

**STUDI TRANSPOR *MALACHITE GREEN* MENGGUNAKAN METODE
POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM) DENGAN *POLYEUGENOL*
SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA**

(Skripsi)

Oleh

Annur Valita Sindiani



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

STUDI TRANSPOR *MALACHITE GREEN* MENGGUNAKAN METODE *POLYMER INCLUSION MEMBRANE* (PIM) DENGAN *POLYEUGENOL* SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA

Oleh

Annur Valita Sindiani

Penelitian transpor *Malachite Green* (MG) dengan *polyeugenol* sebagai senyawa pembawa menggunakan metode PIM (*Polymer Inclusion Membrane*) telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pH pada fasa sumber, konsentrasi HNO_3 pada fasa penerima, ketebalan membran, konsentrasi senyawa pembawa, dan waktu transpor MG menggunakan *polyeugenol* sebagai senyawa pembawa dengan metode PIM serta mempelajari kompetisi transpor MG pada limbah buatan. Preparasi membran dilakukan dengan melarutkan *polyeugenol*, polivinil klorida (PVC), dan dibenzil eter (DBE) ke dalam pelarut tetrahidrofuran (THF). Konsentrasi MG setelah transpor ditentukan dengan spektrofotometer UV-Vis dan absorbansinya diukur pada panjang gelombang 613 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran PIM dengan senyawa pembawa *polyeugenol* mampu mentranspor MG pada pH fasa sumber 7, konsentrasi fasa penerima 0,75M, ketebalan membran PIM T_{54} , konsentrasi senyawa pembawa 0,04M dengan waktu transpor 24 jam dengan %*removal* sebesar 89,09%. Membran PIM sebelum dan setelah transpor dikarakterisasi menggunakan FT-IR dan SEM. Transpor MG dengan logam Cu(II) dan Pb(II) menghasilkan %*removal* MG lebih kecil dibandingkan transpor MG tanpa logam. Keberadaan logam kompetitor menjadi pengganggu pada proses transpor MG dari fasa sumber menuju fasa penerima.

Kata kunci : *Malachite Green, Polyeugenol, Polymer Inclusion Membrane.*

ABSTRACT

TRANSPORT STUDY OF MALACHITE GREEN USING THE POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM) METHOD WITH POLYEUGENOL AS A CARRIER

By

Annur Valita Sindiani

Malachite Green (MG) transport research using polyeugenol as a carrier applying the PIM (Polymer Inclusion Membrane) method had been conducted. This research aim to study the effect of pH on the source phase, HNO₃ concentration on the receiving phase, membrane thickness, the carrier concentration, and MG transport time and learning the competition for MG transport in artificial waste. Membrane preparation was carried out by dissolving polyeugenol, polyvinyl chloride (PVC), and dibenzyl ether (DBE) in tetrahydrofuran (THF) solvent. The concentration of MG after transport was determined with a UV-Vis spectrophotometer at a wavelength of 613 nm. The results showed that the PIM membrane with the polyeugenol carrier was able to transport MG at the source phase pH of 7, the concentration of the receiving phase was 0.75M, the thickness of the PIM T₅₄ membrane, the concentration of the carrier was 0.04M with the transport time of 24 hours with the rate of %removal was 89.09%. PIM membranes before and after transport were characterized using FT-IR and SEM. PIM membranes before and after transport were characterized using FT-IR and SEM. MG transport with Cu(II) and Pb(II) metals resulted in a lower %removal of MG than MG transport without metal. The presence of competing metals interfered with the MG transport process from the source phase to the receiving phase.

Keywords: Malachite Green, Polyeugenol, Polymer Inclusion Membrane.

**STUDI TRANSPOR *MALACHITE GREEN* MENGGUNAKAN METODE
POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM) DENGAN *POLYEUGENOL*
SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA**

Oleh

Annur Valita Sindiani

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
UNIVERSTAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

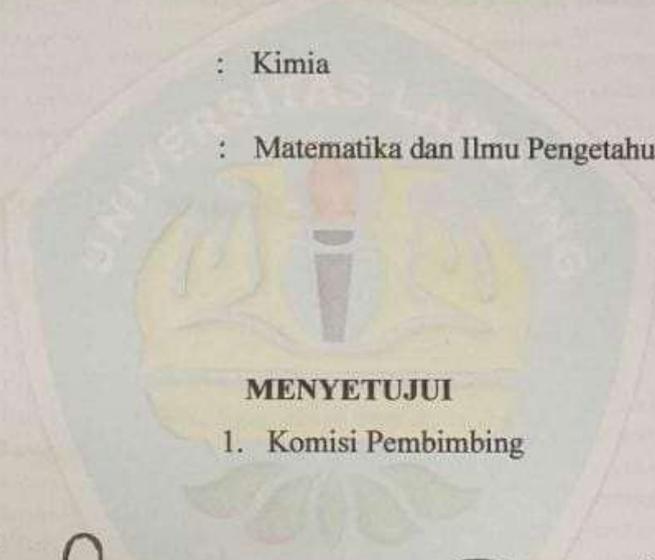
Judul Skripsi : **STUDI TRANSPOR MALACHITE GREEN
MENGUNAKAN METODE POLYMER
INCLUSION MEMBRANE (PIM) DENGAN
POLYEUGENOL SEBAGAI SENYAWA
PEMBAWA**

Nama Mahasiswa : **Annur Valita Sindiani**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011069

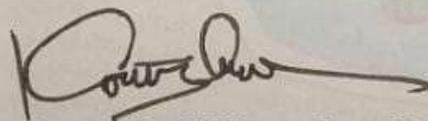
Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

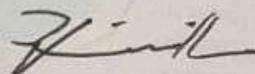


MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



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



Rinawati, Ph.D.
NIP. 197104142000032001

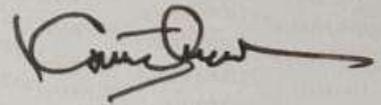
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA UNILA

Mulyono, Ph.D.
NIP. 197406112000031002

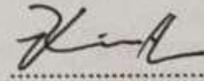
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

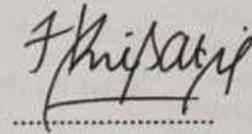
Ketua : Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.



