

**TRANSPOR *MALACHITE GREEN* MENGGUNAKAN METODE
POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM) DENGAN *CARRIER*
Co-EEGDMA 4%**

(Skripsi)

Oleh

**Abdurachman
NPM 2117011108**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

TRANSPOR *MALACHITE GREEN* MENGGUNAKAN METODE *POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM)* DENGAN *CARRIER* Co-EEGDMA 4%

Oleh

ABDURACHMAN

Malachite Green (MG), senyawa organik sintesis *triphe-nilmetana*, telah banyak digunakan dalam industri kimia. Terlepas dari aplikasinya yang luas, MG juga mempunyai sifat toksik yang bertahan lama di dalam air dan sulit untuk di degradasi oleh mikroorganisme. Oleh karena itu, untuk mengurangi bahaya MG bagi manusia dan lingkungan, penghilangan MG dari air limbah selalu menjadi fokus penelitian di bidang lingkungan. Salah satu metode yang biasa digunakan adalah dengan metode pemisahan membran cair. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan transpor *Malachite Green* menggunakan metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) dengan *carrier* Copoly Eugenol Ethylene Glycol Dimethacrylate (Co-EEGDMA 4%). Parameter yang dilakukan yaitu optimasi pH pada fasa sumber, konsentrasi HNO₃ pada fasa penerima, ketebalan membran, konsentrasi *carrier*, dan optimasi waktu transpor. Selain itu, dilakukan juga uji kompetisi transpor antara *Malachite Green* dengan logam berat Cu(II) dan Pb(II) pada limbah buatan. Hasil penelitian diperoleh bahwa kondisi optimum pada pH fasa sumber MG adalah 7, konsentrasi fasa penerima HNO₃ optimum adalah 1,25 M dengan ketebalan membran T₅₄ (ketebalan normal), dan waktu transpor optimum yaitu selama 24 jam. Selain itu didapatkan juga bahwa keberadaan logam Cu(II) dan Pb(II) mempengaruhi proses transpor yang ditunjukkan dengan menurunnya nilai %removal MG yaitu sebesar 87,80% dibandingkan dengan transpor MG tanpa logam yaitu sebesar 91,75%. Karakterisasi FTIR pada membran PIM sesudah tranpor menunjukkan adanya pergeseran pita serapan dan penurunan intensitas.

Kata Kunci : Co-EEGDMA, PIM, *Malachite Green*

ABSTRACT

TRANSPORT OF MALACHITE GREEN USING POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM) METHOD WITH CARRIER Co-EEGDMA 4%

Oleh

ABDURACHMAN

Malachite Green (MG), a synthetic organic compound of triphenylmethane, has been widely used in the chemical industry. Despite its wide application, MG consists of toxic properties that persist for a long time in water and are difficult to be degraded by microorganisms. Therefore, to reduce the hazards of MG to humans and the environment, the removal of MG from wastewater has always been the focus of research in the environmental field. One of the methods commonly used is absorption with a membrane separation method. This study aims to transport Malachite Green using the Polymer Inclusion Membrane (PIM) method with a carrier compound of Copoly Eugenol Ethylene Glycol Dimethacrylate (Co-EEGDMA 4%). The parameters used were pH optimization in the source phase, HNO₃ concentration in the receiving phase, membrane thickness, carrier compound concentration, and transport time optimization. In addition, a transport competition test was also carried out between Malachite Green and heavy metals Cu(II) and Pb(II) in artificial waste. The results of the study showed that the optimum condition of the pH of the MG source phase was 7, the optimum concentration of the HNO₃ recipient phase was 1.25 M with a membrane thickness of T54 (normal thickness), and the optimum transport time was 24 hours. In addition, it was also found that the presence of Cu(II) and Pb(II) metals interfered with the transport process as indicated by a decrease in the % removal value of MG, which was 87.80% compared to the transport of MG without metal, which was 91.75%. FTIR characterization of the PIM membrane after transport showed a shift in the absorption band and a decrease in intensity.

Keywords : Co-EEGDMA, PIM, Malachite Green

**TRANSPOR *MALACHITE GREEN* MENGGUNAKAN METODE
POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM) DENGAN *CARRIER*
Co-EEGDMA 4%**

Oleh

Abdurachman

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
2025**

Judul

: **TRANSPOR MALACHITE GREEN
MENGUNAKAN METODE POLYMER
INCLUSION MEMBRANE (PIM) DENGAN
CARRIER Co-EEGDMA 4%**

Nama

: **Abdurachman**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2117011108**

Jurusan

: **Kimia**

Fakultas

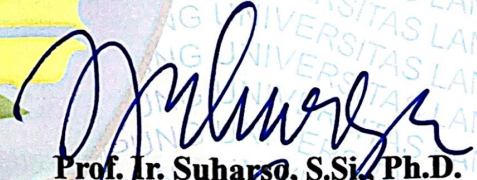
: **Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

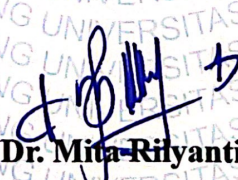

Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.

NIP.197007052005011003


Prof. Ir. Suharto, S.Si., Ph.D.

NIP.196905301995121001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung


Prof. Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.

NIP.197205302000032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

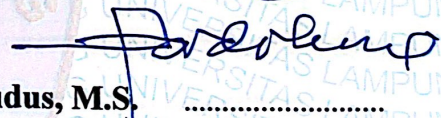
Ketua : Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.



Sekretaris : Prof. Ir. Suharso, S.Si., Ph.D.



Anggota : Prof. Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S.



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Ing. Heri Satria, M.Si.

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 28 Juli 2025

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Abdurachman
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117011108
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul **Transpor Malachite Green menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane (PIM) dengan Carrier Co-EEGDMA 4%** 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 dilakukan publikasi.

Bandar Lampung, 28 Juli 2025

Yang Menyatakan



Abdurachman

NPM. 2017011108

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Abdurachman dan lahir di Tanjung Karang, 02 Juni 2002 sebagai anak pertama dari dua bersaudara, putra dari Bapak Robiansyah dan Ibu Hartati. Penulis menyelesaikan pendidikan mulai dari SD Negeri 2 Perumnas Way Halim lulus pada tahun 2014, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Bandar Lampung lulus pada tahun 2014–2017 dan SMK SMTI Bandar Lampung pada tahun 2017–2020. Pada tahun 2021, penulis melanjutkan pendidikan sebagai mahasiswa Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas dan menyelesaikan studinya pada tahun 2025.

Selama menempuh pendidikan di Jurusan Kimia, penulis pernah mengikuti organisasi di lingkup kampus sebagai salah satu tempat untuk penulis mengembangkan potensi diri. Organisasi yang pernah penulis ikuti adalah Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) sebagai Kader Muda Himaki (KAMI) pada tahun 2021, Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) sebagai anggota bidang Kaderisasi dan Pengembangan Organisasi (KPO) pada tahun 2022, dan menjadi Ketua Umum Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) FMIPA Unila pada tahun 2023. Di tahun yang sama Penulis mendapat pendanaan untuk Program Mahasiswa Wirausaha (PMW) Universitas Lampung pada 2023.

Pada tahun 2024 penulis juga pernah menjabat sebagai Wakil Ketua Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA Unila dan menjadi Dewan Pembina Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) FMIPA Unila. Akhirnya pada tahun 2025 penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan judul “Transpor Malachite Green

Menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) Dengan *Carrier Co-EEGDMA 4%*".

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

“Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang”

*Atas rahmat Allah SWT dengan mengucapkan
Alhamdulillahirabbil' alamin dan dengan segala kerendahan hati, Ku
persembahkan karya terbaikku ini kepada*

*Kedua orang tuaku, Bapak Robiansyah dan Ibu Hartati yang telah menyayangi, merawat,
mendidik, mengajarkan kebaikan, dan selalu mendoakan keberhasilanku dalam setiap sujud,
sehingga putramu dapat menyelesaikan studi ini, serta mengucapkan terimakasih atas segala
sesuatu yang sudah diberikan.*

*Melalui karya sederhana ini, aku sebagai putramu mengucapkan terima kasih atas segalanya.
Seluruh Keluarga yang telah memberikan semangat dan do'a yang terbaik,*

*Dengan segala rasa hormat kepada Bapak Dr. Agung Abadi Kiswando, M.Sc., Bapak
Prof. Suharso, Ph.D, dan Bapak Prof. Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S., serta seluruh Dosen
Pengajar yang telah membimbing dan mendidikku sampai menyelesaikan pendidikan Sarjana.
Seluruh kerabat yang telah memberikan banyak bantuan, dukungan, semangat, saran, dan
motivasi..*

*Taklupa untuk Sahabat, seluruh teman-temanku dan semua orang baik yang sudah ku temui
yang telah memberikan semangat, kebahagiaan dan pelajaran hidup.*

Almamater Tercinta Universitas Lampung

MOTTO

“ Tidak ada cara untuk keluar dari suatu tanggung jawab, tetapi ada banyak cara untuk menyelesaikan tanggung jawab tersebut. Selalu pastikan semua yang kita “mulai” harus berakhir dengan kata “selesai”.”
(Penulis)

“Satukan Seluruh Asa, Bersama Kita Bisa”
“Himaki, 2023”

“ Jadilah Anda seperti bintang, walau kecil dan jauh, tapi sangat berguna bagi manusia di tengah kegelapan malam “.
“Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc”

"Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan"
(QS. Al-Insyirah: 5-6)

“ Sholat Dhuha jadikan aktivitas rutin di awal aktivitas harianmu , semoga allah berikan rahmat dan ridho-Nya kepada kamu “
“Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc”

“ Hiduplah seolah engkau mati besok. Belajarlah seolah engkau hidup selamanya”
“ Mahatma Gandhi”

SANWACANA

Alhamdulillahirrobbil'alamiin. Puji dan syukur kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala rahmat, ridha, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam teruntuk Nabi Muhammad SAW, semoga kita termasuk umatnya yang mendapat syafa'at beliau di yaumil akhir kelak, *aamiin yarabbal'amin.*

Skripsi yang berjudul “ **Transpor Malachite Green menggunakan Metode Polimer Inclusion Membrane (PIM) dengan Carrier Co-EEGDMA 4%**”, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Selama proses penyusunan skripsi ini tidak lepas dari kesulitan dan rintangan, 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. Kedua orang tua yang saya cintai, Ayah Robiansyah dan Bunda Hartati 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.
2. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan segala ilmu, motivasi, arahan, serta bimbingan terbaiknya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi. Semoga Allah SWT catat sebagai amal jariyah disisi-Nya dan dilimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya dalam kehidupan bapak.

3. Bapak Prof. Suharso, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I atas kebaikan, bimbingan, arahan, masukan, dan seluruh ilmu pengetahuan yang diberikan selama proses perkuliahan sampai dengan penyelesaian skripsi.
4. Bapak Prof. Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S. selaku Dosen Penguji/Pembahas atas masukan dan saran yang diberikan dalam proses penyelesaian skripsi.
5. Ibu Hapin Afriyani, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Akademik atas segala bimbingan, nasihat, serta motivasi yang telah diberikan kepada penulis.
6. Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.
7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.
8. Bapak serta 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. Teruntuk Abah Budi terima kasih banyak atas segala bentuk support dan bantuan yang telah diberikan, untuk doa ikhlas dan juga nasihat yang selalu diberikan, pun juga dengan kasih sayang yang selama ini diberikan, semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan keberkahan.
11. Rekan kerja dan juga sahabatku selama penelitian Fildza, Trie dan Marsa terima kasih untuk selalu kebersamaan serta bantuan yang selama ini diberikan, semoga Allah SWT memberikan balasan kebaikan pula..
12. Kakak-kakak Membrane Research, Mba Ica, Mba Kharisma, Mba Rusyda, Kak Annur, dan yang lainnya, terima kasih untuk semua bantuan, dukungan, kesabaran, keikhlasan, dan pengalamannya.

