachite Green dengan Co-EDAF 6% Sebagai Senyawa Pembawa Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane (PIM)** adalah benar karya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Saya tidak keberatan jika data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan sebelum digunakan publikasi.

Bandar Lampung, 20 Juli 2024

Yang menyatakan



Fadhillah Nurul Aini

NPM. 2017011073

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Fadhillah Nurul Aini dan lahir di Tangerang, 18 Juni 2002 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, putri dari Bapak Didi Suryono dan Ibu Rochma Kurniawati. Penulis menyelesaikan pendidikan di SMK SMTI Bandar Lampung pada tahun 2017-2020. Pada tahun 2020, penulis melanjutkan pendidikan sebagai mahasiswa Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung dan menyelesaikan studinya pada tahun 2024.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Kader Muda Himaki tahun 2020, kemudian menjadi pengurus aktif Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) pada tahun 2021 di Bidang Kaderisasi dan Pengembangan Organisasi. Pada tahun 2022 penulis pernah menjabat sebagai Sekretaris Bidang Kaderisasi dan Pengembangan Organisasi. Penulis mengikuti kegiatan MBKM Kampus Merdeka yaitu Membangun Desa di Desa Rejomulyo, Kec. Jati Agung, Kab. Lampung Selatan pada bulan Agustus-Desember 2022.

Penulis pernah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi Jurusan Kimia FMIPA Unila dilakukan pada Mei-Juli 2024. Penulis telah menyelesaikan tugas akhir untuk mendapatkan gelar sarjana dengan membuat skripsi yang berjudul “Studi Transpor *Malachite Green* Dengan Co-EDAF 6% Sebagai Senyawa Pembawa Menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane (PIM)*”.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang**

Dengan mengucap  
Alhamdulillahirobbilalamin dan dengan segala kerendahan hati  
Kupersembahkan karya sederhana ini kepada

Bapak dan Ibuku tercinta yang telah membesarkan, mendidik, mendoakan,  
mendukung, dan memberikan kasih sayang yang tak terhingga serta cinta  
yang sangat besar dan tak bernilai.

Melalui karya kecil ini, aku sebagai putrimu mengucapkan terima kasih atas  
segalanya. Seluruh keluarga besar terutama kedua adikku, Ihsanu Al Mubarak  
dan Abdul Aziz Al Mubarak yang selalu memberikan dukungan dan bantuan  
untukku.

Dengan segala hormat kepada Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc., Ibu  
Dr. Rinawati, M.Si., dan Ibu Dr. Nurhasanah, M.Si., serta seluruh Dosen  
pengajar yang telah membimbing dan mendidikku sampai menyelesaikan  
pendidikan sarjana. Seluruh kerabat yang telah memberikan bantuan dan  
dukungan, semangat, saran dan motivasi.

**Almamater Tercinta Universitas Lampung**

## MOTTO

*“Mencari ilmu itu wajib bagi setiap muslim laki-laki dan perempuan.”*

*(HR. Sunan Ibnu Majah)*

*“Bersabarlah kamu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar”*

*(QS. Al-Anfal: 46)*

*“Apapun yang diperlihatkan atau diperdengarkan sama Allah dijadikan pelajaran hidup.”*

*(Didi Suryono)*

*“Kebaikan yang terdapat pada ilmu, biasanya akan terasa dan bermanfaat jauh kedepan, maka berbuat baiklah tanpa mengharap kapan ilmu itu akan berbuah.”*

*(Muh Agung Kiswando)*

## SANWACANA

*Bismillahirrahmanirrahim*

*Alhamdulillahillobbilalamin*, segala puji bagi Allah subhanahu wa ta'ala atas berkat rahmat, hidayah, serta ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Transpor *Malachite Green* dengan Co-EDAF 6% Sebagai Senyawa Pembawa Menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM)” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia Universitas Lampung.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan doa, dukungan, semangat, bimbingan, serta saran dan masukan dari berbagai pihak sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik. Doa yang tulus dengan segala kerendahan hati, pada kesempatan ini penulis dengan hormat mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya yang tiada terkira, sehingga penulis diberi kekuatan dan kesehatan dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orangtua yang saya cintai, Abi Didi Suryono dan Ummi Rochma Kurniawati untuk segala cinta, kasih sayang dan dukungan yang telah diberikan selama ini serta segala perjuangan dan pengorbanan tiada henti sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
3. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I atas kebaikan, bimbingan, arahan, masukan, dan seluruh ilmu pengetahuan yang diberikan selama proses perkuliahan sampai dengan penyelesaian skripsi.

4. Ibu Dr. Rinawati, M.Si. selaku Dosen Pembimbing II, atas kebaikan, bimbingan, arahan, masukan, dan seluruh ilmu pengetahuan yang diberikan dalam proses penyelesaian skripsi.
5. Ibu Dr. Nurhasanah, M.Si. selaku Dosen Penguji/Pembahas atas masukan dan saran yang diberikan dalam proses penyelesaian skripsi.
6. Bapak Prof. Dr. Drs. Hardoko Insan Qudus, M.S. selaku Pembimbing Akademik atas segala bimbingan, nasihat, serta motivasi yang telah diberikan kepada penulis.
7. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.
8. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu, pengalaman, dan motivasi selama penulis menjalankan pendidikan di kampus.
9. Seluruh staf administrasi dan pegawai di lingkungan Jurusan Kimia, Dekanat FMIPA, serta Universitas Lampung yang senantiasa membantu dalam sistem akademik, perkuliahan, penelitian, serta penyusunan skripsi sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
10. Kedua adikku, Ihsanu Al Mubarak dan Abdul Aziz Al Mubarak, yang selalu memberikan penyemangat penulis dalam menjalankan kegiatan perkuliahan hingga tahap penyelesaian skripsi.
11. Larasati Nurul Innayah dan Rizkia Ayu Rahima sebagai sepupu yang memberikan dukungan dan semangat secara moral untuk penulis hingga menyelesaikan skripsi.
12. Teman-teman *Membrane Research*, Kak Annuy, Kak Kharisma, Kak Ica dan yang lainnya, terima kasih untuk semua bantuan, dukungan, kesabaran, keikhlasan, dan pengalamannya selama perjalanan menuju kelulusan beserta teman-teman *Anak Bapak* angkatan 2020 kepada Ibnah, Sefi, Niswah, dan Ayu yang penuh dengan candaan, sedih, dan susah telah dilalui bersama.
13. Anisa Cikal Amarta sebagai sahabat perjuangan yang telah memberikan dukungan baik secara moral dan emosional, canda tawa, sedih, dan susah telah dilalui bersama.

14. Sahabat seperjuangan Laboratorium Kimia Analitik, Salwa, Leman, Aya, Elsa, Kak Qudwah, dan Kak Innamaa yang selalu kebersamai dan saling memberikan dukungan, semangat, motivasi, nasihat, dan canda tawa selama berprogres di dalam laboratorium.
15. Teman-teman seperjuangan selama MBKM Membangun Desa 2022 Anggun, Umi, Fayza, Erik, Fahrezi, Wikka, Qori, dan Alfara.
16. Aparat Desa Rejomulyo Kec. Jati Agung Kab. Lampung Selatan atas dedikasi, kerja keras, dan pengabdianya dalam membangun dan memajukan desa. Sudah diperbolehkan MBKM Membangun Desa di Desa Rejomulyo.
17. Keluarga Kimia Angkatan 2020 dan Kimia Kelas B 2020 yang senantiasa memberikan informasi dan membantu penulis.
18. Teman-teman dari angkatan 2021 dan 2022.
19. Teman-teman di lingkup Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) 2022, terima kasih juga atas segala dedikasi dan cinta yang sudah diberikan atas nama pribadi penulis meminta maaf apabila selama menjadi rekan kerja banyak melakukan salah dan tidak sempurna, semoga perjalanan selanjutnya dimudahkan oleh Allah SWT.
20. Keluarga besar Himaki periode 2022, sekumpulan orang hebat yang pernah penulis temui, terima kasih sudah kebersamai selama proses belajar kemarin, tetap menggelora untuk hidup yang bahagia.
21. Keluarga besar Tepuk Bulu yang telah mengisi keceriaan dan kegembiraan untuk menyalurkan hobi bermain badminton.
22. Agung, Tama, Aita, Aisyah, dan Fahni sebagai sahabat sejak SMA yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
23. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung dalam menyelesaikan skripsi serta almamater Universitas Lampung.
24. Terima kasih kepada penulis yang sudah semangat, bangkit dari sakit hati, bekerja keras, selalu ucapkan tolong, terima kasih, dan maaf. Selalu berusaha menyelesaikan skripsi dengan baik walaupun dengan berderai air mata.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan penelitian selanjutnya. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan di masa depan. *Aamiin ya robbalalamin.*

Bandar Lampung, 20 Juli 2024

Penulis

*Fadhillah Nurul Aini*

## DAFTAR ISI

### Halaman

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>10</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan .....	4
1.3 Manfaat .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 <i>Malachite Green</i> .....	5
2.2 Teknologi Membran Cair.....	8
2.3 <i>Polymer Inclusion Membrane</i> (PIM).....	10
2.4 Eugenol dan Dialil Ftalat (DAF) .....	11
2.5 Karakterisasi .....	13
2.5.1 Spektrofotometer ultraviolet-visibel (UV-Vis) .....	14
2.5.2 Spektrofotometer <i>Inductively Coupled Plasma</i> (ICP).....	15
2.5.3 Spektrofotometer FTIR ( <i>Fourier Transform Infrared</i> ).....	16
2.5.4 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	18
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>22</b>
3.1 Waktu dan Tempat .....	22
3.2 Alat dan bahan .....	22
3.3 Pembuatan Larutan Induk <i>Malachite Green</i> , Pembuatan Limbah Buatan dan Pengukuran Konsentrasi <i>Malachite Green</i> .....	23
3.4 Pembuatan Membran PIM.....	23
3.5 Uji Membran PIM .....	24
3.5.1 Uji Porositas Membran.....	24
3.5.2 Uji Serapan Air Membran.....	25
3.6 Optimasi Transpor <i>Malachite Green</i> .....	25
3.6.1 Variasi pH <i>Malachite Green</i> pada Fasa Sumber .....	25

3.6.2 Variasi Fasa Penerima.....	26
3.6.3 Variasi Ketebalan Membran .....	26
3.6.4 Variasi Konsentrasi Senyawa Pembawa .....	26
3.6.5 Variasi Waktu Transpor.....	27
3.6.6 Studi Kompetisi Transpor <i>Malachite Green</i> pada Limbah Buatan .....	27
3.7 Diagram Alir Penelitian .....	28
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
4.1 Penentuan Panjang Gelombang <i>Malachite Green</i> .....	29
4.2 Pembuatan Membran PIM.....	30
4.3 Uji Membran PIM .....	36
4.3.1 Uji Porositas Membran.....	36
4.3.2 Uji Serapan Air Membran.....	37
4.4 Optimasi Transpor <i>Malachite Green</i> .....	38
4.4.1 Variasi pH <i>Malachite Green</i> pada Fasa Sumber .....	38
4.4.2 Variasi Konsentrasi Fasa Penerima .....	40
4.4.3 Variasi Ketebalan Membran .....	42
4.4.4 Variasi Konsentrasi Senyawa Pembawa .....	44
4.4.5 Variasi Waktu Transpor.....	46
4.4.6 Studi Kompetisi Transpor <i>Malachite Green</i> pada Limbah Buatan.....	48
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>53</b>
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran .....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>54</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>59</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Karakterisasi <i>Malachite Green</i> .....	6
2. Komposisi pembentuk membran PIM (Nghiem <i>et al.</i> , 2006) .....	24
3. Variasi Konsentrasi Senyawa Pembawa .....	27
4. Berat total komponen, berat membran sebelum transpor, dan ketebalan membran sebelum transpor .....	31
5. Gugus fungsi hasil IR membran sebelum dan setelah transpor .....	34
6. Hasil %Cs dan %Removal variasi pH fasa sumber .....	39
7. Hasil %Cs dan %Removal variasi konsentrasi fasa penerima HNO <sub>3</sub> .....	41
8. Hasil %Cs dan %Removal variasi ketebalan membran .....	43
9. Hasil %Cs dan %Removal variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	45
10. Hasil %Cs dan %Removal variasi waktu transpor .....	47
11. Absorbansi larutan standar MG pada variasi pH MG fasa sumber .....	66
12. Absorbansi dan konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi pH .....	67
13. Data $\bar{x}$ , SD dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi pH .....	68
14. Absorbansi larutan standar MG pada variasi fasa penerima .....	69
15. Absorbansi dan konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi fasa penerima .....	70
16. Data $\bar{x}$ , SD dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi fasa penerima .....	71
17. Absorbansi larutan standar MG pada variasi ketebalan membran .....	72
18. Absorbansi dan Konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi ketebalan membran .....	73