Sekretaris : Rinawati, Ph.D.



Penguji
Bukan Penguji : Dr. Eng. Heri Satria, M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **12 Juni 2023**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Annur Valita Sindiani
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011069
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul **Studi Transpor Malachite Green menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane (PIM) dengan Poly Eugenol sebagai Senyawa Pembawa** 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, 15 Juni 2023
Yang Menyatakan



Annur Valita Sindiani
NPM. 1917011069

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Annur Valita Sindiani dan lahir di Sri Gading, 10 April 2001 sebagai anak pertama dari satu bersaudari, putri dari Bapak Yardi Bahtiat dan Ibu Sri Wahyuni. Penulis menyelesaikan pendidikan di SD Negeri 2 Panjang Utara pada tahun 2013–2016 dan SMK SMTI Bandar Lampung pada tahun 2016–2019. Pada tahun 2019, penulis melanjutkan pendidikan sebagai mahasiswa Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung dan menyelesaikan studinya pada tahun 2023.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Kader Muda pada Himaki tahun 2019, kemudian menjadi pengurus aktif Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) pada tahun 2020 di bidang Sosial Masyarakat. Penulis aktif dalam kegiatan *English Society* tahun 2022 serta pernah melaksanakan kegiatan MBKM Kampus Merdeka yaitu Kampus Mengajar. Pada tahun 2023 penulis pernah menjabat sebagai *President of Chemistry English Club*, selain itu penulis menjadi asisten Praktikum Kimia Analitik 1 pada tahun 2023. Pada tahun 2023, penulis juga memenangkan pendanaan dan menjadi seorang ketua terkait Pekan Kreativitas Mahasiswa Riset Eksakta (PKM-RE) yang diadakan oleh Kemendikbudristek.

Penulis mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Kota Karang, Teluk Betung, pada 10 Januari–18 Februari 2022. Penulis pernah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Sinarmas *Agribusiness and Food* pada 20 Juni–29 Juli 2022. Pada Juli 2022, penulis tergabung dalam tim MBKM Riset berjudul “*Determination of The Heavy Metal Content Lead (Pb), Cadmium (Cd), and Manganese (Mn) in Vannamei Shrimp from Ponds and Waters in Coastal Labuhan Maringgai Regency East Lampung*”. Pada tahun

2023, penulis telah menyelesaikan tugas akhir untuk mendapatkan gelar sarjana dengan membuat skripsi yang berjudul “Studi Transpor *Malachite Green* menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane* dengan *Polyeugenol* sebagai Senyawa Pembawa”.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang

*Dengan mengucap
Alhamdulillahirabbil' alamin dan dengan segala kerendahan hati
Ku persembahkan karya sederhana ini kepada*

*Bapak dan Ibuku tercinta yang telah membesarkan, mendidik, mendo'akan,
mendukung, dan memberikan kasih sayang yang tak terbatas serta cinta yang sangat
besar dan tak ternilai.*

*Melalui karya kecil ini, aku sebagai putrimu mengucapkan terima kasih atas
segalanya. Seluruh keluarga besar terutama Adikku yang terbaik Windi Anggriani
yang selalu memberi perhatian dan bantuan untukku.*

*Dengan segala rasa hormat kepada Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc., Ibu
Rinawati, Ph.D, dan Bapak Dr.Eng. Heri Satria, M.Si., 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.*

Almamater Tercinta Universitas Lampung

MOTTO

“Success is no accident. It is hard work, perseverance, learning, studying, sacrifice and most of all, love of what you are doing or learning to do.”

(Edson Arantes do Nascimento)

“There is nothing more stupid than prioritizing a man between your education, knowledge will never betray, divorce and break up, knowledge will always be with you.”

(Alpha Gils Guide)

“Because, after the difficulty there is a lot of ease.”

(Q.S Al-Insyirah: 5-6)

“Highly educated women do not compete with men but women will build a better generation”

(Anonymous)

“No matter how small the kindness that is given to you, then appreciate it and how big is the mistake of others, then forgive. hopefully it will be a good deed for you.”

(Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.)

SANWACANA

Puji dan syukur kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala rahmat, ridha, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Studi Transpor *Malachite Green* menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) dengan *Polyeugenol* sebagai Senyawa Pembawa” 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. Kedua orang tua yang saya cintai, Ayah Yardi Bahtiar dan Ibu Sri Wahyuni 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 atas kebaikan, bimbingan, arahan, masukan, dan seluruh ilmu pengetahuan yang diberikan selama proses perkuliahan sampai dengan penyelesaian skripsi.
3. Ibu Rinawati, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II, atas kebaikan, bimbingan, arahan, masukan, dan seluruh ilmu pengetahuan yang diberikan dalam proses penyelesaian skripsi.
4. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si. selaku Dosen Penguji/Pembahas atas masukan dan saran yang diberikan dalam proses penyelesaian skripsi.