13. Sahabat seperjuangan penulis selama menjalani proses pendidikan, Hafiz, Andra, Radit, Abi, dan Govin dan yang lainnya yang selalu kebersamaan dan saling memberikan dukungan, serta semangat.
14. Teman-teman Kimia Angkatan 2021 serta Kimia Kelas A 2021 yang senantiasa memberikan informasi dan membantu penulis.
15. Keluarga besar Himaki periode 2023, teman-teman pimpinan Amel, Alya, Hafiz, Fildza, Govin, Ulma, Andra, Vira, Rima, Naurah, Trie, Talfa, Radit dan Fera, serta seluruh anggota Himaki periode 2023.
16. Keluarga besar BEM FMIPA Unila Periode 2024, Presidium, Pimpinan, Asisten dan Staff.
17. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Yesha Argeta., Telah berkontribusi banyak dalam penyelesaian skripsi ini, memberikan dukungan baik tenaga, waktu maupun materil. Terima kasih telah menjadi bagian hidup penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
18. Almamater tercinta, Universitas Lampung.

Atas segala kebaikan yang telah diberikan, semoga Allah SWT membalasnya dengan pahala yang berlipat-lipat ganda. Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi rekan-rekan khususnya mahasiswa/i kimia serta pembaca demi perbaikan penelitian selanjutnya dan perkembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Bandar Lampung, 28 Juli 2025

Penulis

Abdurachman

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	4
1.3 Manfaat	5
I. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Malachite Green</i>	6
2.3 Co-EEGDMA sebagai <i>Carrier</i>	7
2.4 Teknologi Membran Cair	8
2.5 Polimer Inclusion Membran (PIM).....	9
2.6 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	10
2.7 Spektrofotometri UV-VIS	13
2.8 <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	16
III. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat.....	20
3.2 Alat dan Bahan	21
3.4 Pembuatan Larutan Induk <i>Malachite Green</i>	21
3.5 Pembuatan Limbah Buatan	21

3.6 Pengukuran Konsentrasi <i>Malachite Green</i>	22
3.7 Pembuatan Membran PIM (<i>Polymer Inclusion Membrane</i>).....	22
3.8.1 Uji Porositas Membran	23
3.8.2 Uji Serapan Air Membran.....	23
3.9 Optimasi Transpor <i>Malachite Green</i>	24
3.9.1 Variasi pH <i>Malachite Green</i> pada Fasa Sumber	24
3.9.2 Variasi Konsentrasi HNO ₃ pada Fasa Penerima	24
3.9.3 Variasi Ketebalan Membran.....	25
3.9.4 Variasi Konsentrasi <i>Carrier</i>	25
3.9.5 Variasi Waktu Transpor	26
3.9.6 Studi Kompetisi Transpor <i>Malachite Green</i>	26
3.9.7 Analisis Parameter Transpor	26
3.10 Skema Penelitian.....	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Pembuatan Membran PIM	30
4.2 Penentuan Panjang Gelombang <i>Malachite Green</i>	34
4.3 Uji Membran PIM.....	35
4.3.1. Uji Porositas Membran	35
4.3.2. Uji Serapan Air	37
4.4 Transpor Variasi pH <i>Malachite Green</i> pada Fasa Sumber.....	38
4.5 Transpor Variasi Konsentrasi HNO ₃ pada Fasa Penerima	40
4.6 Transpor Variasi Ketebalan Membran	42
4.7 Transpor Variasi Konsentrasi <i>Carrier</i>	44
4.8 Transpor Variasi Waktu	46
4.9 Variasi Kompetisi Transpor <i>Malachite Green</i> pada Limbah Buatan	48
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran	54

DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	60

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Bilangan Gelombang FTIR untuk berbagai jenis ikatan (Dachriyanus,2004). 18	
2. Perbandingan Komponen Pembentuk Membran (10:32:58 %). 22	
3. Variasi Konsentrasi <i>Carrier</i> 25	
4. Berat membran PIM sebelum dan setelah, serta ketebalan membran..... 31	
5. Perbandingan bilangan gelombang dan hasil FT-IR membran PIM 33	
6. Hasil transpor MG variasi pH fasa sumber 39	
7. Hasil transpor MG variasi konsentrasi fasa penerima..... 41	
8. Hasil transpor MG variasi ketebalan membran..... 43	
9. Hasil transpor MG variasi konsentrasi carrier 45	
10. Hasil transpor MG variasi waktu 47	
11. Perbandingan bilangan gelombang membran setelah transpor limbah buatan 51	
12. Absorbansi larutan standar MG pada variasi pH fasa sumber 70	
13. Absorbansi dan konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi pH fasa sumber..... 71	

14. Data $\bar{x}$, SD, dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi pH fasa sumber	72
15. Absorbansi larutan standar MG pada variasi konsentrasi fasa penerima	73
16. Absorbansi dan konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi fasa penerima	74
17. Data $\bar{x}$, SD, dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi fasa penerima	75
18. Absorbansi larutan standar MG pada variasi ketebalan membran	76
19. Absorbansi dan konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi ketebalan membran	77
20. Data $\bar{x}$, SD, dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi ketebalan membran	78
21. Absorbansi larutan standar MG pada variasi konsentrasi carrier	79
22. Absorbansi dan konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi carrier	80
23. Data $\bar{x}$, SD, dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi carrier	81
24. Absorbansi larutan standar MG pada variasi waktu transpor	82
25. Absorbansi dan konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi waktu	83
26. Data $\bar{x}$, SD, dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi waktu transpor	84
27. Absorbansi larutan standar MG pada limbah buatan	85
28. Absorbansi dan konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada studi kompetisi MG pada limbah buatan	86

29. Data $\bar{x}$, SD, dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada studi kompetisi MG pada limbah buatan.....	87
30. Data Transpor Waktu.....	88
31. Massa membran sebelum transpor MG pada variasi pH fasa sumber	94
32. Massa membran setelah transpor MG pada Variasi pH fasa sumber	94
33. %LM Loss transpor MG pada variasi pH fasa sumber	95
34. Massa membran sebelum transpor MG pada variasi konsentrasi HNO ₃ pada fasa penerima	95
35. Massa membran setelah transpor MG pada variasi konsentrasi HNO ₃ pada fasa penerima	95
36. %LM Loss tranpor MG pada variasi konsentrasi HNO ₃ pada fasa penerima	96
37. Massa membran sebelum transpor MG pada variasi ketebalan membran.....	96
38. Massa membran setelah transpor MG pada variasi ketebalan membran	96
39. %LM Loss transpor MG pada variasi ketebalan membran.....	97
40. Massa membran sebelum transpor MG pada variasi konsentrasi senyawa pembawa	97
41. Massa membran sebelum transpor MG pada variasi konsentrasi senyawa pembawa	97
42. %LM Loss transpor MG pada variasi senyawa pembawa	98
43. Massa membran sebelum transpor MG pada variasi waktu transpor	98
44. Massa membran sebelum transpor MG pada variasi waktu transpor	98
45. % LM Loss transpor MG pada variasi waktu transpor	99

46. Massa membran sebelum transpor MG pada variasi kompetisi limbah buatan	99
47. Massa membran setelah transpor MG pada variasi kompetisi limbah buatan	99
48. % LM Loss transpor MG pada variasi kompetisi limbah buatan.....	100
49. Ketebalan membran PIM pada variasi pH fasa sumber	101
50. Ketebalan membran PIM pada variasi konsentrasi HNO_3 pada fasa penerima	101
51. Ketebalan membran PIM pada variasi ketebalan membran.....	102
52. Ketebalan membran PIM pada variasi konsentrasi senyawa pembawa.....	102
53. Ketebalan membran PIM pada variasi waktu transpor	102
54. Ketebalan membran PIM pada variasi kompetisi pada limbah buatan	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. (a) serbuk <i>malachite green</i> dan (b) struktur kimia <i>malachite green</i>	7
2. Struktur <i>Copoly Eugenol Ethylene Glycol Dimethacrylate</i>	8
3. Skema Scanning Electron Microscope.....	11
4. Morfologi Hasil SEM dari Serbuk Co-EEGDMA 6% (a) 700x dan (b) 1500x	12
5. Perbedaan membran PIM pada perbesaran 500x (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor.	12
6. Diagram alat spektrometer UV-Vis (<i>single beam</i>).	14
7. Skema spektrofotometer UV-Vis (<i>Double-beam</i>).	15
8. Grafik panjang gelombang maksimum <i>malachite green</i>	16
9. Panjang gelombang maksimum <i>malachite green</i> (Khotimah, 2020).....	16
10. Skema Sederhana <i>Fourier Transform Infrared</i> (FT-IR).....	17
11. Spektra FTIR pada membran PIM yang mengandung polieugenol (Kiswandono <i>et al.</i> , 2024).....	19
12. Skema Penelitian.....	29
13. (a) membran PIM T ₂₇ (tipis), (b) membran PIM T ₅₄ (normal), (c) membran T ₁₀₈ (tebal) dengan Co-EEGDMA 4%	30

14. Perbandingan spektra FTIR (a) membran PIM sebelum transpor dan (b) membran PIM setelah transpor optimum (waktu transpor: 24 jam)	32
15. Morfologi permukaan membran PIM sebelum transpor perbesaran (a) 500x, (b) 2500x dan membran PIM Setelah transpor 24 jam, perbesaran (c) 500x, dan (d) 2500x.	34
16. Panjang gelombang maksimum MG	35
17. Persentase porositas membran PIM	36
18. Persentase serapan air membran PIM	37
19. Pengaruh pH MG pada fasa sumber terhadap konsentrasi MG yang tertranspor	39
20. Pengaruh konsentrasi fasa penerima terhadap konsentrasi MG yang tertranspor	41
21. Pengaruh ketebalan membran terhadap konsentrasi MG yang tertranspor....	43
22. Pengaruh konsentrasi <i>carrier</i> terhadap konsentrasi MG yang tertranspor.....	45
23. Pengaruh waktu transpor terhadap konsentrasi MG yang tertranspor	47
24. Konsentrasi MG pada limbah buatan dengan Cu(II) dan Pb(II) sebagai kompetitor	49
25. Perbandingan spektra IR membran setelah transpor (a) MG (kontrol) (b) MG + Pb(II) (c) MG + Cu(II) dan (d) MG + Pb(II) + Cu(II).....	50
26. Morfologi permukaan membran setelah transpor pada limbah buatan dengan perbesaran (a) 500x dan (b) 2500x	52
27. Spektrum EDS dari membran setelah transpor malachite green pada limbah buatan.....	53
28. Kurva kalibrasi MG pada variasi pH fasa sumber	70

29. Kurva kalibrasi MG pada variasi konsentrasi fasa penerima.....	73
30. Kurva kalibrasi MG pada variasi ketebalan membran.....	76
31. Kurva kalibrasi MG pada variasi konsentrasi carrier.....	79
32. Kurva kalibrasi MG pada variasi waktu.....	82
33. Kurva kalibrasi MG pada studi kompetisi MG pada limbah buatan.....	85
34. Membran PIM sebelum transpor.....	104
35. Transpor malachite green variasi ketebalan membran sebelum transpor.....	104
36. Transpor malachite green variasi ketebalan membran setelah transpor.....	105
37. Transpor malachite green variasi logam buatan sebelum transpor	105
38. Transpor malachite green variasi logam buatan setelah transpor.....	106
39. Membran PIM setelah transpor.....	106

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aktivitas industri yang semakin berkembang pesat menyebabkan efek samping berupa pencemaran lingkungan. Hal ini disebabkan karena limbah hasil aktivitas industri yang dibuang ke lingkungan memiliki kadar polutan diatas ambang batas yang diizinkan. Salah satu penyebab terjadinya pencemaran lingkungan adalah kandungan zat warna di dalam air limbah yang dibuang ke lingkungan, diantaranya zat warna *Malachite Green* (MG). MG adalah salah satu jenis zat warna yang banyak digunakan dalam industri tekstil. Kadar MG yang diizinkan di perairan adalah 0,01 ppm (Srivastava *et al.*, 2004).