19. Data $\bar{x}$ , SD dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi ketebalan membran .....	74
20. Absorbansi larutan standar MG variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	74
21. Absorbansi dan konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	75
22. Data $\bar{x}$ , SD dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	77
23. Absorbansi larutan standar MG pada variasi waktu .....	77
24. Absorbansi dan konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi waktu .....	78
25. Data $\bar{x}$ , SD dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi waktu .....	80
26. Absorbansi larutan standar MG pada studi kompetisi transpor MG pada limbah buatan .....	80
27. Absorbansi dan konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada studi kompetisi transpor MG pada limbah buatan .....	81
28. Data $\bar{x}$ , SD dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada studi transpor MG pada limbah buatan .....	82
29. Massa membran sebelum transpor MG pada variasi pH fasa sumber .....	88
30. Massa membran setelah transpor MG variasi pH fasa sumber .....	89
31. LM Loss (%) transpor MG variasi fasa sumber .....	89
32. Massa membran sebelum transpor MG variasi fasa penerima .....	90
33. Massa membran setelah transpor MG variasi fasa penerima .....	90
34. LM Loss (%) transpor MG variasi fasa sumber .....	91
35. Membran sebelum transpor MG pada variasi ketebalan membran .....	91
36. Massa membran setelah transpor MG variasi fasa penerima .....	92
37. LM Loss (%) transpor MG variasi fasa sumber .....	92
38. Massa membran sebelum transpor MG pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	93
39. Massa membran setelah transpor MG pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	93
40. LM Loss (%) transpor MG variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	94

41. Massa membran sebelum transpor MG pada variasi waktu .....	94
42. Massa membran setelah transpor MG pada variasi berat waktu .....	95
43. LM <i>Loss</i> (%) transpor MG variasi waktu .....	95
44. Massa membran sebelum studi kompetisi transpor MG pada limbah buatan	96
45. Massa membran setelah transpor MG pada studi kompetisi transpor MG pada limbah buatan .....	96
46. LM <i>Loss</i> (%) transpor MG variasi studi kompetisi transpor MG pada limbah buatan .....	97
47. Ketebalan membran PIM pada variasi pH fasa sumber .....	98
48. Ketebalan membran sebelum transpor pada variasi fasa penerima .....	98
49. Ketebalan membran sebelum transpor pada variasi ketebalan membran .....	98
50. Ketebalan membran sebelum transpor pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	99
51. Ketebalan membran sebelum transpor pada variasi waktu .....	99
52. Ketebalan membran sebelum transpor pada studi kompetisi transpor MG pada limbah buatan .....	99

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur <i>Malachite Green</i> .....	5
2. Struktur Senyawa Eugenol .....	12
3. Prediksi Struktur Polieugenol Tertaut Silang dengan DAF (Kiswando, 2014) .....	13
4. Skema Spektrofotometri UV-Vis .....	15
5. Hasil analisis sintesis Co-EDAF dengan spektrofotometer FTIR .....	18
6. Skema Scanning Electron Microscope (SEM) (Hidayat, 2021) .....	20
7. (b1) Co-EDAF 6% sebelum transpor; (b2) Co-EDAF 2% setelah transpor .	21
8. Diagram Alir Penelitian .....	28
9. Panjang gelombang maksimum <i>Malachite Green</i> .....	30
10. Membran PIM sebelum digunakan transpor dengan senyawa pembawa Co-EDAF .....	30
11. Spektrum IR membran PIM mengandung senyawa pembawa Co-EDAF 6% sebelum digunakan transpor .....	32
12. Spektrum IR membran PIM mengandung senyawa pembawa Co-EDAF 6% setelah digunakan transpor .....	33
13. Morfologi membran PIM sebelum transpor dengan perbesaran (a) 3000x, (b) 500x, dan setelah transpor (c) 2500x, (d) 500x .....	35
14. Hasil Uji Porositas Membran .....	36
15. Hasil Uji Serapan Air Membran .....	37
16. Pengaruh pH MG pada fasa sumber terhadap konsentrasi MG yang tertranspor (%Cs: konsentrasi MG pada fasa sumber; %Removal: konsentrasi MG pada fasa membran dan fasa penerima) .....	39

17. Pengaruh Konsentrasi $\text{HNO}_3$ pada fasa penerima terhadap konsentrasi MG yang tertransport ( $\%C_s$ : konsentrasi MG pada fasa sumber, $\%Removal$ : konsentrasi MG pada fasa membran dan fasa penerima) .....	41
18. Pengaruh ketebalan membran PIM terhadap konsentrasi MG yang tertransport ( $\%C_s$ : Konsentrasi MG pada fasa sumber, $\%Removal$ : konsentrasi MG pada fasa membran dan fasa penerima) .....	43
19. Pengaruh massa konsentrasi pembawa membran PIM terhadap konsentrasi MG yang tertransport ( $\%C_s$ : konsentrasi MG pada fasa sumber, $\%Removal$ : konsentrasi MG pada fasa membran dan fasa penerima) .....	45
20. Pengaruh waktu transpor membran PIM terhadap konsentrasi MG yang tertransport ( $\%C_s$ : konsentrasi MG pada fasa sumber, $\%Removal$ : konsentrasi MG pada fasa membran dan fasa penerima) .....	47
21. Perbandingan konsentrasi MG, logam Cu(II) dan logam Pb(II) yang terdapat pada fasa sumber dan fasa penerima .....	49
22. Analisis morfologi permukaan membran untuk mengetahui pengaruh proses transpor MG pada limbah buatan (a) 500x; (b) 250x.....	50
23. Analisis EDS untuk meneliti perubahan komposisi elemen membran setelah proses transpor MG pada limbah buatan. ....	51
24. Hasil analisis ICP pada fasa penerima yang mengandung logam Pb dan Cu	52
25. Kurva kalibrasi MG pada variasi pH MG fasa sumber .....	66
26. Kurva kalibrasi MG pada variasi fasa penerima .....	69
27. Kurva kalibrasi MG pada variasi ketebalan membran .....	72
28. Kurva kalibrasi MG pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	75
29. Kurva kalibrasi MG pada variasi waktu .....	78
30. Kurva kalibrasi MG studi kompetisi transpor MG dalam limbah buatan ....	81
31. Cetakan membran; (b) Membran PIM sebelum transpor .....	100
32. Transpor MG variasi pH MG pada fasa sumber (a) sebelum transpor; (b) setelah transpor .....	100
33. Transpor MG variasi ketebalan membran (a) sebelum transpor; (b) setelah transpor .....	100
34. Transpor MG variasi fasa penerima $\text{HNO}_3$ (a) sebelum transpor; (b) setelah transpor .....	101

35. Transpor MG variasi konsentrasi senyawa pembawa (a) sebelum transpor; (b) setelah transpor .....	101
36. Transpor MG variasi waktu (a) sebelum transpor; (b) setelah transpor .....	101
37. Transpor MG studi kompetisi transpor MG pada limbah buatan (a) sebelum transpor; (b) sesudah transpor .....	101
38. Membran PIM yang diperoleh sebelum transpor variasi berat senyawa pembawa .....	102
39. Membran PIM yang diperoleh setelah transpor variasi berat senyawa pembawa .....	102
40. Membran PIM yang didapatkan sebelum transpor studi kompetisi transpor MG pada limbah buatan .....	102
41. Membran PIM yang didapatkan setelah transpor studi kompetisi transpor MG pada limbah buatan .....	102

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri modern telah memberikan kontribusi signifikan terhadap kemajuan sosial dan ekonomi di dunia. Namun, pertumbuhan industri juga membawa dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, terutama limbah yang dihasilkan selama proses produksi. Limbah industri mencakup berbagai jenis, seperti limbah cair, limbah padat, dan limbah gas. Limbah cair sering mengandung bahan kimia, zat beracun, logam berat, dan kontaminan lain yang dapat mencemari sumber daya air dan lingkungan sekitarnya. Air limbah yang tidak diolah atau dibuang secara tidak benar dapat mencemari sungai, danau, atau laut dan mengganggu keseimbangan ekosistem perairan (Ridwan, 2016).

Pewarna salah satu polutan utama dalam limbah cair yang mencemari ekosistem perairan. Zat warna sering kali menjadi residu dari kegiatan industri dan dibuang ke sumber air permukaan, menjadikannya kontaminan yang mudah dilihat dan berbahaya. Salah satu contoh zat warna yang mencemari air adalah *Malachite Green* (MG). menangan MG dengan metode konvensional terbilang sulit karena sifatnya yang stabil terhadap cahaya, zat pengoksidasi, dan tahan terhadap proses bio-oksidasi aerobik. Hal ini memperparah dampak negatif MG terhadap kehidupan akuatik dan rantai makanan, meskipun dalam konsentrasi rendah (Ling & Suah, 2017).

MG adalah senyawa zat warna organik yang memiliki warna hijau tua dan sering digunakan dalam industri tekstil, akuakultur, dan biologi. MG umumnya digunakan dalam produksi material tekstil dan produksi kertas. Pewarna ini sering

digunakan dalam proses pewarnaan kain wol, kulit, dan katun, serta untuk mengobati jamur dan protozoa karena efektivitas, ketersediaan, dan biaya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan anti-jamur lainnya (Ling & Suah, 2017). MG juga dikenal sebagai *Basic Green 4* (BG 4), sebuah senyawa kationik yang tergolong *N-methylated diaminotriphenylmethane* yang sering digunakan dalam industri. MG bersifat karsinogenik dan dapat menyebabkan tumor. Hasil degradasi MG juga dilaporkan tidak aman dan mengandung potensi karsinogenik, namun sering digunakan dalam berbagai industri (Suwandi *et al.*, 2011).

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghilangkan zat warna adalah teknologi membran. Membran adalah suatu lapisan yang memisahkan dua fasa dimana perpindahan massanya dapat diatur dan hanya dapat dilewatkan oleh ion-ion tertentu (Rapierna *et al.*, 2012). *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) telah terbukti menunjukkan stabilitas dan keserbagunaan yang sangat baik, terutama jika dibandingkan dengan jenis membran cair lainnya (misalnya, *Supported Liquid Membrane* (SLM)) (Almeida *et al.*, 2012). Membran PIM adalah sistem membran cair dimana pembawa/*carrier* dimasukkan ke dalam rantai pada polimer dasar. Membran PIM memiliki beberapa keunggulan, seperti jumlah *carrier* yang diperlukan lebih kecil, tidak menggunakan reagen organik dalam jumlah besar, dan dapat mengurangi dampak lingkungan sambil memastikan selektivitas dan pemisahan yang baik (Cai *et al.*, 2019).

Polieugenol dan turunannya dapat diproduksi melalui proses sintesis dengan menggunakan katalis boron trifloro dietil eter tanpa pemanasan. Namun, polimer ini masih kurang efektif karena kemampuan interaksi dengan senyawa target sangat rendah. Salah satu alternatif untuk memperbanyak sisi aktif dari polieugenol adalah dengan kopolimerisasi menggunakan senyawa diene, seperti dialil ftalat (DAF). Polimerisasi dengan melibatkan senyawa pembawa diene menghasilkan struktur tertaut silang pada hasil akhirnya. Polimer yang dihasilkan dari sintesis polieugenol memiliki berat molekul rendah sehingga tidak memiliki sisi aktif lebih sedikit. DAF memiliki rumus kimia  $C_{16}H_{14}O_4$  dan terbentuk dengan reaksi antara asam ftalat (atau flalat anhidrat) dengan alil alkohol.