5. Bapak Prof.Hardoko Insan Qudus,M.S. selaku Pembimbing Akademik atas segala bimbingan, nasihat, serta motivasi yang telah diberikan kepada penulis.
6. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku Kepala 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. Adikku, Windi Anggriani, yang selalu menjadi penyemangat penulis dalam menjalankan kegiatan perkuliahan hingga tahap penyelesaian skripsi.
11. Arya, Dito, Farich, Dayu, Fatur dan Melati sebagai sahabat seperjuangan yang selalu kebersamai dalam segala kondisi serta canda dan tawa selama proses perkuliahan yang telah kita lakukan bersama-sama.
12. Teman-teman *Membrane Research*,Kak Nurhuda, Mba Eva, Kak Kharisma, Kak Ica dan yang lainnya, terima kasih untuk semua bantuan, dukungan, kesabaran, keikhlasan, dan pengalamannya selama perjalanan menuju kelulusan beserta adik-adik *Membrane Research* angkatan 2020 kepada Ayu, Sefi, Ibnah, Niswah,dan Fadhil.
13. Kakak *Membrane Research* 2018 yaitu Kak Nia, Kak Dedeh, Kak Kharisma, dan Kak Fauzan yang telah memberikan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi.
14. Sahabat seperjuangan Laboratorium Kimia Analitik, Melati, Isro, Dian, Wailhaq, Sabila, dan Kak Ayum yang selalu kebersamai dan saling memberikan dukungan, semangat, motivasi, nasihat, dan canda tawa selama berprogres di dalam laboratorium.

15. Teman-teman seperjuangan selama KKN, Adria, Inggrid, Dita, Caca, Hafidz, dan Aax.
16. Keluarga Kimia Angkatan 2019 serta Kimia Kelas B 2019 yang senantiasa memberikan informasi dan membantu penulis.
17. Teman-teman Kimia Angkatan 2020 dan 2022.
18. Kepada pengurus serta keluarga besar *Chemistry English Club* periode 2023 yang selalu menyemangati penulis serta tim PKM *Membreane 2023* kepada Bagus, Ayu, dan Maul.
19. Kak Vezhia yang telah memberi semangat untuk penulis menyelesaikan skripsinya dengan baik.
20. Sahabat aku sedari kecil kepada Alda Mauliani yang telah menemani masa persahabatan, suka duka, serta memberi semangat kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi dengan sebaik-baiknya.
21. Ayu, Apri, Bunga, Dian, Dinda, Kharisma, Jainuddin, dan Raihan sebagai sahabat sejak SMP yang selalu memberikan dukungan.
22. Dwi, Fatur, Rohman, Andrabella, dan Olga sebagai sahabat sejak SMA yang selalu memberikan dukungan.
23. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung dalam menyelesaikan skripsi penulis serta almamater Universitas Lampung.
24. *Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me for believeing in me, I wanna thank me for doing all these hard work, I wanna thank me for having no days off, and I wanna thank me for never quitting.*

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat beberapa 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.

Bandar Lampung, 21 Juni 2023
Penulis

Annur Valita Sindiani

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Malachite Green</i>	6
2.2 Eugenol.....	7
2.3 Teknologi Membran	10
2.4 <i>Polymer Inclusion Membrane (PIM)</i>	13
2.5 Analisis dan Karakterisasi	14
2.5.1 Spektrofotometer UV-Vis.....	14
2.5.2 <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	16
2.5.3 Spektrofotometri <i>Fourier Transform Infra Red (FT-IR)</i>	18
III. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat	21
3.2 Alat dan Bahan	21

3.3 Optimasi Transpor <i>Malachite Green</i>	22
3.3.1 Pembuatan Membran PIM (<i>Polymer Inclusion Membrane</i>)	22
3.3.2 Pembuatan Larutan Induk <i>Malachite Green</i> , Pembuatan Limbah	23
3.3.3 Variasi pH <i>Malachite Green</i> pada Fasa Sumber	24
3.3.4 Variasi Konsentrasi HNO ₃ pada Fasa Penerima.....	24
3.3.5 Variasi Ketebalan Membran.....	25
3.3.6 Variasi Konsentrasi Senyawa Pembawa.....	25
3.3.7 Variasi Waktu Transpor.....	26
3.3.8 Studi Kompetisi Transpor <i>Malachite Green</i> pada Limbah Buatan	27
3.4 Diagram Penelitian	28
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Pembuatan Membran PIM.....	29
4.2 Penentuan Panjang Gelombang <i>Malachite Green</i>	34
4.3 Transpor Variasi pH <i>Malachite Green</i> pada Fasa Sumber.....	35
4.4 Transpor Variasi Konsentrasi HNO ₃ pada Fasa Penerima.....	38
4.5 Transpor Variasi Ketebalan Membran	40
4.6 Transpor Variasi Konsentrasi Senyawa Pembawa	43
4.7 Transpor Variasi Waktu	45
4.8 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.....	61

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik zat warna MG	6
2. Sifat fisikokimia eugenol	7
3. Daftar bilangan gelombang FT-IR dari berbagai jenis ikatan.....	19
4. Perbandingan komponen pembentuk membran (10:32:58)	22
5. Variasi konsentrasi senyawa pembawa	25
6. Berat total komponen, berat membran sebelum transpor dan ketebalan membran PIM sebelum transpor	30
7. Hasil FT-IR polieugenol	32
8. Perbandingan bilangan gelombang hasil FT-IR membran PIM sebelum dan setelah transpor MG	33
9. Hasil % <i>removal</i> variasi pH MG fasa sumber.....	37
10. Hasil % <i>removal</i> variasi konsentrasi fasa penerima HNO ₃	39
11. Hasil % <i>removal</i> variasi ketebalan membran.....	42
12. Hasil % <i>removal</i> variasi konsentrasi senyawa pembawa.....	44
13. Perbandingan senyawa pembawa polieugenol.....	45
14. Hasil % <i>removal</i> variasi waktu transpor	46
15. Perbandingan bilangan gelombang membran setelah transpor MG	52
16. Absorbansi larutan standar MG pada variasi pH fasa sumber	67
17. Absorbansi dan konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi pH.....	67
18. Data \bar{x} ,SD dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi pH.....	68
19. Absorbansi larutan standar MG pada variasi pH fasa penerima.....	68
20. Absorbansi dan konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi fasa penerima	69
21. Data \bar{x} ,SD dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi fasa penerima	70
22. Absorbansi larutan standar MG pada variasi ketebalan membran.....	70
23. Absorbansi dan konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi ketebalan membran.....	71