Pembuangan limbah berwarna ke sungai tidak hanya mempengaruhi sifat estetika mereka tetapi juga mengganggu transmisi sinar matahari ke dalam aliran air sehingga mengurangi proses fotosintesis. Selain itu, limbah berwarna dapat mengandung bahan kimia yang menunjukkan efek toksik terhadap populasi mikroba dan dapat menjadi racun bagi mamalia. Secara umum, pewarna tidak dapat terurai secara hayati. Proses pengolahan biologis konvensional tidak terlalu efektif dalam menghilangkan zat warna (Sartape *et al.*, 2017). Air dengan kadar *Malachite Green* yang tinggi jika dikonsumsi dalam jumlah yang besar dapat berdampak pada masalah kesehatan seperti gangguan sistem kekebalan tubuh, sistem reproduksi, memicu penyakit kanker, dan kerusakan DNA (Fangidae *et al.*, 2020).

Malachite Green (MG), senyawa organik sintesis *triphenylmethane*, telah banyak digunakan dalam industri kimia, pengolahan makanan, dan farmasi. Terlepas dari aplikasinya yang luas, MG terdiri dari sifat toksik yang bertahan lama di dalam air dan sulit untuk di degradasi oleh mikroorganisme. Oleh karena itu, untuk mengurangi bahaya MG bagi manusia dan lingkungan, penghilangan MG dari air limbah selalu menjadi fokus penelitian di bidang lingkungan. Berbagai metode untuk menghilangkan perunggu hijau dari air limbah telah dilaporkan dalam literatur, dan absorpsi dianggap salah satu metode yang paling efektif untuk menghilangkan MG dari larutan air (Qu *et al.*, 2019). Salah satu metode yang biasa digunakan adalah absorpsi dengan metode pemisahan membran.

Berdasarkan struktur dan prinsip pemisahan, membran dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu membran berpori (*porous membrane*), membran tidak berpori (*non porous membrane*) dan membran cair (*liquid/carrier membrane*). Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk pemisahan ion logam, salah satunya menggunakan membran cair. Teknik membran cair telah menarik perhatian banyak peneliti karena selektivitasnya yang tinggi dengan adanya *carrier* yang terdapat dalam membran (Djunaidi *et al.*, 2017).

Teknik pemisahan membran cair adalah yang paling banyak digunakan untuk pemisahan zat warna *Malachite Green* (MG) di wilayah perairan. Penggunaan membran jenis ini banyak diaplikasikan untuk gas, pervaporasi, dan dialisis. Pada membran cair prinsip pemisahan tidak ditentukan oleh membran itu sendiri, tetapi oleh sifat molekul pembawa spesifik. *Carrier* berada tetap di dalam membran dan dapat bergerak jika dilarutkan dalam cairan. *Carrier* juga harus menunjukkan afinitas yang sangat spesifik terhadap satu komponen pada fase umpan sehingga diperoleh selektivitas yang tinggi. Selain itu *permselectivity* komponen sangat tergantung pada spesifikasi bahan pembawa tersebut. Komponen yang dapat dipisahkan dapat berupa gas atau cair (Kiswandono, 2016)

Telah banyak penelitian dilakukan untuk mengetahui penggunaan membran cair pada berbagai proses pemisahan dan pemurnian seperti pemisahan isomer, gas,

ion logam dan sebagainya. Akan tetapi, kekurang stabilannya menjauhkan membran cair dari aplikasi/komersialisasi pada proses pemisahan dan pemurnian industri. Ketidakstabilan dikarenakan oleh hilangnya pelarut dan *carrier* ke dalam larutan melalui pembentukan tetesan emulsi atau adanya perbedaan tekanan yang terdapat dalam membran (Kusumocahyo *et al.*, 2006)

Membran yang digunakan harus bersifat reaktif, selektif, permeabilitas tinggi, tidak menyerap protein, tidak merusak sel darah merah (koagulasi), dan ukuran porinya harus sesuai dengan ukuran permeat limbah (Lusiana *et al.*, 2013). Membran dialisis terdiri dari polimer pendukung dan sisi aktif *carrier* yang membentuk lapisan tipis, stabil, dan fleksibel (Wang *et al.*, 2016). *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) memiliki kelebihan diantaranya sangat selektif, kuat, dapat memisahkan senyawa secara efisien dan mudah, serta memiliki permukaan interfisial yang lebih luas (Kiswandono *et al.*, 2022).

Salah satu komponen PIM adalah *carrier* berbahan dasar alam polieugenol yang diperoleh melalui polimerisasi eugenol (Harimu *et al.*, 2009). Salah satu metode pemisahan yang berkembang akhir-akhir ini adalah *Polymer Inclusion Membrane* (PIM). PIM terdiri dari polimer, *plasticizer* atau *modifier* dan ekstrak. Proses transpor dengan PIM melibatkan pertukaran spesies ion antara dua kompartemen sel difusi melalui fase membran yang memisahkannya (Pratiwi *et al.*, 2015).

Polieugenol sebagai polimer sintesis masih belum efektif digunakan sebagai *carrier* karena rendahnya kemampuan interaksi dengan senyawa target. Salah satu cara untuk meningkatkan kemampuan interaksinya adalah dengan meningkatkan berat molekulnya melalui polimerisasi menggunakan senyawa-senyawa vinil sebagai *crosslinking agent*. Etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) sebagai agen taut silang (*crosslinking agent*) dapat digunakan bersama dengan eugenol membentuk Copoly Eugenol-EGDMA. Proses polimerisasi ini menyebabkan polimer yang dihasilkan memiliki berat molekul yang besar, sehingga akan mempengaruhi kemampuan transpor membran dalam berinteraksi dengan senyawa target (Handayani *et al.*, 2004).

Mekanisme transpor membran PIM bergantung pada komposisi membran dan homogenitas permukaannya, sehingga membran PIM memiliki umur pemakaian yang relatif lama. Membran PIM mengandung *carrier* sebagai fasilitator senyawa target dapat tertranspor ke fasa penerima. *Carrier* seperti kopoli eugenol etilen glikol dimetakrilat atau Co-EEGDMA memiliki sisi aktif hidroksi (-OH) yang berperan penting pada membran karena dapat menyebabkan interaksi dengan *Malachite Green* (Nijenhuis *et al.*, 1993)

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka pada penelitian ini telah dilakukan transpor *malachite green* menggunakan *Copoly Eugenol Ethylene Glycol Dimethacrylate* sebagai *carrier* menggunakan metode *polimer inclusion membrane*. Karakterisasi yang dilakukan pada membran PIM adalah spektrofotometer FTIR untuk mengetahui adanya sisi aktif pada membran, dan *scanning electrone microscope* (SEM) untuk melihat bentuk pori-pori membran sebelum dan sesudah transpor dilakukan. Spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk mengukur absorbansi dan konsentrasi larutan MG pada panjang gelombang maksimum dan spektrofotometri serapan atom untuk menentukan konsentrasi logam Cu(II) dan Pb(II) yang ada pada fasa penerima. Dilakukan uji porositas dan serapan air pada membran, dimana uji porositas digunakan untuk mengetahui volume ruang kosong didalam membran. Sedangkan, uji serapan air digunakan untuk mengetahui kemampuan membran dalam menyerap air. Adapun parameter transpor yang dilakukan adalah pembuatan membran PIM, pengukuran konsentrasi *malachite green* pada sampel, variasi pH *malachite green* pada fasa sumber, variasi konsentrasi HNO₃ pada fasa penerima, variasi ketebalan membran, variasi konsentrasi *carrier*, variasi waktu transpor, dan studi kompetisi transpor *malachite green* pada limbah buatan.

1.2 Tujuan

Adapun Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan transpor *Malachite Green* menggunakan metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) dengan *carrier* Co-EEGDMA 4%

2. Melakukan uji kompetisi transpor antara *Malachite Green* dengan logam berat pada limbah buatan Cu (II) dan Pb (II)
3. Melakukan karakterisasi membran PIM sebelum dan setelah transpor menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR).

1.3 Manfaat

Adapun Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

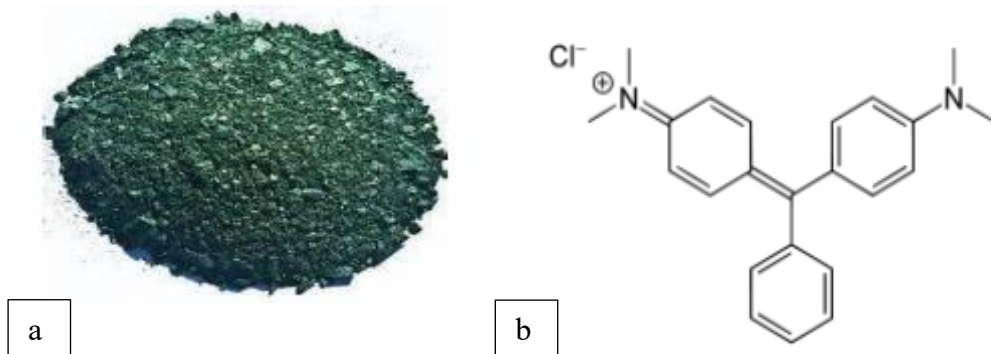
1. Memberikan informasi baru tentang pemanfaatan polimer Co-EEGDMA 4% sebagai *carrier* dalam transpor *Malachite Green*.
2. Memberikan kontribusi untuk mengurangi limbah zat warna *Malachite Green* khususnya di lingkungan perairan serta menambah nilai ekonomis dari eugenol.
3. Memberikan wawasan baru dalam pemanfaatan polimer dalam bidang analisis kimia.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Malachite Green*

Polusi air karena zat warna merupakan masalah yang meresahkan masyarakat akhir-akhir ini. Zat warna mudah diidentifikasi keberadaannya karena warnanya yang mencolok. Banyak industri yang menggunakan zat warna, misalnya industri kertas, plastik, dan lain-lain, dan yang paling intensif dalam penggunaan zat warna adalah industri tekstil. Zat warna yang sering digunakan adalah zat warna sintetis. Zat warna tekstil umumnya tergolong senyawa aromatik yang beracun dan menimbulkan masalah bagi lingkungan karena sifatnya yang *non-biodegradable*. Selain itu, kelarutannya yang tinggi serta struktur molekul (Suwandi *et al.*, 2011).

Malachite Green adalah pewarna dasar untuk celup, yang berasal dari garam dan warna dasar organik yang mengandung amino serta dikombinasikan dengan asam, yaitu asam klorida (HCl). *Malachite Green* merupakan bahan dasar celup yang dimanfaatkan pada kain seperti sutra, wol dan nilon. *Malachite Green* memiliki ciri khas dengan warna lebih cerah dibandingkan bahan celup sintetis lainnya. Meskipun pemakaian zat warna ini telah dilarang oleh beberapa negara, namun masih ada beberapa orang di belahan dunia yang menggunakannya. Hal ini dipicu karena harganya yang murah dan mudah didapatkan (Khairil dan Etika, 2022).