Kopolimerisasi dengan DAF bertujuan memperoleh struktur tertaut silang *Copoly Eugenol-Diallyl Phthalate* (Co-EDAF), yang dapat memperbanyak sisi aktif dari polieugenol dan memaksimalkan proses transpor MG.

Membran PIM yang mengandung Co-EDAF digunakan dalam penelitian transportasi fenol oleh Kiswando *et al.* (2019). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Co-EDAF dapat digunakan sebagai senyawa pembawa pada transpor fenol. Uji transpor menunjukkan persentase fenol yang dapat terangkut melalui membran PIM yang mengandung Co-EDAF cukup tinggi. Namun, penggunaan berulang kali membran PIM menunjukkan penurunan efisiensi transpor fenol, kemungkinan karena *leaching* komponen membran, khususnya Co-EDAF, yang mengurangi jumlah sisi aktif membran.

Co-EDAF dengan konsentrasi 6% yang dihasilkan dari proses kopolimerisasi memiliki lebih banyak sisi aktif dibandingkan polieugenol. Kopolimer ini memiliki gugus hidroksil ( $\text{—OH}$ ) yang dapat memaksimalkan proses transpor MG dan studi kompetisi transpor MG dengan limbah buatan. Hal ini disebabkan oleh adanya interaksi hidrogen antara senyawa pembawa dengan gugus nitril ( $\text{—NH}_3$ ) pada MG dengan senyawa kopolimer yang memiliki gugus hidroksil ( $\text{—OH}$ ). Ikatan hidrogen terjadi antara atom O dalam gugus hidroksil dengan atom N dalam gugus nitril, serta atom H dalam gugus hidroksil dengan atom N dalam gugus nitril pada MG.

Karakterisasi membran PIM dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer FTIR untuk melihat adanya sisi aktif pada membran dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk melihat bentuk pori-pori membran sebelum dan setelah transpor. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini melakukan studi transpor MG dengan Co-EDAF 6% sebagai senyawa pembawa menggunakan metode membran PIM. Parameter transpor yang akan dioptimalkan meliputi pH pada fasa sumber, konsentrasi fasa penerima, ketebalan membran, konsentrasi senyawa pembawa, waktu transpor, dan kompetisi transpor MG dalam limbah buatan yang mengandung logam Pb(II) dan Cu(II).

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari pelaksanaan penelitian ini sebagai berikut:

1. Melakukan transpor MG menggunakan senyawa pembawa *Copoly Eugenol-Diallyl Phthalate* (Co-EDAF) 6% dengan metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM).
2. Menentukan efektivitas membran PIM yang mengandung Co-EDAF 6% dalam mentranspor *Malachite Green* (MG) dari air limbah yang mengandung logam berat Pb(II) dan Cu(II).
3. Melakukan karakterisasi membran PIM sebelum dan setelah transpor menggunakan *Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray* (SEM EDX) dan *Fourier Transform Infra-Red* (FT-IR).

## 1.3 Manfaat

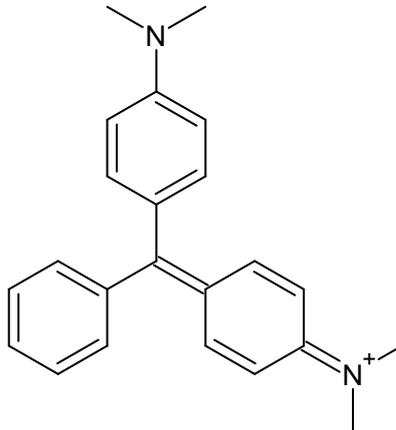
Hasil penelitian diperoleh dan diharapkan memberikan manfaat dari pelaksanaan penelitian ini sebagai berikut:

1. Menambah wawasan baru terkait pemanfaatan polimer tertaut silang Co-EDAF 6% sebagai senyawa pembawa dalam transpor MG dan meningkatkan aplikasi metode membran cair, terutama PIM, dalam upaya pengurangan polutan berwarna, khususnya MG.
2. Memberikan wacana baru dalam pemanfaatan polimer dalam bidang analisis kimia dan kesehatan, serta meningkatkan nilai ekonomis dari eugenol.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Malachite Green*

*Malachite Green* (MG) memiliki rumus molekul  $C_{23}H_{26}N_2O$  merupakan senyawa kimia yang bersifat toksik. *Malachite Green* (Malasit hijau) memiliki nama lain yaitu 4-[(4-dimetilaminofenil)-fenil-metil]-N,N-dimetil-anilin, atau secara komersial disebut juga *Basic Green 4*, *Victoria Green B*, *Aniline Green*, *Diamond Green B*. *Malachite green* dengan rumus kimia  $C_{23}H_{26}N_2O$  dan struktur dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Struktur *Malachite Green*

(Bhernama, 2017)

*Malachite Green* adalah padatan kristal berwarna hijau tua yang dibuat dengan mengkondensasi satu bagian benzaldehida dengan dua bagian *dimethylaniline* dengan adanya asam sulfat pekat atau seng klorida. MG tersedia dalam berbagai bentuk, terutama sebagai garam oksalat atau hidroklorida dalam larutan minimal 50% sebagai campuran asetat dan garam hidroklorida. *Malachite Green* hidroklorida adalah varietas kelas industri yang selama pembuatannya, diendapkan dengan penambahan seng klorida (Srivastava *et al.*, 2004).

Saat ini, MG digunakan juga dalam budidaya perikanan dan menjadi perhatian karena resiko yang ditimbulkan terhadap konsumen ikan yang diolah. Pada kenyataannya, MG telah diduga bersifat genotoksik dan karsinogenik. Meskipun penggunaan MG telah dilarang di beberapa negara, penggunaan MG masih digunakan di banyak belahan dunia karena biayanya yang rendah, ketersediaan yang siap pakai, dan keefektifannya. Sebagai contoh, kadar MG yang terdeteksi pada konsentrasi akhir adalah 0,1  $\mu\text{M}$  dalam sampel acak ikan trout yang dijual di pasar Inggris (Stammati *et al.*, 2005).

MG secara umum juga digunakan untuk mewarnai wol, sutra dan kulit, kertas, penyulingan dan pewarna makanan. MG juga digunakan sebagai fungisida, parasitisida, dan bakterisida dalam industri akuakultur karena kemanjurannya dan biayanya yang rendah. Namun, MG bersifat toksik dan dapat menyebabkan karsinogenesis, mutagenesis, kerusakan sistem pernapasan, hati, insang (pada ikan), ginjal, usus, dan gonad. Penggunaan MG tidak diizinkan untuk industri akuakultur di Kanada, Amerika Serikat, Uni Eropa, dan Cina batas konsentrasi MG dalam air yang diizinkan lingkungan ditetapkan sekitar 0,5-100 mg/L (Ahmad *et al.*, 2021). MG merupakan suatu senyawa organik yang dapat larut dalam air. MG berwarna hijau gelap dan berbentuk padatan kristal. Sifat fisika dan kimia zat warna MG dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Karakterisasi *Malachite Green*

Parameter	Nilai
Rumus molekul	$\text{C}_{23}\text{H}_{25}\text{ClN}_2$
Berat molekul	364,9 g/mol
Indeks warna	42000
<i>CAS nu</i>	2437-29-8
<i>Nature</i>	Zat Warna Kationik

Namun, karena kecenderungan bioakumulasi pewarna MG, MG terakumulasi pada hewan air ketika dibuang ke badan air, dan akhirnya masuk ke dalam sistem manusia melalui rantai makanan. Selanjutnya, dalam sistem tubuh mamalia, MG

dapat direduksi secara biokimia menjadi zat kimia yang dikenal sebagai *Leucomalachite* (LMG) yang dapat menumpuk di dalam tubuh hewan selama lebih dari lima bulan. Selain itu, MG juga dapat digunakan dalam akuakultur sebagai antiseptik dan fungisida, serta agen anthelmintik dan desinfektan medis (Oladoye *et al.*, 2023). MG masih digunakan di beberapa bagian dunia karena sangat efektif dan mudah didapatkan dengan biaya yang rendah. MG juga digunakan di dalam negeri sebagai pengobatan penyakit ikan tropis dan mudah didapat oleh masyarakat (Matpang *et al.*, 2017).

Beberapa penelitian menyatakan bahwa MG bisa menjadi racun bagi sel-sel manusia dan menyebabkan pembentukan tumor hati pada hewan pengerat. Zat warna MG pada badan air tidak baik dijadikan air minum dan keperluan sehari-hari, karena zat warna ini memiliki struktur kompleks aromatik yang stabil dan sulit terurai (Bhernama, 2017). Penguraian zat warna MG telah banyak dilakukan seperti koagulasi, flokulasi, adsorpsi, dan karbon aktif. Maka dilakukan studi transpor MG dengan metode PIM.

Beberapa peneliti mencoba melakukan *recovery* dan *removal* MG di perairan menggunakan berbagai metode. Adsorpsi merupakan salah satu metode *recovery* MG. Mittal *et al.* (2005), melakukan *removal* dan *recovery* dari limbah perairan dengan menggunakan *de-oiled soya* yang dimanfaatkan menjadi adsorben. Hasil menunjukkan pada konsentrasi yang lebih rendah penghilangan pewarna hampir 100%, sedangkan pada konsentrasi yang lebih tinggi sedikit lebih rendah dan adsorpsi terjadi melalui proses difusi partikel. Sharma and Nandi, (2013), melakukan *removal* MG dengan menggunakan ampas tebu yang dimanfaatkan menjadi adsorben. Hasil menunjukkan konsentrasi *removal* sebesar 95% dengan waktu kontak selama 120 menit, pada dosis adsorben 1 g/L untuk konsentrasi pewarna awal 50 mg/L.

## 2.2 Teknologi Membran Cair

Membran adalah suatu lapisan yang memisahkan dua fasa dimana perpindahan massanya dapat diatur dan hanya dapat dilewati oleh ion-ion tertentu. Membran dapat berupa padatan ataupun campuran dan berfungsi sebagai media pemisah yang selektif berdasarkan perbedaan koefisien difusivitas, muatan listrik maupun perbedaan kelarutan. Membran banyak digunakan dalam proses pemisahan, pemurnian, dan pemekatan suatu larutan (Rapierna *et al.*, 2012).

Teknik pemisahan dengan membran cair merupakan salah satu pengembangan metode ekstraksi pelarut. Keuntungan metode dengan membran cair adalah mempunyai selektivitas dan efisiensi sistem tinggi, mengurangi penggunaan jumlah pelarut dan dapat dilakukan secara kontinu dalam satu unit operasi. Keuntungan penggunaan senyawa pembawa dalam membran cair adalah untuk meningkatkan efisiensi dan selektivitas transport dan untuk menggabungkan dua tipe mekanisme transport (Permatasari *et al.*, 2019).

Pemisahan dengan teknologi membran memungkinkan pemisahan senyawa target menggunakan lapis tipis membran polimer dalam larutan organik. Membran ini berfungsi sebagai perantara pemisahan fase umpan yang berisi senyawa kimia yang akan dipisahkan dan fase penerima. Keunggulan metode ini bisa dibandingkan dengan ekstraksi cair-cair adalah penggunaan bahan organik yang minimal dan ekstrak yang spesifik, sehingga limbah yang dihasilkan juga sangat sedikit sehingga lingkungan terhindar dari kontaminasi polutan (Kiswando, 2016).