24. Data \bar{x} ,SD dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi ketebalan membran.....	72
25. Absorbansi larutan standar MG pada variasi ketebalan membran.....	72
26. Absorbansi larutan standar MG pada variasi konsentrasi senyawa pembawa	73
27. Data \bar{x} ,SD dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi senyawa pembawa	73
28. Absorbansi larutan standar MG pada variasi waktu transpor	74
29. Absorbansi dan konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi waktu transpor	74
30. Data \bar{x} ,SD dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi waktu transpor	75
31. Absorbansi larutan standar MG pada variasi transpor MG pada limbah buatan	76
32. Absorbansi dan konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi transpor MG pada limbah buatan	76
33. Data \bar{x} ,SD dan %RSD konsentrasi MG di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi waktu transpor	77
34. Data Transpor Waktu	78
35. Massa membran sebelum transpor MG pada variasi pH fasa sumber	84
36. Massa membran setelah transpor MG pada variasi pH fasa sumber	84
37. % LM <i>loss</i> transpor MG pada variasi pH fasa sumber	84
38. Massa membran sebelum transpor MG pada variasi konsentrasi HNO ₃ fasa penerima	85
39. Massa membran setelah transpor MG pada konsentrasi HNO ₃ fasa penerima	85
40. % LM <i>loss</i> transpor MG pada variasi konsentrasi HNO ₃ fasa penerima.....	85
41. Massa membran sebelum transpor MG pada variasi ketebalan membran.....	86
42. Massa membran setelah transpor MG pada variasi ketebalan membran.....	86
43. % LM <i>loss</i> transpor MG pada variasi ketebalan membran.....	86
44. Massa membran sebelum transpor MG pada variasi konsentrasi senyawa pembawa	87
45. Massa membran setelah transpor MG pada variasi konsentrasi senyawa pembawa	87
46. % LM <i>loss</i> transpor MG pada variasi konsentrasi senyawa pembawa.....	87
47. Massa membran sebelum transpor MG pada variasi waktu transpor	88
48. Massa membran setelah transpor MG pada variasi waktu transpor.....	88
49. % LM <i>loss</i> transpor MG pada variasi waktu transpor.....	88
50. Massa membran sebelum transpor MG pada variasi MG pada limbah buatan	89
51. Massa membran setelah transpor MG pada variasi MG pada limbah buatan	89
52. % LM <i>loss</i> transpor MG pada variasi MG pada limbah buatan.....	89

53. Ketebalan membran PIM pada variasi pH fasa sumber	90
54. Ketebalan membran PIM pada variasi konsentrasi HNO_3 fasa penerima.....	90
55. Ketebalan membran PIM pada variasi ketebalan membran.....	90
56. Ketebalan membran PIM pada variasi konsentrasi senyawa pembawa.....	91
57. Ketebalan membran PIM pada waktu transpor	91
58. Ketebalan membran PIM pada variasi MG pada limbah buatan	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur <i>malachite green</i>	6
2. Struktur eugenol.....	7
3. Struktur polieugenol.....	8
4. Reaksi polimerisasi eugenol menjadi polieugenol.....	9
5. Perbedaan membran (a) BLM, (b) ELM dan (c) SLM	11
6. Skema spektrofotometer UV-Vis.....	16
7. Hamburan elektron yang jatuh pada lembaran tipis.....	17
8. Morfologi hasil SEM serbuk polieugenol.....	18
9. Hasil spektrum FT-IR polieugenol.....	20
10. Spektra FT-IR polieugenol.....	20
11. Set alat transpor.....	23
12. Ilustrasi proses transpor pada MG.....	24
13. Diagram alir penelitian.....	28
14. a) Membran PIM dalam cetakan membran dan b) Membran PIM	29
sebelum transpor dengan senyawa pembawa polieugenol.....	29
15. Perbandingan spektra FT-IR dari (a) polieugenol (b) membran sebelum	
transpor (c) membran setelah transpor.....	31
16. Morfologi permukaan membran PIM (a) sebelum transpor dan (b) setelah	
transpor	34
17. Panjang gelombang maksimum <i>malachite green</i>	35
18. Pengaruh pH MG pada fasa sumber terhadap konsentrasi MG yang	
(%Cs: konsentrasi MG pada fasa sumber ; %Removal: konsentrasi MG pada	
fasa membran dan fasa penerima).....	36
19. Pengaruh konsentrasi HNO ₃ pada fasa penerima terhadap konsentrasi	
MG yang tertranspor (%Cs: konsentrasi MG pada fasa sumber, %Removal:	
konsentrasi MG pada fasa membran dan fasa penerima)	39
20. Pengaruh ketebalan membran PIM terhadap konsentrasi MG yang	
tertranspor (%Cs: konsentrasi MG pada fasa sumber, %Removal: konsentrasi	
MG pada fasa membran dan fasa penerima).....	41