Gambar 1. (a) serbuk *malachite green* dan (b) struktur kimia *malachite green*

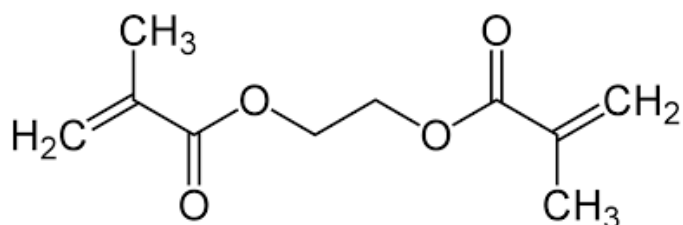
Pewarna kimia ini terutama digunakan untuk pewarna sutra, kulit dan kertas. *Malachite green* mempunyai kegunaan yang luas dalam bidang medis sebagai antiseptik lokal. Ini efektif untuk membunuh parasit dan bakteri gram positif. Akumulasi zat warna *Malachite green* dalam tubuh makhluk hidup dapat mempengaruhi sistem kekebalan tubuh, sistem reproduksi dan bersifat karsinogenik serta gemotoksik. Kadar *Malachite green* yang diperbolehkan diperairan adalah 0,01 ppm (Sukmawati dan Utami, 2014)

2.3 Co-EGDMA sebagai *Carrier*

Carrier mempunyai peranan yang sangat penting dalam membran tiruan ataupun membran biologi yang selektif untuk kation, anion, molekul organik, ataupun molekul anorganik (Cleij *et al.*, 1997). *Carrier* yang efisien dan menunjukkan selektivitas yang tinggi dalam mengekstraksi ion-ion logam transisi dari fasa air ke fasa organik dapat memberikan transpor yang rendah atau sebaliknya ligan yang mempunyai kemampuan ekstraksi rendah tetapi kemampuan transpor tinggi (Hiratani *et al.*, 1992). Eugenol ($C_{10}H_{12}O_2$), dengan nama IUPAC 2-metoksi-4-(2-propenil) fenol dikelompokkan dalam alilbenzena dari senyawa fenol. Eugenol mengandung gugus fungsional allil, alkoksi, dan hidroksi. Gugus allil (propenil) pada eugenol merupakan komponen utama minyak cengkih, untuk dilakukannya polimerisasi menjadi turunan β -stirena (Kiswandono *et al.*, 2014)

Sedangkan kopolimer EGDMA merupakan hasil polimerisasi antara eugenol dan *crosslinker* EGDMA. Ikatan rangkap senyawa diena memiliki sifat reaktif, sehingga proses sintetik dapat dengan mudah dilakukan hanya pada suhu kamar

dengan menggunakan katalis asam ringan. Tingkat pengikatan silang tergantung pada jumlah diena relatif terhadap monomer lain dan jenis diena yang digunakan (Kiswandono *et al.*, 2014). Gambar 2 menunjukkan struktur dari *Ethylene Glycol Dimethacrylate* (CO-EEGDMA).



Gambar 2. Struktur *Copoly Eugenol Ethylene Glycol Dimethacrylate* (CO-EEGDMA).

2.4 Teknologi Membran Cair

Membran adalah lapisan semipermeabel yang tipis dan dapat digunakan untuk memisahkan dua komponen dengan cara menahan dan melewatkan komponen tertentu melalui pori-pori. Membran merupakan suatu fasa yang berlaku sebagai rintangan yang selektif terhadap aliran molekul atau ion yang terdapat dalam cairan atau uap yang berhubungan dengan kedua sisinya (Kiswandono, 2016). Kelebihan menggunakan metode membran sebagai salah satu metode pemisahan adalah tidak berubahnya struktur molekul senyawa yang dipisahkan, sehingga menyebabkan prosesnya lebih sederhana (S. Agustina, 2006).

Teknologi membran cair merupakan salah satu metode pemisahan yang paling efisien, karena tidak memerlukan tekanan atau tegangan. Metode ini memperlihatkan selektivitas dan faktor pengkayaan yang tinggi, namun karena masalah stabilitas antarmuka cair-cair, adanya tendensi yang meningkat dan modifikasi komponen membran cair agar diperoleh stabilitas yang lebih baik dalam aplikasinya (Wenten *et al.*, 2010). Sifat efisiensi dan selektifitas membran cair dalam proses transpornya dapat ditingkatkan dengan adanya penambahan suatu agen pengompleks (*carrier*) dalam komponen pembentukan membran cair (Kislik, 2010).

2.5 Polimer Inclusion Membran (PIM)

Polymer Inclusion Membrane (PIM) adalah jenis membran cair generasi terbaru yang dirancang khusus untuk memisahkan berbagai macam komponen kimia, baik organik maupun anorganik. Bayangkan seperti saringan yang sangat canggih, namun bukan hanya menyaring partikel padat, melainkan juga memisahkan molekul-molekul yang berbeda berdasarkan sifat kimianya. PIM terdiri dari dua komponen utama yaitu polimer pendukung dan fasa cair yang meliputi ekstrak dan *plasticizer*. Berbeda dengan jenis membran cair lainnya, PIM melibatkan pemerangkapan ekstrak dan *plasticizer* tidak hanya pada pori-pori membran tetapi pada rantai polimer pendukung penyusun membran.

Teknik ini menghasilkan membran yang jauh lebih stabil karena ekstrakannya lebih kuat tertahan pada membran dan tidak mudah terlepas ke larutan selama proses pemisahan menggunakan PIM. Keuntungan penggunaan PIM terletak pada selektivitasnya yang tinggi, kemudahan fabrikasinya dan ketahanan penggunaan dalam jangka waktu pemakaian yang lama, serta kemudahan regenerasi dan penggunaan kembali dalam beberapa siklus pemisahan berulang. Seperti proses pemisahan menggunakan membran cair lainnya, pemisahan menggunakan PIM dapat dilakukan secara individu melibatkan ekstraksi dan ekstraksi kembali pada larutan yang berbeda atau secara simultan pada dua sisi membran yang berbeda. Proses yang kedua dikenal dengan nama *facilitated transport* atau transport analit dari fasa umpan ke fasa penerima yang difasilitasi oleh ekstrak dan terdapat dalam PIM (Rensini *et al.*, 2024).

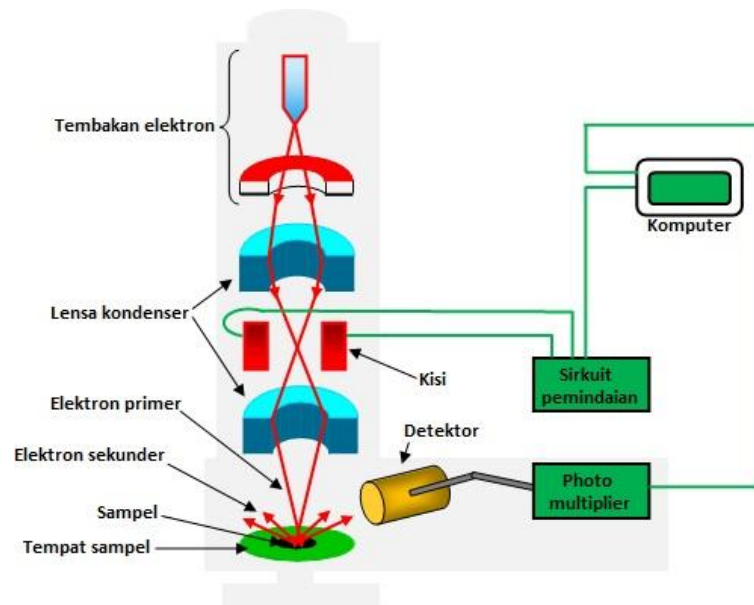
Membran PIM menunjukkan kemampuan serbaguna dengan kestabilan yang sangat baik jika dibandingkan dengan teknologi membran cair lainnya. Kelebihan lainnya adalah membran PIM memiliki permukaan interfisial yang lebih luas, sangat selektif, kuat, mampu memisahkan senyawa secara efisien, dan proses pemisahan yang mudah (Suah dan Ahmad, 2017). *Carrier* yang terdapat dalam membran PIM mempengaruhi masa hidup membran (*lifetime membrane*) dalam memindahkan senyawa target ke fasa penerima. Dibandingkan dengan membran SLM (*Supported Liquid Membrane*), membran PIM memiliki masa hidup yang

lebih lama. Hal ini dikarenakan mekanisme transpor membran PIM bergantung dari komposisi membran dan homogenitas permukaan membran (Kiswandono *et al.*, 2022).

2.6 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan alat mikroskop elektron yang dimanfaatkan untuk mengamati bentuk dan struktur permukaan sampel pada tingkat mikro hingga nano. Teknik ini bekerja dengan menggunakan elektron sebagai sumber pencitraan, sementara lensa elektromagnetik berperan sebagai pengarah berkas elektron. Ketika berkas elektron mengenai sampel, akan terjadi interaksi dengan atom-atom di dalamnya yang menghasilkan sinyal. Sinyal tersebut membawa informasi tentang topografi permukaan, komposisi material, serta berbagai sifat lain dari sampel, apalagi jika ditunjang dengan perangkat tambahan (Sajidah, 2017). *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan teknik karakterisasi material yang banyak digunakan untuk melihat morfologi permukaan partikel sampai pada ukuran 1 nm (Putama Mursal, 2018). 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 menggambar 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.

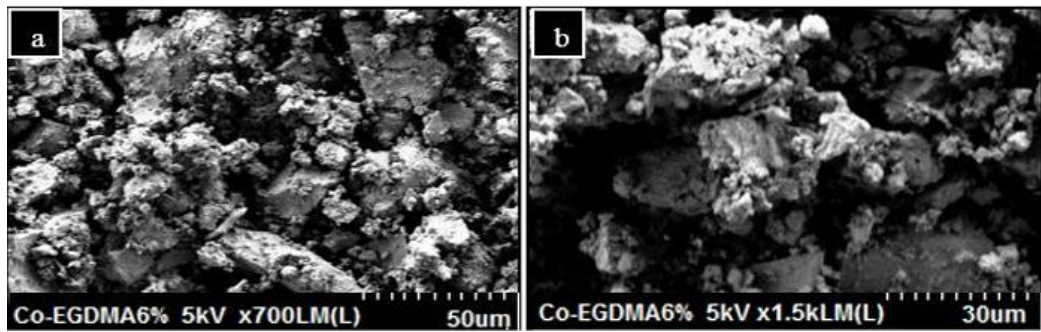
Oleh karena itu permukaan benda haruslah bersifat konduktif sehingga untuk karakterisasi material non konduktif terlebih dahulu harus dilapisi oleh material konduktif. Material konduktif yang biasanya digunakan adalah material Au atau Au-PT (Didik, 2020). Skema dari *Scanning Electron Microscope* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema *Scanning Electron Microscope*

Cara kerja SEM adalah gelombang elektron yang dipancarkan *electro gun* terkondensasi di lensa kondensor dan terfokus sebagai titik yang jelas oleh lensa objektif. *Scanning coil* yang diberi energi menyediakan medan magnetik bagi sinar elektron. Berkas sinar elektron yang mengenai cuplikan menghasilkan elektron sekunder dan kemudian dikumpulkan oleh detektor sekunder atau detektor *backscatter*. Gambar yang dihasilkan terdiri dari ribuan titik berbagai intensitas di permukaan *Cathode Ray Tube* (CRT) sebagai topografi gambar. Pada sistem ini berkas elektron dikonsentrasikan pada spesimen, bayangannya diperbesar dengan lensa objektif dan diproyeksikan pada layar (Gunawan dan Azhari, 2019).