Macam-macam membran cair berdasarkan pada bentuk fisik membran, seperti *Bulk Liquid Membrane* (BLM), emulsi (ELM) dan *Supported or Immobilized Liquid Membrane* (SLM atau ILM). Beberapa penulis menambahkan membran inklusi polimerik, membran inklusi polimerik, membran gel, membran serat berongga modul ganda, tetapi dua jenis pertama adalah modifikasi SLM dan

ketiga adalah modifikasi BLM (Kislik, 2010). Membran dapat diklasifikasikan menurut karakterisasi berikut:

1. Bahan konstruksi : polimer, keramik (termasuk kaca dan porselen)
2. Struktur : homogen, asimetris, atau gabungan
3. Metode pembuatan : inversi fase, sintering, peregangan, atau pelacakan
4. Geometri : lembaran datar, serat berongga, atau tabung
5. Muatan permukaan : netral atau bermuatan (positif atau negatif)
6. Hidrofobik atau hidrofilik

Membran cair mempunyai lapisan membran berupa cairan. Cairan ini dapat dipakai sebagai membran dengan beberapa syarat, yaitu: (1) tidak larut dalam fase umpan, (2) dapat larut dalam fase membran, (3) harus dapat berikatan dengan analit (komponen zat) dan dapat dilepaskan kembali, dan (4) harus dapat melepaskan kembali analit ke fase penerima (Kiswandono, 2016). Mulder (1996) membagi membran menjadi tiga jenis berdasarkan pada struktur dan prinsip pemisahannya antara lain adalah membran berpori, membran tidak berpori, dan membran cair.

Prinsip pemisahan pada membran cair tidak ditentukan oleh membran itu sendiri, tetapi oleh sifat molekul senyawa pembawa spesifik. Senyawa pembawa (*carrier*) tetap berada di dalam membran dan dapat bergerak jika dilarutkan dalam cairan. Senyawa *carrier* juga harus menunjukkan afinitas yang sangat spesifik terhadap satu komponen pada fasa umpan sehingga diperoleh selektivitas yang tinggi. Selain itu *permselectivity* komponen yang sangat bergantung pada spesifikasi bahan pembawa tersebut. Komponen yang dapat dipisahkan dapat berupa gas atau cair, ionik atau non ionik. Senyawa *carrier* berinteraksi dan dapat membantu transpor suatu komponen pada fasa sumber melewati membran menuju fasa pelucut. Pada transpor membran terfasilitasi, membran cair yang mengandung senyawa *carrier* memiliki interaksi kimia dengan senyawa yang akan ditranspor. Transpor melalui membran cair terinspirasi dari sistem alami yaitu kemampuan untuk memompa ion secara selektif melewati membran biologis. Pada sistem membran cair yang berupa fasa organik dapat memisahkan dua fase larutan berair yaitu antara fasa sumber dengan fasa pelucut (Kiswandono, 2016).

Mekanisme transpor senyawa melewati membran cair dibagi menjadi beberapa tahap:

1. Penyerapan pada permukaan fasa sumber.
2. Terjadinya reaksi kompleks dengan senyawa *carrier*.
3. Difusi antara senyawa target atau kompleks senyawa target dengan senyawa *carrier* melewati membran cair.
4. Penguraian kompleks *carrier* pada permukaan fasa penerima.
5. Pelepasan senyawa target (Feraz, 2007).

### 2.3 *Polymer Inclusion Membrane (PIM)*

Membran PIM adalah sistem membran cair dimana senyawa pembawa atau ekstraktn dimasukkan ke dalam rantai terjerat dalam polimer dasar. Secara umum, PIM dibuat dengan menuang larutan organik yang mencakup polimer dasar seperti *cellulosa tiacetate* (CTA), *polyvinyliden difluoride* (PVDF) atau *poly(vinyl) chloride* (PVC), dan plastisizer yang dapat meningkatkan kompatibilitas antara ekstraktn, polimer dasar menurunkan viskositas fase cair membran, dan ekstraktn digunakan sebagai senyawa pembawa. Untuk polimer dasar, CTA dan PVC paling banyak digunakan karena dapat digunakan untuk membuat membran dengan prosedur yang relatif sederhana. Selain itu, polimer dasar memainkan peran penting dalam memberikan kekuatan mekanik pada PIM. CTA sangat kristal dan domain kristalnya menghasilkan kekuatan mekanik yang sangat baik, sedangkan PVC adalah polimer amorf dengan tingkat kristalinitas yang kecil. Selain itu, CTA sangat infusi, yang membuatnya sangat berguna untuk aplikasi PIM (Cai *et al.*, 2019).

Membran PIM lebih baik dibandingkan teknologi membran cair lainnya, karena menggabungkan ekstraktn cair yang bertindak sebagai pembawa. Perbedaannya adalah pembawa ditahan di dalam struktur polimer membran alih-alih dilarutkan dalam pengencer dan ditahan oleh gaya kapiler di dalam pori-pori yang relatif besar. Hal ini membuktikan bahwa PIM memiliki masa hidup yang lebih lama dan stabilitas yang lebih besar sehubungan dengan hilangnya fase cair membran ke

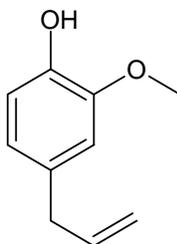
fase air dibandingkan teknologi membran cair lainnya (Ling *and* Suah, 2017). Senyawa pembawa yang terdapat dalam membran PIM mempengaruhi masa hidup membran (*lifetime membrane*) dalam memindahkan senyawa target ke fasa penerima. Membran PIM memiliki kelebihan utama dibandingkan dengan SLM (*Supported Liquid Membrane*), yaitu masa hidup yang lebih lama. Keunggulan ini disebabkan oleh mekanisme transpor membran PIM yang berbeda. Mekanisme transpor membran PIM bergantung pada komposisi membran dan homogenitas permukaan membran. Hal ini menyebabkan membran PIM memiliki kelebihan dibandingkan membran SLM (Jean *et al.*, 2018).

Pembuatan membran PIM dibentuk dengan menuangkan larutan yang mengandung ekstrak, plastisizer, dan polimer basa seperti *cellulose triacetate* (CTA) atau poli(vinil klorida) (PVC) untuk membentuk film tipis, fleksibel, dan stabil. Membran *self-supporting* yang dihasilkan dapat digunakan untuk memisahkan zat terlarut secara selektif dengan cara yang mirip dengan SLM. Dalam beberapa penelitian, PVC telah digunakan sebagai bahan pembuat gel fase cair dari SLM untuk menstabilkannya di dalam pori-pori pendukung inert (Nghiem *et al.*, 2006). Membran PIM dibuat dengan melarutkan polimer dasar (PCV atau CTA) dalam pelarut tetrahidrofur (THF) dengan pengadukan dengan magnetic stirrer selama 30-60 menit atau sampai melarut sempurna. Kemudian ditambahkan dengan senyawa pembawa sesuai kebutuhan, tambahkan dengan *plasticizer* (DBE) setelah tercampur masukkan kedalam cetakan kaca. Diamkan pada suhu kamar selama 48 jam hingga pelarut THF menguap. Membran yang telah kering diambil dan dimasukkan kedalam pipa transpor (*chamber*) transpor (Ulfia *et al.*, 2011).

#### **2.4 Eugenol dan Dialil Ftalat (DAF)**

Senyawa eugenol adalah salah satu senyawa yang banyak terdapat pada tanaman cengkeh. Eugenol merupakan senyawa yang memiliki gugus fungsional hidroksil fenolat dan alil sehingga eugenol dapat diturunkan menjadi senyawa yang memiliki manfaat dan nilai ekonomi yang tinggi (Abdul Rahim, 2017). Eugenol

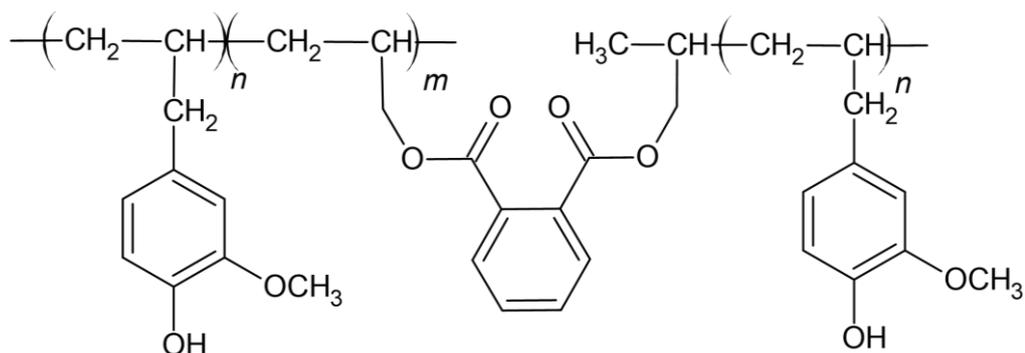
memberikan bau dan aroma yang khas dari minyak cengkeh. Eugenol merupakan senyawa dari golongan hidrokarbon beroksigen (*oxygenated hydrocarbon*) merupakan cairan minyak berwarna sedikit kekuningan, mudah menguap, dan akan menjadi coklat jika kontak dengan udara.



**Gambar 2.** Struktur Senyawa Eugenol

Eugenol suatu fenol alil yang memiliki aroma harum dan rasa pedas yang ringan. Eugenol terkenal karena sifat-sifat antiseptik, antiinflamasi, dan analgesiknya. Senyawa eugenol dapat diekstraksi dari minyak cengkeh atau diperoleh melalui sintesis kimia. Senyawa ini digunakan dalam berbagai produksi konsumen, seperti permen karet, makanan, minuman, produk perawatan pribadi, serta dalam industri farmasi dan aromaterapi. Eugenol juga memiliki potensi sebagai bahan baku dalam sintesis senyawa lain yang memiliki aktivitas biologis atau aroma tertentu. Misalnya, eugenol dapat diubah menjadi senyawa sintesis lain seperti dialil ftalat (sebagai pengawet atau membran filtrasi) atau isoeugenol (sebagai komponen parfum) (Ulanowska & Olas, 2021).

Pada umumnya polieugenol dapat dihasilkan melalui sintesis langsung dengan menggunakan katalis boron trifluoro dietil eter [ $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ ] (Kiswandono, 2014). Prediksi struktur polieugenol hasil tertaut silang dengan DAF (Gambar 3) mengikuti prosedur ataupun metode yang telah dilakukan oleh Kiswandono *et al.* (2012), yakni eugenol dan dialil ftalat dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer, kemudian ditambahkan katalis  $\text{BF}_3(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  dan diaduk dengan *magnetic stirrer*. Reaksi terjadi ditandai dengan perubahan warna.



**Gambar 3.** Prediksi Struktur Polieugenol Tertaut Silang dengan DAF  
(Kiswando, 2014)

Kopolimerisasi eugenol dengan DAF merupakan reaksi polimerisasi adisi kationik karena gugus vinil dari polieugenol mengalami reaksi adisi. Dengan kopolimerisasi eugenol ini diharapkan dapat meningkatkan jumlah sisi aktif pada polimer cincin benzena dan gugus hidroksil maka dapat menyebabkan berat molekul semakin tinggi sehingga dapat meningkatkan transpor. DAF merupakan senyawa monomer yang memiliki gugus diena sehingga dapat digunakan kopolimerisasi untuk memperoleh struktur tertaut silang dalam hasil akhirnya (Kiswando, 2010). DAF adalah senyawa kimia organik yang termasuk dalam kelompok ester ftalat, memiliki rumus molekul  $C_{14}H_{14}O_4$ . Senyawa ini memiliki sifat fisik tidak berwarna dan berbau dengan titik leleh  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan titik didih  $278\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Senyawa ini memiliki kelarutan yang baik dalam pelarut organik seperti etanol, etil asetat, dan toluena. Dialil ftalat diproduksi melalui proses reaksi esterifikasi antara asam ftalat dan senyawa alil, seperti alil alkohol atau asam akrilat, dalam kehadiran katalis. Reaksi ini menghasilkan dialil ftalat dan air sebagai produk samping.