21. Pengaruh konsentrasi pembawa membran PIM terhadap konsentrasi.....	43
MG yang tertransportasi (%Cs: konsentrasi MG pada fasa sumber, %Removal: konsentrasi MG pada fasa membran dan fasa penerima)	43
22. Pengaruh waktu transport membran PIM terhadap konsentrasi MG yang tertransportasi (%Cs: konsentrasi MG pada fasa sumber, %Removal: konsentrasi MG pada fasa membran dan fasa penerima).....	46
23. Perbandingan konsentrasi MG, logam Cu(II) dan logam Pb(II) yang terdapat pada fasa sumber dan fasa penerima.....	48
24. Morfologi permukaan membran setelah transport MG pada limbah buatan ..	49
25. Hasil spektrum EDS dari membran setelah transport MG pada limbah buatan	50
26. Perbandingan Spektra FT-IR membran setelah transport (a) Kontrol MG ...	51
(b) MG dan logam Cu(II) (c) MG dan logam Pb(II) dan (d) MG, logam Cu(II) serta logam Pb(II)	51
27. Kurva kalibrasi MG pada variasi pH fasa sumber	67
28. Kurva kalibrasi MG pada variasi konsentrasi fasa penerima.....	69
29. Kurva kalibrasi MG pada variasi ketebalan membran.....	71
30. Kurva kalibrasi MG pada variasi konsentrasi pembawa	72
31. Kurva kalibrasi MG pada variasi waktu transport	74
32. Kurva kalibrasi MG pada variasi transport MG pada limbah buatan	76
33. (a) Alat cetak membran (b) membran PIM sebelum transport.....	92
34. Transport MG variasi pH fasa sumber MG (a) sebelum transport dan (b) setelah transport.....	92
35. Transport MG variasi konsentrasi HNO ₃ pada fasa penerima (a) sebelum transport dan (b) setelah transport	93
36. Transport MG variasi ketebalan (a) sebelum transport dan (b)	93
setelah transport	93
37. Transport MG variasi konsentrasi senyawa pembawa (a) sebelum transport dan (b) setelah transport	93
38. Transport MG variasi waktu transport (a) sebelum transport dan (b) setelah transport	94
39. Transport MG variasi logam buatan (a) sebelum transport dan (b) setelah transport	94
40. Membran yang diperoleh sebelum transport variasi ketebalan membran.....	94
41. Membran yang diperoleh setelah transport variasi ketebalan	95
membran	95

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pewarna termasuk kontaminan yang terdapat dalam air limbah. Pewarna dalam konsentrasi rendah mudah dideteksi yang mempengaruhi kehidupan air serta jaringan makanan. Pewarna digunakan untuk mewarnai wol, kulit, dan kapas untuk mengobati infeksi jamur dan protozoa karena efektivitasnya, ketersediaan yang cukup banyak dan biaya relatif rendah dibandingkan dengan anti jamur lainnya. *Malachite Green* (MG) salah satu pewarna digunakan dalam produksi bahan tekstil dan produk kertas, namun demikian MG menjadi senyawa yang kontroversial karena dapat membahayakan sistem kekebalan tubuh, sistem reproduksi, sifat genotoksik dan karsinogenik. Kehadiran MG dalam air menyebabkan efek kesehatan yang serius seperti mutagenesis, teratogenesis, kromosom, respirasi toksisitas, dan karsinogenesis yang sangat bergantung pada waktu pemaparan, suhu dan konsentrasi pewarna (Ling *and* Suah, 2017).

Pewarna MG memiliki konsentrasi normal dalam air limbah nyata adalah sekitar 0,01 ppm. Menurut minimum *required performance limits* yang ditetapkan oleh Keputusan Komisi 2004/25/EC17, MG dalam daging dan produk makanan laut adalah 2,0 g/kg. Sedangkan, laporan yang disampaikan menurut *the Water Research Centre for the Department of the Environment, Transport, and the Regions of the United Kingdom* standar kualitas lingkungan rata-rata 500 µg/L MG untuk perlindungan kehidupan air tawar, meskipun tidak ada standar yang direkomendasikan untuk air minum (Mohamad *et al.*, 2021).

Pewarna MG dalam perairan dapat mengganggu proses kehidupan organisme perairan, dan sekaligus dapat mengancam kelestarian ekosistem akuatik. Limbah pewarna MG dapat dihilangkan dari perairan dengan beberapa teknik, seperti presipitasi, flokulasi, adsorpsi, pertukaran ion, dan membran cair (Ariyanto, 2009).

Metode membran cair (*liquid membrane*) adalah metode yang menggabungkan ekstraksi dengan pemisahan dalam satu fasa, jadi perpindahan massa yang tidak sama dalam pemisahan tidak dibatasi oleh kondisi seimbang (Kiswandono *et al.*, 2014). Pada metode membran cair, teknik pemisahan melibatkan senyawa pembawa sebagai senyawa yang akan memfasilitasi senyawa target (Kiswandono *et al.*, 2017). Pemisahan polutan menggunakan metode membran cair dapat dilakukan dengan *Bulk Liquid Membrane* (BLM) Rosly *et al.*, (2018), *Supported Liquid Membrane* (SLM) Kazemi *et al.*, 2014; Sun *et al.*, (2017), *Emulsion Liquid Membrane* (ELM) Balasubramanian and Venkatesan, (2012); Hasanoğlu, (2013), dan *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) (Benosmane *et al.*, 2018; Kiswandono *et al.*, 2012; Saka *et al.*, 2020).

Menurut Kiswandono *et al.*, (2022), membran PIM menunjukkan kemampuan kestabilan yang sangat baik jika dibandingkan dengan teknologi membran cair lainnya. Kelebihan lainnya dari membran PIM yaitu memiliki permukaan interfasial yang lebih luas, sangat selektif, kuat, mampu memisahkan senyawa secara efisien, dan proses pemisahan yang mudah. Membran PIM memiliki masa hidup yang lebih lama, dibandingkan dengan membran SLM. Hal ini disebabkan karena mekanisme transpor membran PIM bergantung dari komposisi membran dan homogenitas permukaan membran. Penelitian Sun *et al.*, (2017), penggunaan membran PIM dipilih karena termasuk metode ramah lingkungan yang mendukung *green chemistry*. Hal ini dikarenakan tidak menggunakan jumlah pelarut dalam jumlah besar dan hanya menggunakan pembawa dalam jumlah relatif sedikit.