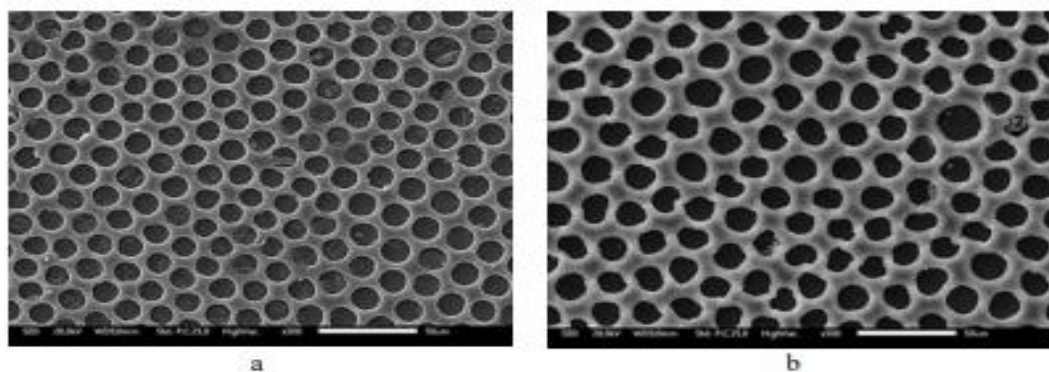
Kiswandono *et al.*, (2017) telah melakukan penelitian tentang sintesis dan uji kemampuan senyawa CO-EEGDMA sebagai senyawa pembawa pada transport fenol menggunakan metode *polimer inclusion membrane*. Dari hasil yang didapatkan memperlihatkan morfologi hasil SEM dari serbuk CO-EEGDMA yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Morfologi Hasil SEM dari Serbuk Co-EEGDMA 6% (a) 700x dan (b) 1500x

pada Gambar 4. Morfologi Co-EEGDMA 6% menunjukkan bahwa serbuk serbuk Co-EEGDMA 6% memiliki pola morfologi yang hampir sama dan seragam, yakni berbentuk bongkahan yang padat dan saling pisah satu dengan lainnya. Hasil SEM yang dilakukan oleh (Kiswandono *et al.*, 2014) terhadap senyawa turunan polieugenol lainnya, yaitu co-EDVB (Hasil polimerisasi antara eugenol dengan divinil benzene, DVB) juga menunjukkan hal yang sama yakni pola morfologi yang hampir sama dan seragam.

Kiswandono *et al.*, (2024) telah melakukan penelitian transpor *malachite green* menggunakan metode PIM dengan polieugenol sebagai senyawa pembawa. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa morfologi hasil SEM dari membran PIM terdapat perbedaan pada morfologi permukaan membran PIM sebelum dan setelah transpor yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbedaan membran PIM pada perbesaran 500x (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor.

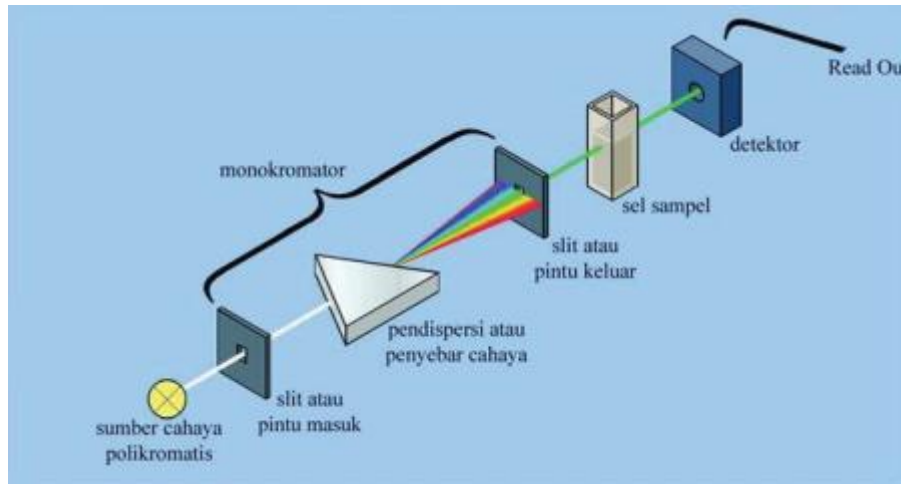
Pada membran sebelum proses transpor (Gambar 8a), permukaannya masih dilapisi oleh *plasticizer* sebagai media cair, sehingga pori-porinya tampak

homogen. Setelah proses transpor MG (Gambar 8b), permukaan membran tampak tidak rata dan pori-porinya terlihat lebih jelas. Hal ini menunjukkan bahwa selama proses transpor terjadi pelepasan komponen membran (*leaching*). Penggunaan membran dalam proses transpor memang dapat menyebabkan terjadinya kehilangan komponen penyusunnya. Kehilangan ini menyebabkan permukaan membran PIM menjadi lebih berpori dan tampak jelas. Komponen yang hilang tersebut bisa berupa senyawa pembawa, polimer utama, maupun *plasticizer*.

2.7 Spektrofotometri UV-VIS

Spektrofotometri uv-vis adalah pengukuran serapan cahaya di daerah ultraviolet (200-400 nm) dan sinar tampak (400-800 nm) oleh suatu senyawa. Serapan cahaya UV atau cahaya tampak mengakibatkan transisi elektronik, yaitu promosi elektron-elektron dari orbital keadaan dasar yang berenergi rendah ke orbital keadaan tereksitasi berenergi lebih tinggi. Panjang gelombang cahaya uv atau cahaya tampak bergantung pada mudahnya promosi elektron (Abriyani *et al.*, 2022)

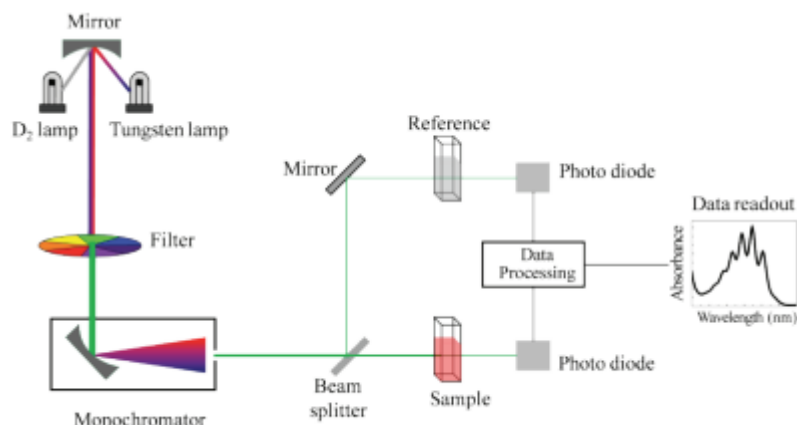
Pada umumnya terdapat dua tipe instrumen spektrofotometer, yaitu *single-beam* dan *double-beam*. *Single-beam instrument*, alat ini dapat digunakan untuk kuantitatif dengan mengukur absorbansi pada panjang gelombang tunggal. *Single-beam instrument* mempunyai beberapa keuntungan yaitu sederhana, harganya murah, dan mengurangi biaya yang ada merupakan keuntungan yang nyata. Beberapa instrumen menghasilkan *single-beam instrument* untuk pengukuran sinar ultra violet dan sinar tampak. Panjang gelombang paling rendah adalah 190 sampai 210 nm dan paling tinggi adalah 800 sampai 1000 nm. Diagram alat spektrofotometer UV-VIS (*Single Beam*) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alat spektrometer UV-Vis (*single beam*).

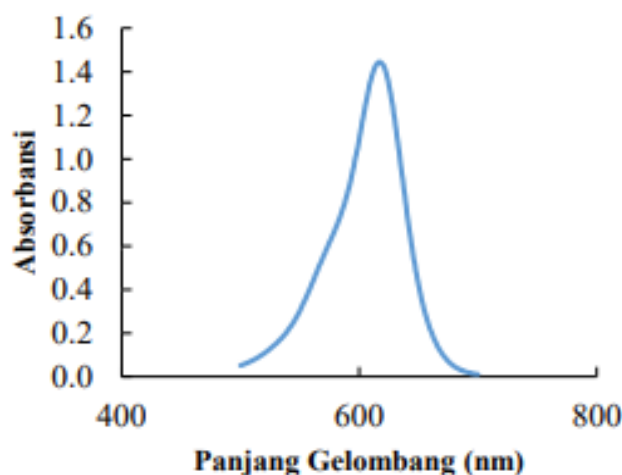
Sedangkan *double beam* dibuat untuk digunakan pada panjang gelombang 190 sampai 750 nm. *Double-beam instrument* mempunyai dua sinar yang dibentuk oleh potongan cermin yang berbentuk V yang disebut pemecah sinar. Sinar pertama melewati larutan blanko dan sinar kedua secara serentak melewati sampel. Gambar 6. Diagram alat spektrometer UV-Vis (*single beam*) Sumber sinar polikromatis, untuk sinar UV adalah lampu deuterium, sedangkan sinar Visibel atau sinar tampak adalah lampu *wolfram*.

Monokromator pada spektrometer UV-Vis digunakan lensa prisma dan filter optik. Sel sampel berupa 4 kuvet yang terbuat dari kuarsa atau gelas dengan lebar yang bervariasi. Detektor berupa detektor foto atau detektor panas atau detektor dioda foto, berfungsi menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel dan mengubahnya menjadi arus listrik. Diagram spektrofotometer UV-Vis (*Double-beam*) dapat dilihat pada Gambar 7.



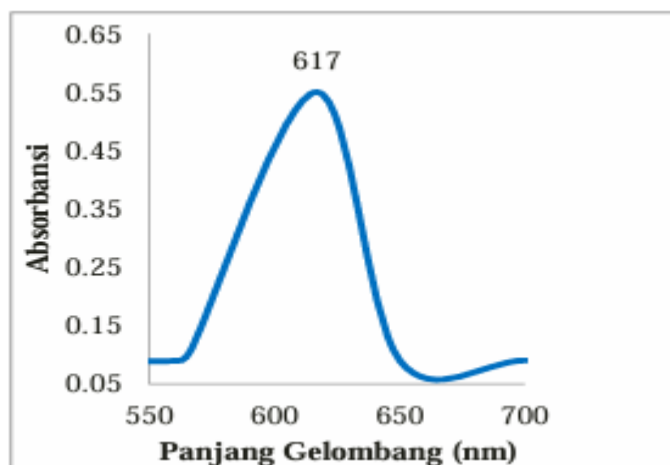
Gambar 7. Skema spektrofotometer UV-Vis (*Double-beam*).
(Suhartati, 2017)

Salah satu aspek penting yang diamati dalam spektrofotometri UV-Vis adalah panjang gelombang maksimum (λ maks), yaitu panjang gelombang di mana suatu senyawa menunjukkan serapan cahaya paling kuat. Parameter ini tidak hanya mencerminkan karakteristik struktur elektronik molekul, tetapi juga menjadi dasar utama dalam analisis kuantitatif dan kualitatif menggunakan metode ini. Panjang gelombang maksimum (λ maks) adalah panjang gelombang cahaya di mana suatu senyawa menyerap cahaya paling kuat (memiliki absorbansi tertinggi) dalam spektrum ultraungu (UV) dan cahaya tampak (Vis), biasanya berkisar antara 200–800 nm. Panjang gelombang maksimum merupakan panjang gelombang tertentu yang menunjukkan hasil absorbansi paling besar. Pada penelitian ini digunakan rentang panjang gelombang sekitar 500-700 nm. Pengukuran panjang gelombang dilakukan dengan cara membuat larutan induk dengan konsentrasi 1 g/L yang kemudian diencerkan menjadi 0,1 g/L. Berdasarkan penelitian, hasil yang diperoleh sebesar 617 nm dengan absorbansi 1,444. Hasil dari penentuan panjang gelombang maksimum dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik panjang gelombang maksimum *malachite green* (Kusumaningrum *et al.*, 2022)

Khotimah. (2020) telah melakukan penelitian studi transpor *malachite green* menggunakan metode *polymer inclusion membrane* (PIM) dengan copoly-eugenol etilen glikol dimetakrilat (Co-EEGDMA) 2% sebagai senyawa pembawa. Hasil penelitian tersebut diperoleh panjang gelombang maksimum *malachite green* sebesar 617 nm dapat dilihat pada Gambar 9.