## 2.5 Analisis dan karakterisasi

Penelitian ini dilakukan analisis dan karakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis, *Inductively Coupled Plasma* (ICP), *Fourier Transform Infra-Red* (FT-IR), dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

### 2.5.1 Spektrofotometer ultraviolet-visibel (UV-Vis)

Spektrofotometri UV-Vis adalah alat yang digunakan untuk mengukur absorbansi cahaya pada rentang ultraviolet (UV) dan sinar tampak (Visible) pada berbagai jenis larutan atau bahan. Sumber radiasi yang digunakan pada spektrofotometri UV-Vis adalah elektromagnetik ultraviolet (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm). Spektrofotometri UV-Vis merupakan metoda analisa yang penggunaannya cukup luas, baik untuk analisa kualitatif maupun kuantitatif (Susanti, 2010). Penerapan spektrofotometri UV-Vis pada senyawa organik karena didasarkan adanya transisi elektron dari  $n-\pi^*$  dan  $\pi-\pi^*$ . Transisi elektron pada spektrofotometri UV-Vis bergantung pada panjang gelombang cahaya yang digunakan dan perbedaan energi antara tingkat energi awal dan akhir elektron. Transisi ini terjadi dalam saerah spektrum (190-780 nm). Transisi elektron ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi senyawa, menentukan konsentrasi, atau mempelajari sifat-sifat optik dan elektronik zat.

Menurut Susanti (2010), spektrofotometri sederhana terdiri dari:

1. Sumber radiasi

Sumber radiasi monokromator kuvet detektor amplifier rekorder 21 sumber cahaya berasal dari lampu Deuterium (H) untuk UV dengan panjang gelombang 180-400 nm dan lampu Tungsten (wolfram) untuk Vis dengan panjang 400-800 nm.

2. Monokromator

Monokromator merupakan alat yang berfungsi sebagai penyeleksi cahaya dengan panjang gelombang tertentu. Monokromator akan memisahkan radiasi cahaya putih yang polikromatis menjadi cahaya monokromatis (mendekati monokromatis).

3. Kuvet

Pada umumnya spektrofotometri melibatkan larutan, dengan demikian diperlukan wadah/*sell* untuk menempatkan larutan.

## 4. Detektor

Fungsinya untuk mengubah energi radiasi yang jatuh mengenainya menjadi suatu besaran yang dapat diukur.

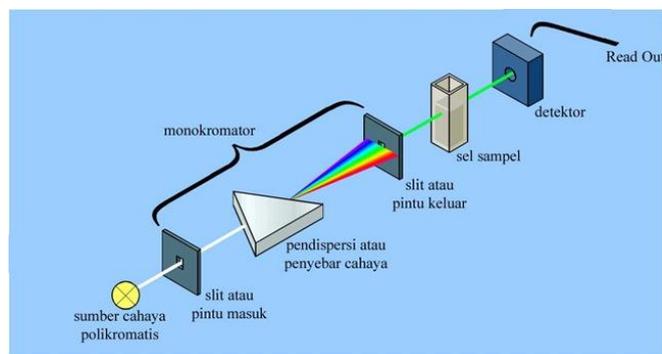
## 5. Amplifier

Fungsinya untuk memperkuat sinyal listrik.

## 6. Rekorder

Alat untuk mencatat, dapat berupa gambar/angka-angka.

Prinsip dari spektrofotometri UV-Vis adalah mengukur jumlah cahaya yang diabsorpsi atau ditransmisikan oleh molekul-molekul di dalam larutan. Ketika panjang gelombang cahaya ditransmisikan melalui larutan, sebagian energi cahaya tersebut akan diserap (diabsorpsi). Besarnya kemampuan molekul-molekul zat terlarut untuk mengabsorpsi cahaya pada panjang gelombang tertentu dikenal dengan istilah absorbansi ( $A$ ), yang setara dengan nilai konsentrasi larutan tersebut dan panjang berkas cahaya yang dilalui (biasanya 1 cm dalam spektrofotometri) ke suatu poin dimana persentase jumlah cahaya yang ditransmisikan atau diabsorpsi diukur dengan phototube (Susanti, 2010).



**Gambar 4.** Skema Spektrofotometri UV-Vis

### 2.5.2 Spektrofotometer *Inductively Coupled Plasma* (ICP)

*Inductively Coupled Plasma* (ICP) termasuk ke dalam spektroskopi atomik adalah sebuah teknik analisis yang digunakan untuk mendeteksi jejak logam dalam sampel dan untuk mendapatkan karakteristik unsur-unsur yang memancarkan gelombang tertentu. *Inductively Coupled Plasma* (ICP) merupakan instrumen

yang digunakan untuk menganalisis kadar unsur-unsur logam dari suatu sampel (Turnip, 2017). Kelebihan analisis ICP, ICP dapat mendeteksi konsentrasi unsur yang sangat rendah, bahkan dalam tingkat jejak. ICP dapat membedakan antara unsur-unsur yang berbeda, bahkan jika memiliki garis emisi yang berdekatan. ICP dapat mengukur konsentrasi unsur dalam rentang yang luas, dari tingkat jejak hingga persentase tinggi. ICP dapat mengukur beberapa unsur secara simultan dalam satu sampel. ICP relatif bebas dari interferensi matriks, yang berarti bahwa konsentrasi unsur dapat diukur dengan akurat bahkan dalam sampel yang kompleks.

Analisis ICP menggunakan sumber energi untuk mengeksitasi atom-atom dalam sampel, sehingga menghasilkan emisi cahaya. Emisi cahaya ini kemudian diukur dengan spektrofotometer untuk menentukan konsentrasi unsur-unsur dalam sampel. Prinsip utama ICP dalam penentuan struktur adalah unsur akan mengalami proses atomisasi, sehingga unsur dapat memancarkan cahaya dengan panjang gelombang tertentu kemudian dapat diukur. Bahan yang dianalisis untuk alat ini harus berwujud larutan yang homogen. Plasma ICP memecah senyawa kimia menjadi unsur-unsur penyusunnya, yang selanjutnya dieksitasi oleh plasma berenergi tinggi sehingga memancarkan sinar. Spektrofotometer memisahkan panjang spesifik dari sinar yang dipancarkan oleh tiap-tiap unsur. Sinar yang dipancarkan selanjutnya diubah menjadi sinyal listrik kemudian dikonversi menjadi konsentrasi berdasarkan intensitas sinar yang dipancarkan (Rijani dan Assi, 2020).

### **2.5.3 Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infrared*)**

Spektrofotometri FTIR adalah alat analisis spektroskopi yang digunakan untuk mengukur spektrum inframerah suatu bahan. Metode ini berdasarkan pada interaksi radiasi inframerah dengan sampel, dimana molekul-molekul dalam sampel akan menyerap energi radiasi pada panjang gelombang tertentu. Fungsi utama dari spektrofotometer FTIR adalah untuk mengenal struktur molekul (gugus fungsional). Spektrofotometer FTIR adalah grafik dari presentasi

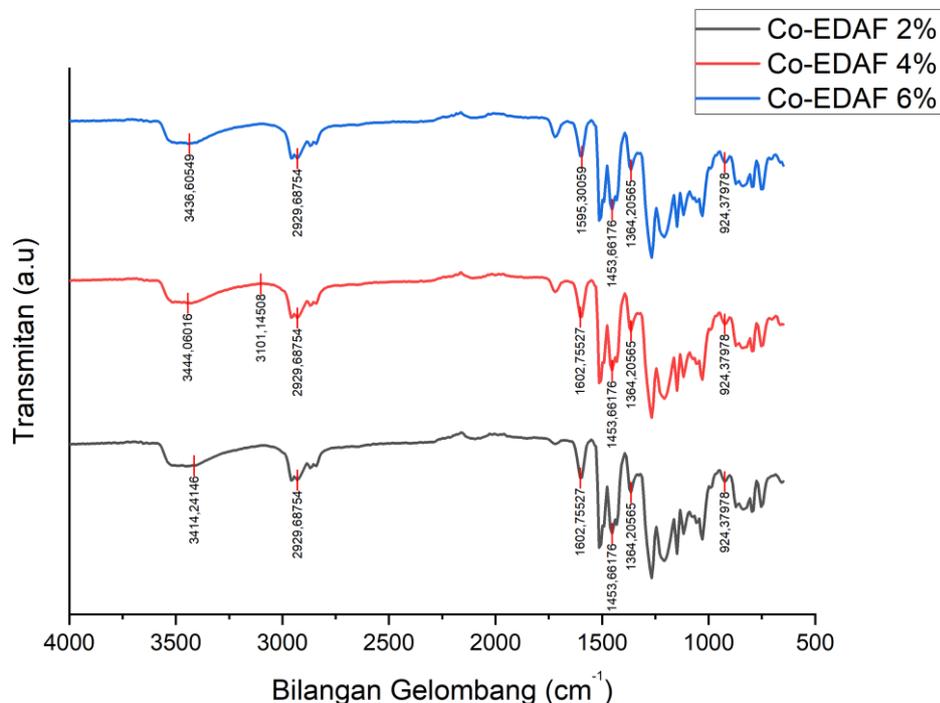
transmitansi dengan panjang gelombang atau penurunan frekuensi. Tiap lekukan yang disebut gelombang atau puncak menunjukkan adsorpsi dari radiasi inframerah oleh cuplikan pada frekuensi tersebut (Anam, 2015).

Daerah spektrum IR dapat dibagi menjadi dua, yaitu daerah frekuensi gugus fungsional dan daerah sidik jari (*fingerprint*). Daerah frekuensi gugus fungsional terletak pada daerah radiasi 4000-1400  $\text{cm}^{-1}$ . Pita-pita absorpsi pada daerah ini utamanya disebabkan oleh vibrasi dua atom, sedangkan frekuensinya karakteristik terhadap massa atom yang berikatan dan konstanta gaya ikatan. Daerah sidik jari (*fingerprint*) terletak pada daerah radiasi 1400-400  $\text{cm}^{-1}$ . Pita-pita absorpsi pada daerah ini berhubungan dengan vibrasi molekul secara keseluruhan. Setiap atom dalam molekul akan saling mempengaruhi sehingga dihasilkan pita-pita absorpsi yang khas untuk setiap molekul (Kusumastuti, 2011).

Berdasarkan penelitian sintesis kopoli (eugenol-divinil benzena) yang telah dilakukan oleh Handayani *et al.* (2004), serapan lebar pada 3448,5  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus -OH. Serapan pada 1300-1000  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus eter (-C-O-). Serapan pada 3100-3000  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi  $\text{Csp}^2\text{-H}$  dan adanya senyawa aromatis ditunjukkan oleh pita serapan 1612,4  $\text{cm}^{-1}$  dan 1514,0  $\text{cm}^{-1}$ , sedangkan pita serapan pada 900-800  $\text{cm}^{-1}$  yaitu senyawa aromatik yang tersubstitusi 1, 2, 4. Pita serapan pada 1637,5  $\text{cm}^{-1}$  merupakan pita serapan karakteristik untuk rentang C=C yang dikuatkan oleh pita serapan keluar bidang pada 900-650  $\text{cm}^{-1}$ . Serapan pada 995,2  $\text{cm}^{-1}$  dan 914,2  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan gugus tak jenuh berupa gugus vinil (-C=CH<sub>2</sub>-). Serapan pada 3000-2800  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi  $\text{Csp}^3\text{-H}$ . Gugus alkil yaitu metil (-CH<sub>3</sub>) yang ditunjukkan oleh pita serapan 1367,4  $\text{cm}^{-1}$  dan gugus metilena (-CH<sub>2</sub>-) yang ditunjukkan oleh serapan pada 1431,1  $\text{cm}^{-1}$ .

Keuntungan lainnya dari metode ini adalah dapat digunakan untuk mengidentifikasi sampel dalam berbagai fase (gas, padat atau cair). Kesulitan-kesulitan yang ditemukan dalam identifikasi dengan spektrofotometri FTIR dapat ditunjang dengan data yang diperoleh dengan menggunakan metode

spektrofotometri lainnya (Kusumastuti, 2011). Sintesis *Copoly* eugenol-DAF (Co-EDAF) sudah dilakukan dan dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR. Hasil analisa dengan menggunakan spektrofotometer FTIR seperti pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Hasil analisis sintesis Co-EDAF dengan spektrofotometer FTIR. Hasil analisa FTIR yang telah dilakukan pada Co-EDAF 2%, 4%, dan 6% pada serapan  $924,37\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus aromatis tersubstitusi, pada serapan  $1364,20\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus eter (C-O) dan alkil ( $\text{CH}_3$ ), pada serapan  $1453,66\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus metilena, pada serapan  $1602,75\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya senyawa aromatis, pada serapan  $2929,68\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus C-H alifatik, pada serapan  $3414,24\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi  $\text{Csp}^2\text{-H}$ , dan pada  $3444,06\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus hidroksil bebas.