Ling *and* Suah (2017), telah menggunakan membran PIM yang terdiri dari PVC sebagai polimer dasar, bis-(2-ethylhexyl) phosphate (B₂EHP) sebagai senyawa pembawa dan dioctyl phthalate (DOP) sebagai *plasticizer*. Persentase ekstraksi yang didapatkan mencapai efisiensi lebih dari 98%. PIM juga berhasil diterapkan untuk mengekstrak MG dari air limbah nyata sampel. Ashraf *et al.*, (2019), yang mengembangkan penerapan membran cair menggunakan membran SLM untuk pemulihan dan penghilangan selektif pewarna MG dari air limbah. Membran menunjukkan stabilitas yang baik pada kondisi optimum dan maksimum transpor dicapai dalam 8 jam waktu permeasi. Penelitian Soo *et al.*, (2021), mengenai limbah industri tekstil mengandung pewarna MG beracun dalam jumlah tinggi dengan metode PIM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran PIM mencapai kinerja terbaiknya dengan presentase ekstraksi MG sebesar 86,68%. Dalam penelitian ini, bis-(2-ethylhexyl) phosphate (B₂EHP) dan dioctyl phthalate (DOP) sebagai senyawa pembawa dan *plasticizer* serta polyvinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene (PVDF-co-HFP) digunakan sebagai polimer dasar untuk PIM.

Syarat polimer dalam proses membran cair untuk fasa membran yaitu harus mempunyai berat molekul yang tinggi, bersifat lipofilik dan mempunyai struktur yang memungkinkan terjadinya pembentukan ikatan, interaksi atau kompleks dengan senyawa yang akan ditranspor. Salah satu bahan alam yang potensial untuk dikembangkan menjadi suatu jenis polimer yaitu eugenol.

Eugenol merupakan salah satu komponen kimia yang terdapat dalam minyak daun cengkeh. Eugenol dalam daun cengkeh ini dapat digunakan sebagai bahan awal sintesis suatu senyawa karena mengandung tiga gugus fungsional yaitu gugus alil, eter, dan fenol (Anwar, 2007). Oleh karena itu, eugenol dapat dipolimerisasi menjadi polieugenol dan senyawa turunannya. Polieugenol yang terbentuk ini memenuhi syarat sebagai membran karena memiliki berat molekul yang tinggi, memiliki sisi aktif -OH dan cincin benzena, sehingga diharapkan mampu berfungsi sebagai media transpor yang selektif.

Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan Studi Transpor MG menggunakan *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) dengan *Polyeugenol* sebagai Senyawa Pembawa. Penelitian ini terdiri dari rangkaian studi transpor MG meliputi pembuatan membran PIM, pengukuran konsentrasi MG, variasi pH MG pada fasa sumber, variasi konsentrasi HNO₃ pada fasa penerima, variasi ketebalan membran, variasi waktu transpor, dan studi kompetisi transpor MG pada limbah buatan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan transpor *Malachite Green* menggunakan senyawa pembawa polieugenol dengan metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM).
2. Melakukan uji kompetisi transpor antara *Malachite Green* dengan logam berat Cu(II) dan Pb(II) pada limbah buatan.
3. Melakukan karakterisasi membran PIM sebelum dan sesudah transpor menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR).

1.3 Manfaat Penelitian

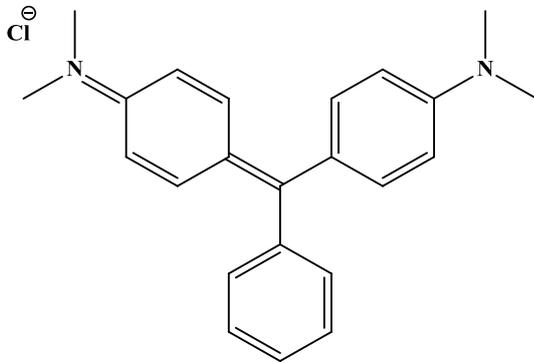
Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah informasi baru tentang pemanfaatan polieugenol sebagai senyawa pembawa dalam transpor *Malachite Green*
2. Memberikan kontribusi untuk mengurangi limbah zat warna khususnya *Malachite Green* di lingkungan perairan serta menambah nilai ekonomis dari eugenol.
3. Menambah wawasan baru dalam pemanfaatan polimer dalam bidang analisis kimia.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Malachite Green

Malachite green (MG) ($C_{23}H_{26}N_2Cl$) merupakan senyawa kimia yang bersifat toksik. MG memiliki nama lain, yaitu 4-[(4-dimetilaminofenil)-fenil-metil]-N,N-dimetil-anilin, atau secara komersil disebut juga *Basic Green 4*, *Victoria Green B*, *Aniline Green*, dan *Diamond Green B* (Bhernama, 2017). MG adalah pewarna larut air yang muncul sebagai bubuk kristal hijau dan dirancang untuk pewarnaan sutra, kertas dan kulit (Raval *et al.*, 2017). Berikut merupakan struktur dari MG yang tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur *malachite green* (Ling and Suah, 2017)

Pewarna MG termasuk zat warna dasar tekstil. MG mempunyai warna yang paling cemerlang dibandingkan pewarna sintesis lainnya dan termasuk pewarna yang berbahaya jika terdapat di lingkungan. MG memiliki warna dasar yang bersifat kationik yang mempunyai muatan positif. Berikut adalah sifat fisikokimia dari pewarna MG yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik zat warna MG

Parameter	Nilai
Rumus molekul	$C_{23}H_{25}N_2Cl$
Berat molekul	364,9 g/mol
Indeks warna	42000
Nomor CAS	2437-29-8
Sifat	Zat warna kationik
pH	8,5
Warna	Biru kehijauan

(Ling *and* Suah, 2017).