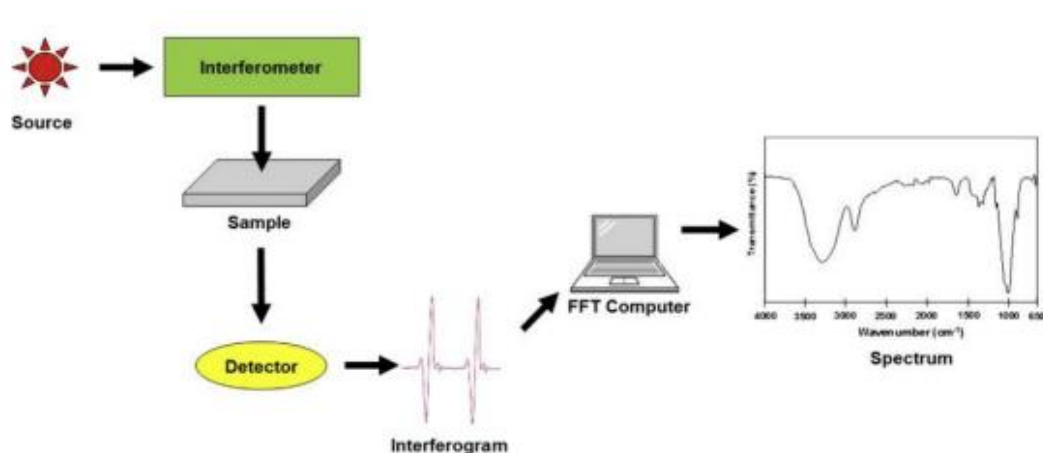
Gambar 9. Panjang gelombang maksimum *malachite green* (Khotimah, 2020)

2.8 Fourier Transform Infrared (FTIR)

Spektrofotometri FTIR merupakan kajian tentang interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan materi (sampel). Saat ini dengan perkembangan

transformasi Fourier, spektroskopi FTIR digunakan secara luas dalam bidang farmasi, makanan, lingkungan dan sebagainya (Guntarti dan Prativi, 2017).

Instrumen yang digunakan untuk menentukan spektrum serapan suatu senyawa disebut spektrofotometer. *Spektrofotometer Fourier Transform* (FTIR) dapat memberikan spektrum inframerah lebih cepat dibandingkan dengan spektrofotometer konvensional. Gambar 10 menggambarkan skema dan komponen utama dari spektrofotometer FTIR sederhana.



Gambar 10. Skema Sederhana *Fourier Transform Infrared* (FT-IR).

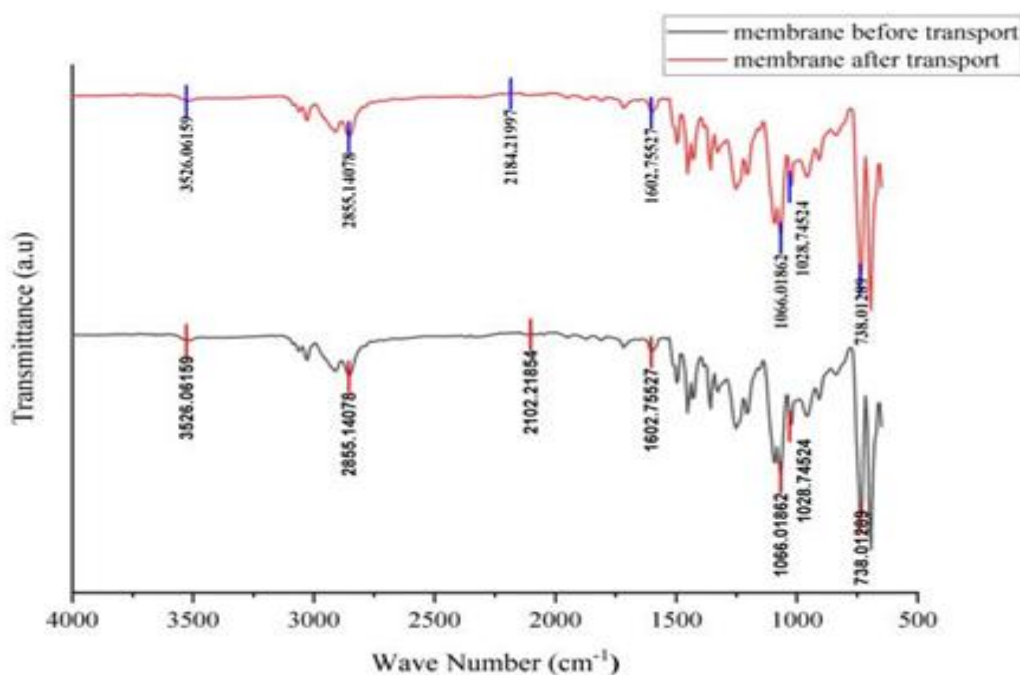
Instrumen ini menghasilkan sinar IR yang dipancarkan dari sumber benda hitam bercahaya. Sinar tersebut kemudian melewati interferometer di mana pengkodean spektral terjadi. Rekombinasi sinar dengan jalur berbeda di interferometer menghasilkan interferensi konstruktif dan destruktif, yang disebut interferogram. Selanjutnya, sinar memasuki kompartemen sampel, di mana sampel menyerap frekuensi energi tertentu yang merupakan ciri khas unik dari sampel tersebut. Detektor kemudian mengukur sinyal interferogram khusus dalam bentuk energi terhadap waktu untuk 15 semua frekuensi secara bersamaan. Sementara itu, sinar referensi digunakan sebagai latar belakang untuk pengoperasian instrumen. Akhirnya, spektrum yang diinginkan diperoleh setelah perangkat lunak *Fourier Transform* secara otomatis mengurangi spektrum latar belakang dari spektrum sampel (Mohamed *et al.*, 2017).

Teknik spektrometri IR dapat digunakan dalam dua varian: transmisi dan reflektansi. Transmisi digunakan untuk menguji efek dari penyerapan radiasi IR dalam volume sampel. Hal ini dimungkinkan untuk menguji sampel dalam bentuk padat, cair dan gas dengan menggunakan prosedur yang tepat. Gas dan cairan ditempatkan dalam *cuvettes* khusus dengan jendela, terbuat dari bahan transparan untuk radiasi IR (misalnya kristal ionik: KBr, NaCl). Spektrum padatan dapat diukur dengan menggunakan spesimen dalam tablet dari KBr, NaCl, sampel cairan/suspensi dalam parafin cair. Jika objek yang diuji cukup tipis dan transparan, spektrum yang diukur langsung pada sampel (Sulistiyani dan Huda, 2018).

Tabel 1. Bilangan Gelombang FTIR untuk berbagai jenis ikatan (Dachriyanus, 2004)

Bilangan gelombang (cm^{-1})	Jenis Ikatan
3750 – 3000	Renggangan O–H dan N–H
3000 – 2700	Renggangan $-\text{CH}_3$, $-\text{CH}_2$, C–H dan aldehid
1900 – 1650	Renggangan C=O (asam, aldehid, keton, amida, ester dan anhidrida)
1675 – 1500	Renggangan C=C (aromatik dan alifatik), dan C=N
1475 – 1300	C–H <i>bending</i>
1000 – 650	C=C-H, Ar-H <i>bending</i>

Kiswandono *et al.* (2024) telah meneliti proses transpor *malachite green* menggunakan metode Polymer Inclusion Membrane (PIM) dengan polieugenol sebagai *carrier*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa spektra FTIR membran PIM mengalami perubahan antara sebelum dan sesudah proses transportasi, seperti ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Spektra FTIR pada membran PIM yang mengandung polieugenol (Kiswandono *et al.*, 2024)

Gambar 11 memperlihatkan perbandingan spektra FTIR membran PIM sebelum dan sesudah proses transportasi. Terlihat bahwa pada bilangan gelombang 3526 cm^{-1} , yang merupakan serapan gugus hidroksil (-OH), terjadi pergeseran ke arah kanan setelah transportasi. Hal ini mengindikasikan adanya interaksi antara gugus -OH dari senyawa pembawa dalam membran dengan gugus-gugus yang terdapat pada malachite green selama proses transport. Selain itu, terdapat pergeseran pada gugus C-O, yang setelah proses transport menunjukkan bilangan gelombang sebesar $1028,7\text{ cm}^{-1}$. Pergeseran juga terjadi pada gugus C≡C, yang awalnya berada pada $2102,2\text{ cm}^{-1}$ sebelum transport dan bergeser menjadi 2184 cm^{-1} setelahnya. Pergeseran pada gugus -OH diduga disebabkan oleh hilangnya beberapa situs aktif yang mengandung polieugenol dalam membran selama proses transportasi berlangsung. Kehilangan komponen tersebut juga dapat diamati melalui hasil karakterisasi menggunakan SEM pada membran PIM setelah transport.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini termasuk penelitian eksperimental mengenai Transpor *Malachite Green* menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) dengan Co-EEGDMA 4% sebagai *Carrier*. Terdapat beberapa parameter optimasi yaitu variasi pH *Malachite Green* pada fasa sumber, variasi jenis fasa penerima, variasi ketebalan membran, variasi konsentrasi *carrier*, dan variasi waktu transpor. Selajutnya dilakukan karakterisasi membran PIM dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Terakhir, kompetisi transpor *Malachite Green* pada limbah buatan.

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2024 sampai Maret 2025 di Laboratorium Kimia Analitik dan Intrumentasi, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi *carrier* Co-EEDGMA 4% dan membran PIM menggunakan alat instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (JSM-6510LA JEOL) dilakukan di UPA Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung dan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Serpong. Analisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1780 *Double Beam*) dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah neraca digital analitik (*Galaxy HR-150A* 152g x 0,1mg), oven, pipet tetes, *magnetic stirrer*, klem dan statif, gelas ukur, batang pengaduk, labu bundar, *magnetic bar*, spatula, tabung reaksi, chamber berdiameter 3,5 cm dengan kapasitas 50 mL, pH meter, cawan petri, gelas beaker, labu takar, gelas kimia, *thickness gauge* (Mitutoyo 7301 *Dial Thickness Gauge* 0-10 mm), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1780 *Double Beam*), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (JSM-6510LA JEOL), dan cetakan membran.

Bahan yang telah digunakan pada penelitian ini adalah Co-EEGDMA 4%, *Malachite Green*, polivinil klorida (PVC), dibenzileter (DBE), tetrahidrofur (THF), asam nitrat (HNO_3), PbCO_3 , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, akuabides, plastik wrap, tisu dan aluminium foil.

3.4 Pembuatan Larutan Induk *Malachite Green*

Pembuatan larutan induk *Malachite Green* (MG) 1000 ppm 1 gram MG ditimbang, selanjutnya MG dilarutkan dalam 1000 mL akuabides dan larutan dihomogenkan.

3.5 Pembuatan Limbah Buatan

Pembuatan limbah buatan 25 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_3 , dan 0,0032 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Masing-masing logam dilarutkan dalam labu ukur 100 mL, selanjutnya tambahkan akuabides sampai tanda tera. Larutan dari masing-masing logam dicampurkan sesuai dengan jenis limbah buatan yang diinginkan.

3.6 Pengukuran Konsentrasi *Malachite Green*

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, fasasumber, 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

3.7 Pembuatan Membran PIM (*Polymer Inclusion Membrane*)

Membran PIM dicetak atau dibuat dengan berat total 0,27; 0,54; dan 1,08 g dalam suatu cetakan yang telah dilengkapi dengan *magnetic stirrer* (Tabel 2).

Tetrahidrofuran (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. Perbandingan Komponen Pembentuk Membran (10:32:58 %).
(Nghiem, 2006).

Membran	Co-EEGDMA (g)	PVC (g)	DBE (g)	Berat Total (g)
T ₂₇	0,0270	0,0864	0,1556	0,27
T ₅₄	0,0540	0,1728	0,3132	0,54
T ₁₀₈	0,1080	0,3456	0,6264	1,08

Membran PIM yang telah selesai dibuat, terlebih dahulu ditimbang sebelum digunakan untuk proses transpor MG. Karakterisasi membran sebelum dan sesudah transpor dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) dan

Scanning Electron Microscopy (SEM) lalu ketebalan membran diukur menggunakan *thickness gauge*.