#### 2.5.4 Scanning Electron Microscope (SEM)

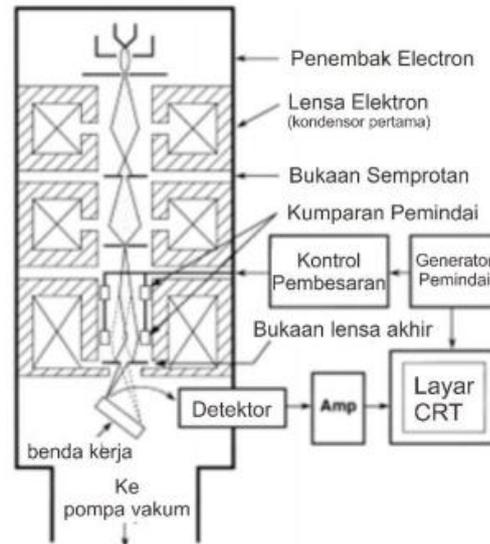
*Scanning Electron Microscope* (SEM) merupakan jenis mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk melihat benda dengan resolusi tinggi. Analisis SEM bermanfaat untuk mengetahui mikrostruktur

(termasuk porositas dan bentuk retakan) benda padat. Berkas sinar elektron dihasilkan dari filamen yang dipanaskan, disebut *electron gun* (Gunawan, 2010). SEM merupakan salah satu alat yang populer untuk mengukur ketebalan dan ukuran butir suatu material. SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan profil permukaan atau morfologi suatu material. Pada dasarnya, prinsip kerja SEM adalah menembakkan permukaan benda dengan menggunakan berkas elektron berenergi tinggi sehingga permukaan benda haruslah konduktif (Didik, 2020).

Permukaan benda kerja atau material yang dipindai dengan elektron dan sinar elektron yang dipantulkan kemudian dikumpulkan, setelah itu ditampilkan dalam sebuah layar melalui detektor. Gambar di layar biasanya berupa topologi, morfologi, maupun komposisi. Permukaan spesimen atau material yang akan digunakan harus berupa konduktor (maupun menghantarkan listrik), bisa dilakukan pemolesan/pelapisan terlebih dahulu apabila spesimen tidak bersifat konduktor. Perbesaran lensa yang mampu dilakukan oleh *scanning electron microscope* (SEM) sebesar 10 sampai lebih dari 50.000 kali dimungkinkan (Hidayat, 2021).

*Scanning Electron Microscope* (SEM) memiliki mekanisme kerja dimulai dengan suatu sinar elektron dipancarkan dari *electron gun* yang dilengkapi dengan katoda filamen tungsten. Sinar elektron difokuskan oleh satu atau dua lensa kondensor ke suatu titik dengan diameter 0,4 mm sampai 0,5 mm. Sinar kemudian melewati sepasang gulungan pemindai (*scanning coil*) atau sepasang pelat deflektor di kolom elektron yang terdapat pada lensa terakhir, kemudian membelokkan sinar di sumbu x dan y sehingga dapat dipindai dalam mode raster di area persegi permukaan spesimennya. Pada saat elektron berinteraksi dengan spesimen atau disebut volume interaksi yang bergantung pada energi elektron, nomor atom, dan kepadatan spesimen sendiri. Kemudian raster pemindaian layar CRT disinkronkan dengan sinar pada spesimen di mikroskop, dan gambar yang dihasilkan berasal dari peta distribusi intensitas sinar yang dipancarkan dari daerah spesimen yang dipindai. Hasil dari gambar dapat diambil dari fotografi tabung sinar katoda

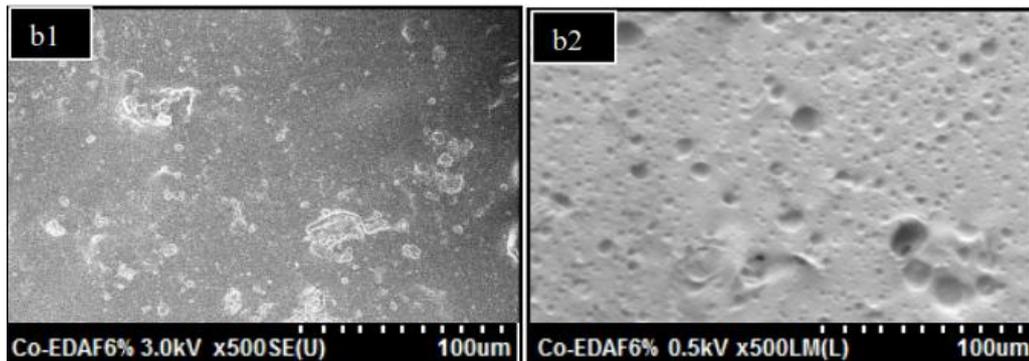
beresolusi tinggi namun pada mesin modern didukung dengan sebuah monitor komputer. Skema dari alat *Scanning Electron Microscope* (SEM) dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Skema *Scanning Electron Microscope* (SEM) (Hidayat, 2021)

*Scanning Electron Microscopy – Electron Dispersive X-ray* (SEM EDX) merupakan jenis mikroskop elektron yang memungkinkan dilakukannya analisis mikro secara kualitatif dan semi kuantitatif untuk mengetahui unsur-unsur dalam suatu sampel (Hanum *et al.*, 2020). Metode ini banyak digunakan untuk mengamati morfologi permukaan, struktur, dan pemetaan kandungan unsur pada berbagai jenis sampel, mulai dari bahan alam, organik, anorganik, polimer, logam hingga sampel biologi (Sahdiah dan Kurniawan, 2023). Prinsip kerja SEM EDX menggunakan berkas elektron berenergi tinggi untuk memindai objek, menghasilkan gambar dan informasi komposisi sampel. Berkas elektron yang digunakan memiliki panjang gelombang puluhan ribu kali lebih pendek dibandingkan dengan cahaya tampak, sehingga menghasilkan gambar dengan resolusi dan detail yang lebih baik daripada mikroskop optik (Masta, 2020).

Kiswandono (2014) melakukan karakterisasi membran sebelum dan setelah transpor fenol dengan senyawa pembawa Co-EDAF 6%. Hasil karakterisasi membran sebelum dan setelah transpor fenol seperti pada Gambar 7.



**Gambar 7.** (b1) Co-EDAF 6% sebelum transpor; (b2) Co-EDAF 2% setelah transpor

Membran sebelum transpor (Gambar 7. b1) terlihat bahwa permukaan membran yang lebih halus. Hal ini disebabkan karena komponen membran dan serbuk Co-EDAF 6% dapat terlarut sempurna pada pelarut THF. Tetapi pada membran yang telah digunakan selama 24 jam (Gambar 7. b2) mulai terlihat adanya lubang-lubang yang diakibatkan karena mulai terkikisnya permukaan membran. Hal ini lah yang mengakibatkan membran Co-EDAF 6% mempunyai *membrane liquid loss* (ML *loss*) yang lebih tinggi. ML *loss* terjadi dikarenakan *leaching* (hilangnya) komponen membran, khususnya Co-EDAF sebagai senyawa pembawa ke dalam larutan fasa sumber atau fasa penerima. Hilangnya ML ini mengakibatkan berkurangnya jumlah sisi aktif membran sehingga interaksi  $\pi - \pi$  dan ikatan hidrogen yang dapat terbentuk antara fenol dan senyawa pembawa juga berkurang (Kiswandono *et al.*, 2019).

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada Desember 2023 - Maret 2024 di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi membran PIM menggunakan alat *Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dan FT-IR dilakukan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Bandung. Analisis sampel menggunakan spektrofotometri UV-Vis yang dilakukan di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Analisis *Inductively Coupled Plasma* (ICP) yang dilakukan UPT Laboratorium Terpadu dan Pusat Inovasi Teknologi (LT-SIT) Universitas Lampung.

#### 3.2 Alat dan bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah *magnetic stirrer, magnetic bar*, neraca digital (Mettler Tolde AB54-S), pipet tetes, spatula, tabung reaksi, corong pisah, satu set alat transpor MG (*chamber* berdiameter 3,5 cm), gelas ukur, gelas kimia, batang pengaduk, cawan petri, labu takar, oven, *thickness gauge* (Mitutoyo 7301), pH meter (HM-30R), spektrofotometer UV-Vis (Hitachi U-2010), *Scanning Electron Microscope* (SEM) Brand/Type : Jeol JSM-IT200 dan *Thermo Scientific FTIR Nicolet IS5*.

Bahan yang telah digunakan pada penelitian ini adalah Co-EDAF 6%, *Malachite Green*, poli(vinil) klorida (PVC), dibenzileter (DBE), tetrahidrofuran (THF), asam nitrat (HNO<sub>3</sub>), PbCO<sub>3</sub>, CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O, akuades, plastik *warp*, tisu dan *aluminium foil*.

### 3.3 Pembuatan Larutan Induk Malachite Green, Pembuatan Limbah Buatan dan Pengukuran Konsentrasi Malachite Green

- a. Pembuatan larutan induk *Malachite Green* (MG) 1000 ppm  
1 gram MG ditimbang, selanjutnya MG dilarutkan dalam 1000 mL akuades dan larutan dihomogenkan.
- b. Pembuatan limbah buatan 12,5 ppm  
Larutan limbah buatan yang mengandung MG, logam Pb(II), dan logam Cu(II) dibuat dengan cara menimbang 0,0025 g MG, 0,00098 g PbCO<sub>3</sub>, dan 0,0032 g CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O. Masing-masing logam dilarutkan dalam labu ukur 100 mL, selanjutnya tambahkan akuades sampai tanda tera. Larutan dari masing-masing logam dicampurkan sesuai dengan jenis limbah buatan yang diinginkan.
- c. Pengukuran Konsentrasi *Malachite Green* (MG)  
Sebelum mengukur konsentrasi MG, langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan panjang gelombang maksimum absorbansi MG. Absorbansi diukur pada rentang panjang gelombang 400 nm hingga 800 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Nilai panjang gelombang maksimum dengan absorbansi tertinggi dicatat untuk digunakan pada langkah selanjutnya. Kemudian, konsentrasi MG pada larutan standar, fasa sumber, dan fasa penerima diukur, masing-masing 5 mL larutan diambil. Absorbansi diukur pada panjang gelombang maksimum ditentukan sebelumnya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Nilai absorbansi ini kemudian digunakan untuk menghitung konsentrasi MG dalam setiap larutan dengan bantuan kurva kalibrasi.

### 3.4 Pembuatan Membran PIM

Membran PIM dibuat dengan mencampurkan *copoly* (eugenol-DAF) 6% sebagai senyawa pembawa, PVC sebagai polimer dasar, dan DBE sebagai *plasticizer* dengan rasio 10:32:58 (Nghiem *et al.*, 2006). Komposisi membran dapat dilihat pada Tabel 2. Tetrahidrofur (THF) sebanyak 10 mL yang berfungsi sebagai pelarut ditambahkan ke dalam cetakan membran PIM. Campuran tersebut

kemudian diaduk selama 30-60 menit hingga homogen. Membran hasil cetakan didiamkan selama 3 hari untuk menghilangkan pelarut secara alami.

**Tabel 2.** Komposisi pembentuk membran PIM (Nghiem *et al.*, 2006)

<b>Tipe Membran</b>	<b>Co-EDAF 6% (g)</b>	<b>PVC (g)</b>	<b>DBE (g)</b>	<b>Total (g)</b>
T <sub>27</sub> (Tipis)	0,0270	0,0864	0,1566	0,2700
T <sub>54</sub> (Normal)	0,0540	0,1728	0,3132	0,5400
T <sub>108</sub> (Tebal)	0,1080	0,3456	0,6264	1,0800

Membran PIM yang telah selesai dibuat, terlebih dahulu ditimbang sebelum digunakan untuk proses transpor MG. Karakterisasi membran PIM sebelum dan setelah transpor dianalisis menggunakan FTIR dan SEM. Ketebalan membran diukur menggunakan *thickness gauge*.