MG sebagai zat warna organik juga berfungsi sebagai parasitisida antiprotozoa dan fungisida. MG sebagai fungisida digunakan untuk mencegah perkembangan jamur *oomycete* pada ikan dan telur ikan. MG yang digunakan sebagai anti protozoa pada ikan akan tetap bersifat racun akut dan kronis, karsinogenesis, dan mutagenesis. MG menjadi senyawa yang kontroversial disebabkan resiko kepada konsumen ikan. Resiko yang terjadi berupa kerusakan sistem kekebalan tubuh, dan sistem reproduksi (Bhernama, 2017). Kadar MG yang diperbolehkan di perairan pada limbah nyata sebesar 0,01 ppm. Hasil tes laboratorium menunjukkan bahwa tikus yang memakan MG pada konsentrasi 100 ppm selama lebih dari 2 tahun menunjukkan adanya tanda-tanda tumor (Sukmawati dan Utami, 2014).

Penelitian Bhernama (2017), mengenai degradasi MG yang menghasilkan persen degradasi MG yang dihasilkan dengan penambahan TiO_2 -anatase 0,0250 gram dengan presentase 99,77% dan ZnO 0,0250 gram dengan presentase 93,59%. Sedangkan, menurut Ling *and* Suah (2017), mengenai menghilangkan MG menggunakan metode PIM. Hasil menunjukkan bahwa rata-rata persen ekstraksi yang dicapai untuk MG adalah >98% dan >96%, untuk kedua sampel air limbah 50 mg/L dan 100 mg/L.

2.2 Eugenol

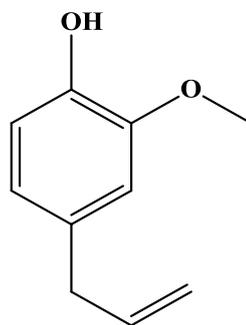
Eugenol ($C_{10}H_{12}O_2$), dengan nama IUPAC 2-metoksi-4-(2-propenil) fenol dikelompokkan dalam alilbenzena dari senyawa fenol. Eugenol merupakan komponen kimia dalam minyak cengkeh yang memiliki bau dan aroma khas minyak cengkeh dengan presentase kelimpahan 79%-90% (Ketaren, 1985).

Eugenol dikelompokkan dalam alilbenzena dari senyawa fenol. Berat molekul 164,20 g/mol dengan titik didih 250- 255°C. Eugenol berwarna bening hingga kuning pucat, kental seperti minyak. Eugenol sedikit larut dalam air namun mudah larut pada pelarut organik (alkohol, eter dan kloroform). Eugenol memberikan bau dan aroma yang khas pada minyak cengkeh, berbau keras, dan mempunyai rasa pedas. Eugenol mudah berubah menjadi kecoklatan apabila dibiarkan di udara terbuka (Towaha, 2012). Sifat fisikokimia eugenol dan spesifikasi eugenol dalam perdagangan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat fisikokimia eugenol

Parameter	Nilai
Berat jenis (g/cm^3)	1,06
Indeks bias ($25^\circ C$)	1,53-1,54
Titik didih ($^\circ C$)	256
Warna	Kuning pucat
Aroma	Aroma cengkeh

(Walkowiak *et al.*, 2007).

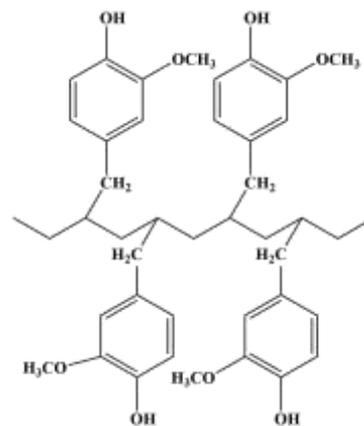


Gambar 2. Struktur eugenol (Muktiarti, 2011)

Struktur eugenol (Gambar 2) mempunyai gugus hidroksi, metoksi dan alil sehingga dapat digunakan sebagai dasar sintesis senyawa lain. Adanya gugus

hidroksi pada eugenol dapat dimanfaatkan dalam reaksi esterifikasi dan alkilasi. Sastrohamidjojo (2008), telah melakukan reaksi esterifikasi terhadap eugenol dengan memanfaatkan gugus hidroksi tersebut, diantaranya adalah sintesis eugenol asetat dan eugenol sinamat. Menurut Sohilait *et al.*, (2008), hasil metilasi dan pemurnian eugenol menjadi metileugenol telah berhasil disintesis oleh dengan rendemen 70%.