3.8 Uji Membran PIM

3.8.1 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

$$\text{Porositas} = \frac{w_1 - w_2}{\rho_w \cdot v_t} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Dengan} = \frac{w_1 - w_2}{\rho_w} + \frac{W_2}{\rho_p}$$

Ket:

W_1 : berat basah membran (g)

W_2 : berat kering membran (g)

ρ_w : densitas air (1 g/cm³)

ρ_p : densitas Co-EEGDMA 4% (1,46 g/cm³)

V_t : volume membran basah (cm³)

3.8.2 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.

$$\text{Serapan Air} = \frac{W_1 - W_2}{\rho_w \cdot V_t} \times 100\% \quad (2)$$

Ket :

Ww : berat basah membran (g)

Wd : berat kering membran (g)

3.9 Optimasi Transpor *Malachite Green*

3.9.1 Variasi pH *Malachite Green* pada Fasa Sumber

Membran PIM dengan ketebalan normal yang sudah dicetak dan mengandung senyawa *carrier* ditempatkan di tengah pipa transpor, ditambahkan 50 mL HNO₃ 1 M sebagai fasa penerima dan 50 mL MG 25 ppm sebagai fasa sumber dengan variasi pH yaitu 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; dan 9,0. Pipa transpor ditutup dan diaduk selama 24 jam dengan pengaduk magnet. Fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya sebanyak 5 mL. Konsentrasi MG di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.9.2 Variasi Konsentrasi HNO₃ pada Fasa Penerima

Membran PIM dengan ketebalan normal yang sudah dicetak mengandung senyawa *carrier* ditempatkan di tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL MG 25 ppm dengan pH optimum sebagai fasa sumber dan 50 mL HNO₃ dengan variasi konsentrasi 0,50; 0,75; 1,00; 1,25 dan 1,50 M. Pipa transpor ditutup dan diaduk selama 24 jam dengan pengaduk magnet. Fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya sebanyak 5 mL. Konsentrasi MG di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.9.3 Variasi Ketebalan Membran

Membran PIM dengan variasi ketebalan T_{27} , T_{54} , dan T_{108} yang sudah dicetak dan mengandung senyawa *carrier* ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL MG 25 ppm pH optimum sebagai fasa sumber dan 50 mL HNO_3 konsentrasi optimum sebagai fasa penerima. Pipa transpor ditutup dan diaduk selama 24 jam dengan pengaduk magnet. Fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya sebanyak 5 mL. Konsentrasi MG di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.9.4 Variasi Konsentrasi *Carrier*

PIM dengan ketebalan normal yang sudah dicetak dan mengandung variasi konsentrasi senyawa *carrier* (Tabel 3) ditempatkan di tengah pipa transpor, ditambahkan 50 mL MG 25 ppm pH optimum sebagai fasa sumber dan 50 mL HNO_3 konsentrasi optimum sebagai fasa penerima. Pipa transpor ditutup dan diaduk selama 24 jam dengan pengaduk magnet. Fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya sebanyak 5 mL. Konsentrasi MG yang di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

Tabel 3. Variasi Konsentrasi *Carrier*.

Membran	Co-EEGDMA (M)	PVC (g)	DBE (g)	Berat Total (g)
1	0,01	0,1728	0,3132	0,5372
2	0,02	0,1728	0,3132	0,5884
3	0,03	0,1728	0,3132	0,6397
4	0,04	0,1728	0,3132	0,6909
5	0,05	0,1728	0,3132	0,7422

3.9.5 Variasi Waktu Transpor

Membran PIM dengan ketebalan optimum yang sudah dicetak dan mengandung senyawa *carrier* ditempatkan di tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL MG 25 ppm pH optimum sebagai fasa sumber dan 50 mL HNO₃ konsentrasi optimum sebagai fasa penerima. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan variasi waktu selama 6, 12, 18, 24, dan 30 jam dengan pengaduk magnet. Fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya sebanyak 5 mL. Konsentrasi MG di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.9.6 Studi Kompetisi Transpor *Malachite Green*

Sampel limbah buatan dibuat dengan mencampurkan, ketiga larutan yaitu *Malachite Green*, Cu(NO₃)₂ dan Pb(NO₃)₂ dengan konsentrasi masing-masing 25 ppm menjadi satu. Setelah itu, dilakukan transpor menggunakan membran PIM dengan ketebalan optimum yang sudah dicetak dan diletakkan di tengah pipa transpor, lalu dimasukkan 50 mL limbah buatan sebagai fasa sumber dan 50 mL HNO₃ sebagai fasa penerima kondisi optimum. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet pada fasa sumber dan fasa penerima selama waktu optimum pada suhu kamar. Diambil sampel fasa sumber dan fasa penerima sebanyak 5 mL. Konsentrasi MG fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis, sementara kehadiran logam Cu(II) dan Pb(II) dilihat dari hasil karakterisasi menggunakan SEM EDX .

3.9.7 Analisis Parameter Transpor

Hasil dan data transpor yang diperoleh, lalu ditetapkan kinetika transpor yang terdiri dari orde reaksi, permeabilitas (P), fluks (J), koefisien rejeksi (R), persen *recovery* (%R), dan persen removal (%RE) pada transpor *malachite green*. Perhitungan seperti terlihat pada Persamaan 3 (Nurul dan Sujana, 2020),

persamaan 4 (Kusumaningrum *et al.*, 2022), dan persamaan 5, persamaan 6, dan persamaan 7 (Suryandari, 2020).

$$\%Recovery = \frac{C_{penerima}}{C_{0\ sumber}} \times 100 \quad (3)$$

Keterangan:

$\%Recovery$ = % *Malachite green* pada fasa penerima
 $C_{0\ sumber}$ = Konsentrasi awal *malachite green* pada fasa sumber (ppm)
 $C_{penerima}$ = Konsentrasi *malachite green* pada fasa penerima (ppm)

$$\%Removal = \frac{(C_{0\ sumber} - C_{sumber})}{C_{0\ sumber}} \times 100 \quad (4)$$

Keterangan:

$\%Recovery$ = % *Malachite green* pada fasa penerima
 $C_{0\ sumber}$ = Konsentrasi awal *malachite green* pada fasa sumber (ppm)
 C_{sumber} = Konsentrasi *malachite green* pada fasa sumber (ppm)

$$\text{Permeabilitas membran } P \left(\frac{m}{s} \right) = - \frac{V_f}{A \times t} \ln \frac{[C]_t}{[C]_0} \quad (5)$$

Keterangan:

V_f = Volume fluida (m^3)
 A = Luas permukaan membran (m)
 T = Waktu (jam)
 $[C]_t$ = Konsentrasi awal fasa sumber
 $[C]_0$ = Konsentrasi permeat (konsentrasi *malachite green* yang ada pada fasa penerima)

$$\text{Fluks (J)} \quad J = \frac{V}{A.t} \quad (6)$$

Keterangan:

J = Fluks (L/m^2 Jam)
 V = Volume sampel (L)
 A = Luas permukaan membran (m^2)
 t = Waktu (jam)

$$\text{Koefisien Rejeksi (R)} = \left(1 - \frac{C_p}{C_t} \right) \times 100\% \quad (7)$$

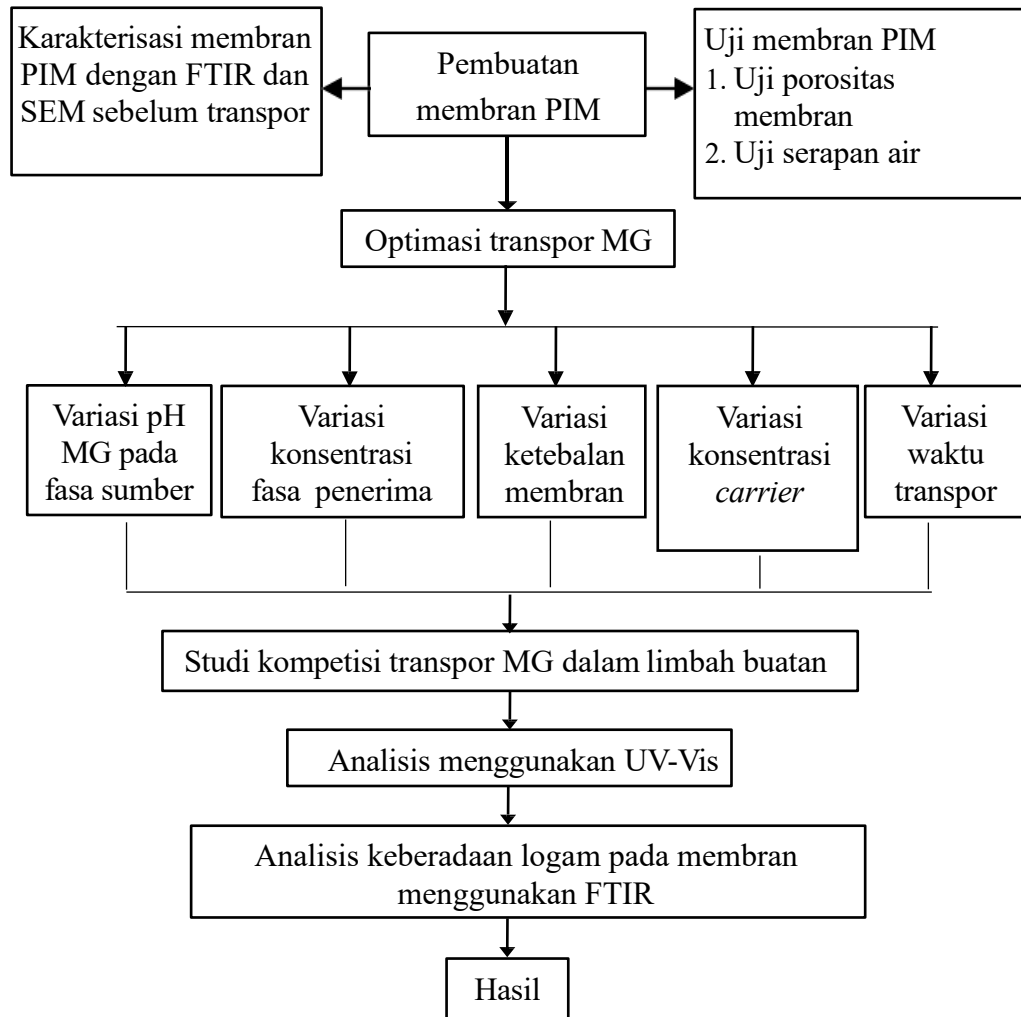
Keterangan:

R = Koefisien rejeksi

- Cp = Konsentrasi permeat (konsentrasi *malachite green* yang ada pada fasa penerima)
- Ct = Konsentrasi awal fasa sumber saat t optimum

3.10 Skema Penelitian

Skema pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 12**.



Gambar 12. Skema Penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Transpor MG diperoleh dalam kondisi optimum dengan pH fasa sumber MG adalah 7, konsentrasi fasa penerima HNO_3 optimum adalah 1,25 M dengan ketebalan membran T_{54} (ketebalan normal) selama 24 jam waktu transpor dengan jumlah MG tertranspor dengan % *removal* sebesar 91,75%.
2. Keberadaan logam sebagai kompetitor Pb(II) dan Cu(II) terhadap transpor *malachite green* dapat mempengaruhi proses pemisahan. Pada transpor tanpa logam memperoleh % *removal* sebesar 91,75% lebih besar dibandingkan dengan jika terdapat logam Pb(II) dan Cu (II) maka % *removal* yang dihasilkan 87,80%.
3. Hasil Karakterisasi membran PIM setelah transpor menggunakan SEM memiliki permukaan yang tidak rata dan memiliki pori-pori karena terdapat komponen membran yang hilang selama proses transpor (*leaching*). Hal ini dibuktikan dengan karakterisasi membran PIM menggunakan FTIR yang menunjukkan adanya perbedaan serapan gugus fungsi dan *membrane liquid* (ML) *loss*.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah perlu adanya kajian dan penelitian lebih lanjut mengenai efisiensi transpor terhadap jenis zat warna lain selain *malachite green*, guna mengetahui selektivitas membran terhadap berbagai polutan, dan melakukan optimasi lebih lanjut terhadap rasio komponen penyusun membran seperti PVC dan DBE untuk meningkatkan fluks dan stabilitas membran.