### 3.5 Uji Membran PIM

#### 3.5.1 Uji Porositas Membran

Merendam membran PIM dengan 10 mL akuabides di dalam cawan petri selama 24 jam pada suhu ruang. Membran dikeringkan menggunakan tisu dan ditimbang sehingga didapatkan nilai  $W_1$  (g) sebagai nilai berat basah awal membran. Membran dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 100 °C selama 6 jam hingga benar-benar kering, lalu didinginkan dan ditimbang kembali sehingga didapatkan nilai  $W_2$  (g) sebagai berat kering membran. Hasil berat yang diperoleh untuk menentukan persen porositas membran seperti pada Persamaan 1 (Suryandari, 2020).

$$\text{Porositas} = \frac{W_1 - W_2}{\rho_w \cdot V_t} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Dengan : } V_t = \frac{W_1 - W_2}{\rho_w} + \frac{W_2}{\rho_p}$$

Ket :

$W_1$  : berat basah membran (g)

$W_2$  : berat kering membran (g)

$\rho_w$  : densitas air (1 g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_p$  : densitas Co-EDAF 6% (1,46 g/cm<sup>3</sup>)

$V_t$  : volume membran basah (cm<sup>3</sup>)

### 3.5.2 Uji Serapan Air Membran

Membran PIM ditimbang untuk didapatkan berat awal membran. Kemudian, membran direndam dalam 10 mL akuabides selama 6 jam dan ditimbang kembali setelah perendaman. Hasil berat yang diperoleh digunakan untuk menentukan persen serapan air membran seperti pada Persamaan 2 (Lusiana dkk., 2020).

$$\text{Serapan Air} = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100\% \quad (2)$$

Ket :

$W_w$  : berat basah membran (g)

$W_d$  : berat kering membran (g)

## 3.6 Optimasi Transpor *Malachite Green*

### 3.6.1 Variasi pH *Malachite Green* pada Fasa Sumber

Lima membran PIM dengan ketebalan normal ( $T_{54}$ ) dipasang pada lima pipa transpor (*chamber*) yang memiliki diameter 3,5 cm. Masing-masing *chamber* ditambahkan 50 mL larutan HNO<sub>3</sub> 1 M sebagai fasa penerima dan 50 mL MG 25 ppm sebagai fase sumber. pH fasa sumber divariasikan menjadi pH 5, 6, 7, 8, dan 9. Pipa transpor ditutup dan diaduk selama 12 jam menggunakan pengaduk magnet. Setelah diaduk, 5 mL sampel diambil dari fasa sumber dan fasa penerima. Konsentrasi MG dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

### 3.6.2 Variasi Konsentrasi Fasa Penerima

Membran PIM dengan ketebalan normal diletakkan di tengah pipa transpor. 50 mL larutan MG 25 ppm ditambahkan pada fasa sumber dengan pH optimum. Fasa penerima diisi dengan 50 mL larutan HNO<sub>3</sub> dengan konsentrasi 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; dan 1,50 M. Tutup pipa transpor dan diaduk selama 12 jam dengan pengaduk magnet. Setelah diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sebanyak 5 mL. Sampel dari fasa sumber dan fasa penerima diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

### 3.6.3 Variasi Ketebalan Membran

Membran PIM yang sudah dicetak dengan ketebalan tipis (T<sub>27</sub>), normal (T<sub>54</sub>), dan tebal (T<sub>108</sub>) diletakkan di tengah pipa transpor. Kemudian, 50 mL larutan HNO<sub>3</sub> kondisi optimum ditambahkan sebagai fasa penerima dan 50 mL larutan 25 ppm dengan pH optimum sebagai fasa sumber. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet selama 12 jam. Setelah diaduk, sampel 5 mL diambil dari fasa penerima dan fasa sumber. Analisis dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

### 3.6.4 Variasi Konsentrasi Senyawa Pembawa

Membran PIM dengan komposisi optimum dicetak dan mengandung variasi massa senyawa pembawa (seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3). Membran PIM ditempatkan di tengah pipa transpor. 50 mL larutan HNO<sub>3</sub> dengan kondisi optimum ditambahkan ke pipa transpor sebagai fasa penerima. 50 mL larutan MG 25 ppm dengan pH optimum ditambahkan ke dalam pipa transpor sebagai fasa sumber. Pipa transpor ditutup dan pengaduk magnet digunakan untuk mengaduk larutan selama 12 jam. 5 mL sampel dari fasa sumber dan penerima diambil, dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

**Tabel 3.** Variasi Konsentrasi Senyawa Pembawa

Membran	Co-EDAF (M)	PVC (g)	DBE (g)	(g)
1	0,01	0,1728	0,3132	0,0246
2	0,02	0,1728	0,3132	0,0540
3	0,03	0,1728	0,3132	0,0738
4	0,04	0,1728	0,3132	0,0985
5	0,05	0,1728	0,3132	0,1231

### 3.6.5 Variasi Waktu Transpor

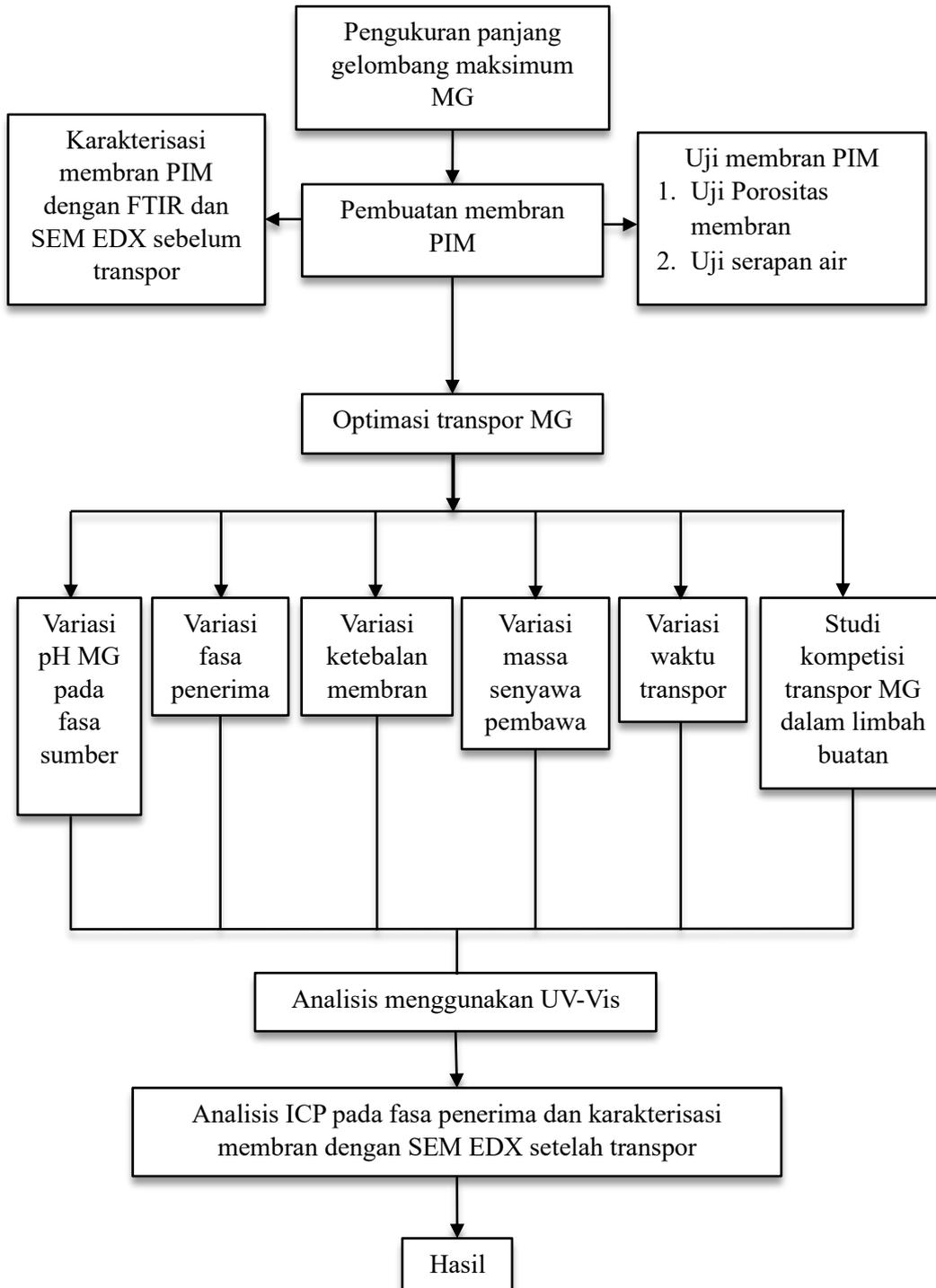
Membran PIM dengan ketebalan optimum yang sudah dicetak dan mengandung senyawa pembawa ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor. Kemudian 50 mL larutan HNO<sub>3</sub> kondisi optimum ditambahkan sebagai fasa penerima dan 50 mL MG 25 ppm dengan pH optimum sebagai fasa sumber. Setelah pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet selama 6, 12, 18, 24, dan 30 jam. Ambil 5 mL dari fasa sumber dan fasa penerima untuk diukur konsentrasi MG. Analisis dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang maksimum.

### 3.6.6 Studi Kompetisi Transpor *Malachite Green* pada Limbah Buatan

Untuk membuat sampel limbah buatan MG, CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O dan PbCO<sub>3</sub> dibuat dengan mencampurkan masing-masing larutan dengan konsentrasi 12,5 ppm. Transpor MG kemudian dilakukan dengan menggunakan membran PIM dengan ketebalan optimum yang telah dicetak. Membran berada di tengah pipa transpor, ditambahkan 50 mL limbah buatan sebagai fasa sumber dan 50 mL HNO<sub>3</sub> kondisi optimum dimasukkan sebagai fasa penerima. Setelah itu, pipa transpor ditutup dan pengaduk magnet digunakan untuk mengaduk fasa sumber dan fasa penerima pada suhu kamar dengan waktu optimum. Jumlah MG di fasa sumber dan fasa penerima diukur dengan spektrofotometer UV-Vis. Variasi logam Cu(II) dan Pb(II) dilakukan karakterisasi dengan SEM EDX dan analisis ICP.

### 3.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dari penelitian ini seperti pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Diagram Alir Penelitian

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Transpor MG diperoleh keadaan optimum dengan pH fasa sumber MG 8, konsentrasi fasa penerima  $\text{HNO}_3$  optimum 0,75 M dengan ketebalan membran  $T_{54}$  (normal) menggunakan konsentrasi senyawa pembawa 0,02 M dengan waktu transpor 18 jam, jumlah MG yang tertranspor dari fasa membran menuju fasa penerima sebesar 91,86%.
2. Studi kompetisi transpor MG dalam limbah buatan menggunakan logam Pb(II) dan Cu(II) dapat mengganggu proses transpor MG dari fasa sumber menuju fasa penerima.
3. Hasil karakterisasi membran PIM setelah transpor memiliki permukaan yang tidak rata dan membran memiliki pori karena terdapat komponen membran yang hilang selama proses transpor (*leaching*). Hal ini dibuktikan dengan uji kualitatif FTIR yang menunjukkan adanya pergeseran pita serapan dan penurunan intensitas.

### 5.2 Saran

Saran dari penelitian ini yaitu perlu dilakukan kajian serta penelitian lebih lanjut mengenai transpor MG yang difokuskan dengan %konsentrasi fasa penerima yang lebih tinggi (%Cp) dengan menggunakan senyawa pembawa lain. Selain itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai transpor MG dengan beberapa logam kompetitor selain Pb(II) dan Cu(II) menggunakan *Polymer Inclusion Membrane* (PIM).

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. A., Ahmad, M. A., Yahaya, N. K. E. M., and Karim, J. 2021. Adsorption of malachite green by activated carbon derived from gasified *Hevea brasiliensis* root. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(4), 103104.
- Almeida, M. I. G. S., Cattrall, R. W., and Kolev, S. D. 2012. Recent Trends In Extraction and Transport Of Metal Ions Using Polymer Inclusion Membranes (PIMs). *Journal of Membrane Science*, 415–416, 9–23.
- Anam, C., Firdausi, K. S., dan Sirojudin, S. 2007. Analisis Gugus Fungsi Pada Sampel Uji, Bensin dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FTIR. *Berkala Fisika*, 10(1): 79-85.
- Anam, K. 2015. *Isolasi Senyawa Triterpenoid dari Alga Merah (Eucheuma cottoni) Menggunakan Kromatografi Lapis Tipis (KLT) dan Analisisnya Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan FTIR*. Skripsi, 22–23.
- Ashraf, W. M., Abulibdeh, N., dan Salam, A. 2019. Selective removal of malachite green dye from aqueous solutions by supported liquid membrane technology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(18).
- Bhernama, B. G. 2017. Degradasi Zat Warna Malachite Green Secara Ozonolisis Dengan Penambahan Katalis  $\text{TiO}_2$  - anatase dan  $\text{ZnO}$ . *Elkawanie*, 3(1), 1–10.
- Cai, C., Yang, F., Zhao, Z., Liao, Q., Bai, R., Guo, W., Chen, P., Zhang, Y., and Zhang, H. 2019. Promising transport and high-selective separation of  $\text{Li(I)}$  from  $\text{Na(I)}$  and  $\text{K(I)}$  by a functional polymer inclusion membrane (PIM) system. *Journal of Membrane Science*, 579 (November 2018), 1–10.
- Didik, L. A. 2020. Penentuan Ukuran Butir Kristal  $\text{CuCr}_{0,98}\text{Ni}_{0,02}\text{O}_2$  dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) dan Scanning Electron Microscope (SEM). *Indonesian Physical Review*, 3(1), 6–14.
- Fan, J., Fan, Y., Pei, Y., Wu, K., Wang, J., and Fan, M. 2008. Solvent extraction of selected endocrine-disrupting phenols using ionic liquids. *Separation and Purification Technology*, 61(3), 324–331.

- Gherasim, C.V., Bourceanu, G., dan Timpu, D., 2011, Experimental and Modeling Studies of Lead (II) Sorption onto a Polyvinyl-Chloride Inclusion Membrane, *Chem. Eng. J.*, 172: 817 – 827.
- Handayani, D. S., Kusumaningsih, T., and Yuli, M. 2004. Synthesis of copoly(eugenol sulfonate)-DVB from eugenol as a major component of *Syzygium aromaticum* oils. *Biofarmasi Journal of Natural Product Biochemistry*, 2(2), 53–57.
- Hanum, F. F., Rahayu, A., Sutopo, U. M., dan Mufrodi, Z. (2020). Coal Fly Ash Characterization from Cement Industry “X” as an Initial Study in Its Utilization. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 7(1), 57.
- Hidayat, M. A., dan Darmawan, I. A. S. 2021. *Analisa Fasa Pada Besi Cor Kelabu dan Besi Cor Nodular Menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) dengan Backscattered Electron (BSE)*. Doctoral dissertation. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Jean, E., Villemin, D., Hlaibi, M., and Lebrun, L. 2018. Heavy metal ions extraction using new supported liquid membranes containing ionic liquid as carrier. *Separation and Purification Technology*, 201, 1–9.
- Kislik, V. S. 2010. *Liquid Membranes Principle and Application in Chemical Separations and Wastewater Treatment*. Elsevier. Inggris.
- Kiswandono, A. A. 2014. *Study on the Transport of Phenol Through Crosslinked Polyeugenol Based Polymer Inclusion Membrane (PIM)*. (Doctoral Dissertation, Universitas Gajah Mada), 1–305.
- Kiswandono, A. A. 2016. Review Metode membran cair untuk pemisahan fenol. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 1(1), 74–91.
- Kiswandono, A. A., Mudasir, Siswanta, D., Aprilita, N. H., Santosa, S. J., and Hadi, S. 2019. Synthesis and characterization of co-edaf and its application test as a carrier membrane for phenol transport using polymer inclusion membrane (PIM). *Research Journal of Chemistry and Environment*, 23(5), 1–9.
- Kiswandono, A. A., Sindiani, A. V., Khotimah, R. K., Rabbani, M. B., Kurniawan, B., Rinawati, R., & Putra, H. E. 2024. Transport of Malachite Green Using the Polyeugenol-Based Polymer Inclusion Membrane (PIM) Method. *Journal of Membrane Science and Research*, 10(1), 1–5.
- Kiswandono, A. A., Siswanta, D., Aprilita, N. H., and Santosa, S. J. 2012. Transport of phenol through inclusion polymer membrane (PIM) using copoly(eugenol-DVB) as membrane carriers. *Indonesian Journal of Chemistry*, 12(2), 105–112.
- Kiswandono, A. A., Siswanta, D., Aprilita, N. H., Santosa, S. J., and Hayashita, T. 2013. Extending the lifetime of polymer inclusion membrane containing copoly(eugenol-DVB) as carrier for phenol transport. *Indonesian Journal of Chemistry*, 13(3), 254–261.

- Kiswando, A. A., Widiarto, S., Sari, D. T. E. N., Supriyanto, R., Qudus, H. I., Rinawati, R., Rahmawati, A., dan Devariani, W. 2021. Kompetisi Fenol pada Limbah Buatan Menggunakan Kopolimer Eugenol Divinil Benzena 10% sebagai Senyawa Pembawa. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 18(1), 1.
- Kusumaningrum, A. V. 2023. *Analisis Risiko Logam Berat Pada Air Tanah dan Kualitas Air Lindi di Sekitar TPA Banyuroto Kabupaten Kulonprogo* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Kusumastuti, A. 2011. Pengenalan Pola Gelombang Khas dengan Interpolasi. *CAUCHY: Jurnal Matematika Murni Dan Aplikasi*, 2(1), 7–12.
- Ling, Y. Y., and Suah, F. B. M. 2017. Extraction of malachite green from wastewater by using polymer inclusion membrane. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(1), 785–794.
- Lusiana, A. R. 2019. Studi Sifat Fisikokimia Membran Kitosan Termodifikasi. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 4(02), 1–13.
- Lusiana, R. A., dan Pranotoningtyas, W. P. 2018. Membran Kitosan Termodifikasi Tripolifosfat-Heparin Dan Aplikasinya Pada Permeasi Urea Dan Kreatinin. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 3(1).
- Lusiana, R. A., Pratiwi Rusendi, D., Setiyo Widodo, D., Haris, A., Suseno, A., dan Gunawan, G. 2019. Studi Sifat Fisikokimia Membran Kitosan Termodifikasi Heparin Dan Polietilen Glikol (PEG). *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 4(02), 1–13.
- Lusiana, R. A., Saputry, A. P., dan Prasetya, N. B. A. 2020. Pengaruh Penambahan Aditif terhadap Karakterisasi Fisikokimia Membran Polisulfon. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(3), 195–200.
- Maslahat, M., dan Kiswando, A. A. 2017. Studi Transpor Senyawa Fenol Menggunakan Membran Cair Polieugenol dengan Pelarut Diklorometana. *Jurnal Sains Natural*, 1(2), 145.
- Masta, N. 2020. *Buku Materi Pembelajaran Scanning Electron Microscopy*. Universitas Kristen Indonesia. Jakarta.
- Matpang, P., Sriuttha, M., dan Piwpuan, N. 2017. Effects of malachite green on growth and tissue accumulation in pak choy (*Brassica chinensis* Tsen & Lee). *Agriculture and Natural Resources*, 51(2), 96–102.
- Mittal, A., Krishnan, L., and Gupta, V. K. 2005. Removal and recovery of malachite green from wastewater using an agricultural waste material, de-oiled soya. *Separation and Purification Technology*, 43(2), 125–133.
- Mohamed, F. F., Allah, P. A., Mehdi, A., and Baseem, M. 2015. Photoremoval of Malachite Green (MG) using Advanced Oxidation Process. *Research Journal of Membrane of Chemistry and Environmental*, 15(3), 65-70
- Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membranes Technology, 2nd edition*. Kluwer Academic Publisher. The Netherlands.

- Nghiem, L. D., Mornane, P., Potter, I. D., Perera, J. M., Cattrall, R. W., and Kolev, S. D. 2006. Extraction and Transport of Metal Ions and Small Organic Compounds Using Polymer Inclusion Membranes (PIMs). *Journal of Membrane Science*, 281(1–2), 7–41.
- Oladoye, P. O., Ajiboye, T. O., Wanyonyi, W. C., Omotola, E. O., and Oladipo, M. E. 2023. Insights into remediation and decontamination technology of malachite green wastewater. *Water Science and Engineering*, 16(3), 261–270.
- Permatasari, I., S., Cholid Djunaidi, M., dan Habibi, H. 2019. Pemisahan Ion Logam Krom Dari Limbah Elektroplating Menggunakan Polieugenol Dengan Teknik Membran Cair. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 4(02): 14–29.
- Rahim, E. A. 2017. Sintesis dan Sifat Kopolimer Kristal Kiral Metil Eugenol dan Eugenol [Synthesis and Properties Analytic of The Chiral Crystal Copolymers of Methyl Eugenol and Eugenol]. *Kovalen*, 3(2), 180–188.
- Rodríguez, E., & Miguel, S. (2022). Citation: Rodríguez de San Miguel, E. Polymer Inclusion Membranes. *membranes Editorial Polymer Inclusion Membranes*. 10–12.
- Rapierna, A., Latifah, and Mahatmanti, F. W. 2012. Sintesis dan Pemanfaatan Membran Kitosan-Silika sebagai Membran Pemisah Ion Logam Fe<sup>2+</sup>. *Indones. J. Chem. Sci.*, 1(1), 37–42.
- Rijani, F., and Assi, G. I. 2020. *Sintesis Zeolit Alam Lampung Termodifikasi Untuk Aplikasi Adsorpsi Logam Berat Pb<sup>2+</sup> dan Cu<sup>2+</sup>* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Kalimantan).
- Sahdiah, H., and Kurniawan, R. 2023. Optimasi Tegangan Akselerasi pada Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX) untuk Pengamatan Morfologi Sampel Biologi. *Jurnal Sains dan Edukasi*, 6(2), 117–123.
- Sharma, N., and Nandi, B. K. 2013. Utilization of Sugarcane Baggase, an Agricultural Waste to Remove Malachite Green Dye from Aqueous Solutions. *Journal of Materials and Environmental Science*, 4(6), 1052–1065.
- Srivastava, S., Sinha, R., and Roy, D. 2004. Toxicological effects of malachite green. *Aquatic Toxicology*, 66(3), 319–329.
- Suryandari, E. T. 2020. Sintesis Membran Komposit PVDF-Zeolit untuk Penghilangan Metilen Biru. *Al-Kimiya*, 6(2), 58–66.
- Susanti, S. 2010. *Penetapan Kadar Formaldehid Pada Tahu yang dijual di Pasar Ciputat dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis disertai Kolorimetri Menggunakan Pereaksi Nasih*. Skripsi. Universitas Islam Negeri (UIN) Syarif Hidayatullah. Jakarta.

- Suwandi, A. C., Indraswati, N., dan Ismadji, S. 2011. Modifikasi Kaolin dengan Menggunakan Surfaktan Alami dari Buah Lerak untuk Menghilangkan Zat Warna Malachite Green. *In Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia*.
- Turnip, A. M. 2017. *Analisis Kadar Logam Besi dan Mangan pada Air Bersih dengan Metode Inductively Coupled Plasma (ICP)*. Univeritas Sumatera Utara. Medan.
- Ulfia, K. N., Khabibi, K., and Djunaidi, M. C. 2011. Recovery Logam Krom (VI) Menggunakan Polymer Inclusion Membran (PIM) dengan Senyawa Pembawa Aliquat 336, Topo dan Campuran Aliquat 336-Topo. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 14(3), 77–82.
- Ulanowska, M., & Olas, B. 2021. Biological properties and prospects for the application of eugenol—a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7).
- Zhao, W., He, G., Nie, F., Zhang, L., Feng, H., and Liu, H. 2012. Membrane Liquid Loss Mechanism of Supported Ionic Liquid Membrane for Gas Separation. *Journal of Membrane Science*, 411–412, 73–80.