DAFTAR PUSTAKA

- Abriyani, E., Putri, N. S., Rosidah, R. S. N., dan Ismanita, S. S. 2022. Analisis Kafein Menggunakan Metode Uv-Vis. *Jurnal Pendidikan dan Konseling* 4(6), 12732–12739.
- Agung Abadi Kiswandono , Supriyanto , Aang Nuryaman , Dwi Siswanta , Nurul Hidayat Aprilita, dan S. J. S. 2017. Sintesis Dan Uji Kemampuan Senyawa Co-Eegdma Sebagai Senyawa Pembawa Pada Transport Fenol Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane. 1–23.
- Agustina, N. 2020. Validation Method for Determination of Niclosamide Monohidrate in Veterinary Medicine Using Uv-Vis Spectrophotometry. *Jurnal Ilmiah Farmako Bahari*, 11(2), 153–160. www.journal.uniga.ac.id
- Agustina, S. 2006. Teknologi Membran Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri. In *Bulletin Penelitian* (Vol. 28, Issue 1, pp. 18–24).
- Budi Gunawan, C. D. A. 2019. Karakterisai Spektrofotometri IR dan Scanning Electron Microscopy (SEM) Sensor Gas Dari Bahan Polimer Poly Ethelyn Glycol (PEG). *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14.
- Cleij, M. C., Scrimin, P., Tecilla, P., and Tonellato, U. 1997. Efficient and Highly Selective Copper(II) Transport across a Bulk Liquid Chloroform Membrane Mediated by Lipophilic Dipeptides. *Journal of Organic Chemistry*, 62(16), 5592–5599. <https://doi.org/10.1021/jo9703257>
- Didik, L. A. 2020. Penentuan Ukuran Butir Kristal Cucr dan NiO Dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (Xrd) Dan Scanning Electron Microscope (Sem). *Indonesian Physical Review*, 3(1), 6–14. <https://doi.org/10.29303/ipr.v3i1.37>
- Dinar Ika Pambudi Kusumaningrum, Dyan Hatining Ayu Sudarni, S. W. 2022. Optimasi Pengaruh Waktu Kontak dan Dosis Adsorben Limbah Daun Kayu Putih (*Melaleuca cajuputi*) dengan Metode Isoterm Adsorpsi Langmuir. *Jurnal Teknik Kimia USU. Jurnal Teknik Kimia USU*, 09(2), 80–86.

- Djunaidi, M. C., Khabibi, K., and Nurfitriana, R. 2017. Separation of Chrom (Vi) From Electroplating Waste Using Polymer Inclusion Membrane (Pim) Method. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 13(1), 119.
<https://doi.org/10.20961/alchemistry.v13i1.4562>
- Fangidae, T. S., Morus, T., Bage, P., Anggorowati, A. A., dan Sudaryanto, Y. 2020. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Study of Malachite Green Adsorption using Tannin-Based Adsorbent (TBA) from Mangrove Bark (*Rhizophora mucronata*). *Jurusan Teknik Kimia*, 14–15.
- Guntarti, A., and Prativi, S. R. 2017. Application method of Fourier Transform Infrared (FTIR) combined with chemometrics for analysis of rat meat (*Rattus Diardi*) in meatballs beef. *Pharmaciana*, 7(2), 133.
<https://doi.org/10.12928/pharmaciana.v7i2.4247>
- Handayani, D. S., Kusumaningsih, T., dan Yuli, M. 2004. Sintesis Kopolimer(Eugenol-DVB) Sulfonat dari Eugenol Komponen Utama Minyak Cengkeh (*Syzygium aromaticum*). *Biofarmasi Journal of Natural Product Biochemistry*, 2(2), 53–57.
- Harimu, L., Matsjeh, S., Siswanta, D., and Santosa, S. J. 2010. Synthesis Of Polyeugenyl Oxyacetic Acid As A Carrier To Separate Heavy Metal Ion Fe (III), Cr(III), Cu(II), Ni(II), Co(II), And Pb(II) That Using Solvent Extraction Method. *Indonesian Journal of Chemistry*, 9(2), 261–266.
<https://doi.org/10.22146/ijc.21540>
- Hiratmi, K., Hirose, T., Kasuga, K., and Saitof, K. 1992. N-(8-Quinolyl)-N'-(2-pyridylmethyl)malonamide Derivatives as a Novel Cu(II) Carrier with High Efficiency and Selectivity for Proton-Driven Uphill Transport through Liquid Membranes. *J. Org. Chem*, 57(26), 7083–7087.
- Khairil, D. F., dan Etika, S. B. 2022. Optimasi Penyerapan Malachite Green Menggunakan C-Sinamalkaliks[4]Resorsinarena Hasil Sintesis Sebagai Adsorben. *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP*, 11(2), 56.
<https://doi.org/10.24036/p.v11i2.113294>
- Khotimah, R. K. 2020. Transpor Malachite Green Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane (Pim) Dengan Copoly Eugenol Ethylene Glycol Dimethacrylate (Co-Eegdma) 6% Sebagai Senyawa Pembawa. Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, Bandar Lampung. 1-68.
- Kislik, V. S. 2009. Introduction, General Description, Definitions, and Classification. Overview. In *Liquid Membranes: Principles and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment* (1st ed., Issue October). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53218-3.00001-5>

- Kiswandono, A. A. 2016. Metode Membran Cair untuk Pemisahan Fenol. *Analit: Analytical and Enviromental Chemistry*, 1(1), 74–91.
- Kiswandono, A. A., Nusantara, C. S., Rinawati, R., and Hadi, S. 2022. Optimization and Evaluation of Polymer Inclusion Membranes Based on PVC Containing Copoly-EDVB 4% as a Carrier for the Removal of Phenol Solutions. *Membranes*, 12(3).<https://doi.org/10.3390/membranes12030295>
- Kiswandono, A. A., Sindiani, A. V., Khotimah, R. K., Rabbani, M. B., Kurniawan, B., Rinawati, R., and 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. <https://doi.org/10.22079/JMSR.2023.2013382.1635>
- Kiswandono, A. A., Siswanta, D., Aprilita, N. H., Santosa, S. J., and Hayashita, T. 2014. The Capability of Copoly(Eugenol-Divinylbenzene) As a Carrier For Phenol Transport With Polymer Inclusion Membrane (PIM). *Journal of Environmentally Friendly Processes*, 2(October), 57–68.
- Kiswandono, 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 Kopoli-Eugenol Divinil Benzena 10% sebagai Senyawa Pembawa. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 18(1), 1. <https://doi.org/10.20961/alchemistry.18.1.45356.1-9>
- Kusumocahyo, S. P., Sumaru, K., Iwatsubo, T., Shinbo, T., Kanamori, T., Matsuyama, H., and Teramoto, M. 2006. Quantitative analysis of transport process of cerium(III) ion through polymer inclusion membrane containing N,N,N',N'-tetraoctyl-3-oxapentanediamide (TODGA) as carrier. *Journal of Membrane Science*, 280(1–2), 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2006.01.007>
- Lusiana, R. A., Siswanta, D., Mudasir, and Hayashita, T. 2013. The influence of PVA.cl.citric acid/chitosan membrane hydrophicility on the transport of creatinine and urea. *Indonesian Journal of Chemistry*, 13(3), 262–270. <https://doi.org/10.22146/ijc.21286>
- Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., and Rahman, M. A. 2017. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. In *Membrane Characterization*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00001-2>
- Putama Mursal, I. L. 2018. Karakterisasi Xrd Dan Sem Pada Material Nanopartikel Serta Peran Material Nanopartikel Dalam Drug Delivery System. *Pharma Xplore : Jurnal Ilmiah Farmasi*, 3(2), 214–221. <https://doi.org/10.36805/farmasi.v3i2.491>

- Qu, W., Yuan, T., Yin, G., Xu, S., Zhang, Q., dan Su, H. 2019. Pengaruh sifat-sifat karbon aktif pada adsorpsi hijau perunggu. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.03.058>
- Pratiwi, R. D. A., Rumhayati, B., Mulyasuryani, A. 2015. Pengaruh Konsentrasi Fase Penerima Terhadap Transpor Fosfat Melalui Polymer Inclusion Membrane (Pim) Berbasis Pvc Aliquat 336. KIMIA.STUDENTJOURNAL, Vol.1, No. 1, pp. 643- 644,
- Sajidah, H. B. N. 2017. Review : Differential Thermal Analysis (Dta), Differential Scanning Calorimetry (Dsc), Thermal Gravimetric Analysis (Tga) Scanning Electron Microscopy (Sem) Dan Transmission Electron Microscopy (TEM) Untuk Karakterisasi Serbuk Ba_{1-x}Sr_xTiO₃. *Departemen Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember, June*, 1–10.
- Sartape, A. S., Mandhare, A. M., Jadhav, V. V., Raut, P. D., Anuse, M. A., and Kolekar, S. S. 2017. Removal of malachite green dye from aqueous solution with adsorption technique using Limonia acidissima (wood apple) shell as low cost adsorbent. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(April 2015), S3229–S3238. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.12.019>
- Srivastava, S., Sinha, R., and Roy, D. 2004. Toxicological effects of malachite green. *Aquatic Toxicology*, 66(3), 319–329. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2003.09.008>
- Suah, F. B. M., and Ahmad, M. 2017. Preparation and characterization of polymer inclusion membrane based optode for determination of Al³⁺ ion. *Analytica Chimica Acta*, 951, 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2016.11.040>
- Sukmawati, P., dan Utami, B. 2014. Menggunakan Adsorben Kulit Buah Kakao. *Prosiding Seminar Nasional Fisika Dan Pendidikan Fisika (SNFPF)*, 5, 19–25. <https://e-resources.perpusnas.go.id:2218/media/publications/173347-ID-none.pdf>
- Sulistiyani, M., dan Huda, N. 2018. Perbandingan Metode Transmisi dan Reflektansi Pada Pengukuran Polistirena Menggunakan Instrumentasi Spektroskopi Fourier Transform Infra Red. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 195–198.
- Suryandari, E. T. 2020. Sintesis Membran Komposit PVDF-Zeolit untuk Penghilangan Metilen Biru. *Al-Kimiya*, 6(2), 58–66. <https://doi.org/10.15575/ak.v6i2.6491>
- Suwandi, A. C., Indraswati, N., dan Ismadji, S. 2011. Modifikasi Kaolin dengan Menggunakan Surfaktan Alami dari Buah Lerak untuk Menghilangkan Zat Warna Malachite Green.

- Tati Suhartati. 2017. *Dasar dasar Spektrofotometri Uv-Vis dan Spektrofotometri Massa untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*.
- Van Straaten-Nijenhuis, W. F., de Jong, F., Reinhoudt, D. N., Thummel, R. P., Bell, T. W., and Liu, J. 1993. Urea transport through supported liquid membranes using synthetic carriers. *Journal of Membrane Science*, 82(3), 277–283. [https://doi.org/10.1016/0376-7388\(93\)85192-Y](https://doi.org/10.1016/0376-7388(93)85192-Y)
- Wang, X., Hu, L., Li, C., Gan, L., He, M., He, X., Tian, W., Li, M., Xu, L., Li, Y., and Chen, Y. 2016. Improvement in physical and biological properties of chitosan/soy protein films by surface grafted heparin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 83, 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.052>
- Wenten, I. ., Khoiruddin, Aryanti, P. T. ., dan Hakim, A. 2010. Pengantar Teknologi Membran. *Diktat Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung, January 2016*, 2017–2018.
- William Antoni Rensini, Luther Kadang, Titus Lapailaka, Johnson Nune Naat, Redi Kristian Pingak, Origenes Boy Kapitan, F. N. 2024. Stabilitas Polymer Inclusion Membrane Dari Polimer Pendukung Pvc Dan Ekstraktan D2Ehpa Dalam Asam Klorida. *Jurnal Fisika: Fisika Sains Dan Aplikasinya*, 9(1), 36–46.