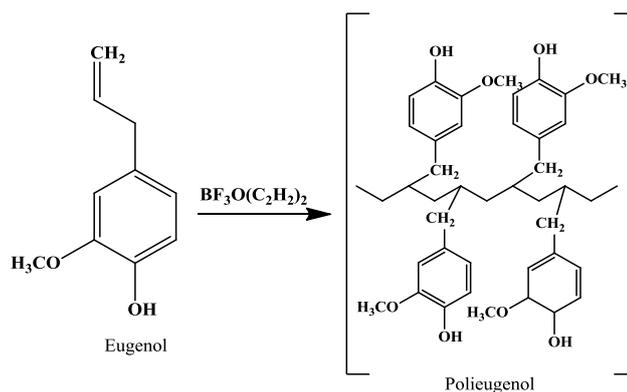
Reaksi polimerisasi dengan bahan baku senyawa alam seperti eugenol merupakan suatu hal yang relatif baru untuk dilakukan. Eugenol dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam sintesis kopoli eugenol yang dapat digunakan sebagai senyawa pembawa dalam transpor membran cair. Syarat polimer yang digunakan sebagai senyawa pembawa pada fasa membran yaitu mempunyai berat molekul yang tinggi serta memiliki struktur yang memungkinkan terjadinya interaksi dengan senyawa yang akan ditranspor (Muktiarti, 2011). Struktur dari polieugenol dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur polieugenol (Muktiarti, 2011)

Polimerisasi eugenol merupakan polimerisasi adisi kationik, hal ini dikarenakan gugus vinil dari polieugenol mengalami reaksi adisi. Reaksi polimerisasi menggunakan katalis $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ terjadi melalui tahapan: inisiasi, propagasi, dan terminasi. Pada tahap inisiasi, katalis asam lewis $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ menyebabkan reaksi adisi. Tahap inisiasi merupakan tahap pembentukan karbokation. Karbokation terbentuk karena adanya pemutusan ikatan rangkap pada gugus vinil dari eugenol. Karbokation ini mengalami penataan ulang yaitu terjadi pergeseran

hidrida-1,2 yang menghasilkan karbokation lebih stabil. Pada tahap propagasi, terjadi pembentukan rantai dari monomer eugenol. Proses ini berkelanjutan sampai diperoleh rantai polimer yang panjang. Dalam tahap ini terjadi penataan ulang intermolekuler dari karbokation. Pada tahap terminasi dilakukan penambahan metanol untuk menghentikan pertumbuhan rantai (Ketaren, 1985). Berikut reaksi polimerisasi eugenol menjadi polieugenol pada Gambar 4.



Gambar 4. Reaksi polimerisasi eugenol menjadi polieugenol (Ketaren, 1985)

Penelitian mengenai polimerisasi eugenol telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu, baik dengan katalis $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ maupun H_2SO_4 . Setyowati (2008) melakukan polimerisasi eugenol menggunakan katalis $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$. Rendemen polieugenol yang dihasilkan adalah 80,24% dengan berat molekul 1737,64 g/mol. Ulumuddin *et al.*, (2009), telah melakukan polimerisasi eugenol menggunakan katalis $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ dan memperoleh rendemen 70%-80%, kemudian Handayani (2006), telah melakukan sintesis yang sama tetapi menggunakan katalis H_2SO_4 dengan beberapa perbandingan mol antara eugenol dan H_2SO_4 . Rendemen yang dihasilkan dari sintesis ini adalah 19% - 69,32%.

Sintesis turunan polieugenol telah dilakukan oleh Harwati (2006), yaitu sintesis polieugenoloksiasetat dan telah diaplikasikan sebagai selektivitas terhadap $\text{Cu}(\text{II})$, kemudian Harimu *et al.*, (2012) juga telah melakukan sintesis polieugenoloksiasetat dengan rendemen 68,9%, dan diaplikasikan untuk ekstraksi ion logam $\text{Fe}(\text{III})$, $\text{Cr}(\text{III})$, $\text{Cu}(\text{II})$, $\text{Ni}(\text{II})$, $\text{Co}(\text{II})$ dan $\text{Pb}(\text{II})$. Sedangkan, penelitian Sudarlin dan Haryadi (2017), mengenai polimerisasi eugenol dari minyak daun cengkeh,

eugenol dari minyak daun cengkeh hasil redistilasi, ekstraksi, dan fraksinasi dipolimerisasi menggunakan katalis asam sulfat pekat dengan rendemen sebesar 88,14% dan rendemen polieugenol yang dihasilkan melebihi 100% karena senyawa lain dalam minyak daun cengkeh belum dapat dihilangkan.

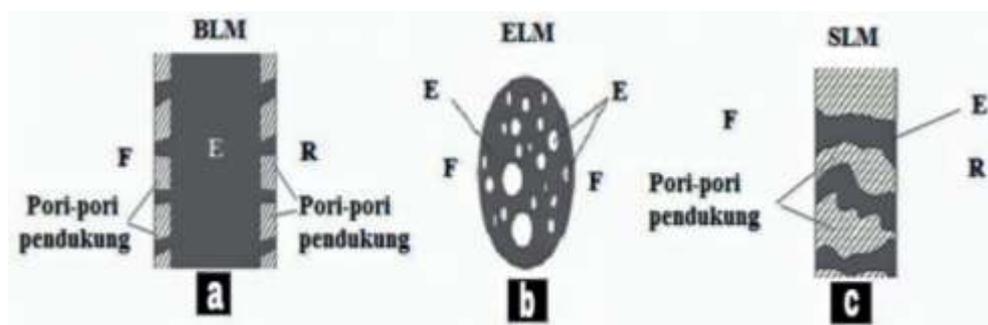
Menurut Maslahat dan Kiswando (2011), jika jumlah partikel polieugenol meningkat, artinya sisi aktif –OH dan cincin benzena semakin banyak sehingga interaksi fenol-polieugenol melalui ikatan hidrogen dan interaksi π semakin banyak. Semakin banyak jumlah mol polieugenol akan mengakibatkan penurunan transpor fenol. Hal ini dikarenakan sisi aktif dari polieugenol sangat banyak, sehingga tidak sebanding dengan jumlah partikel fenol, akibatnya sisi aktif saling menutupi. Hal lain, akan terjadi kompetisi antara polieugenol yang jumlahnya tidak sebanding dengan jumlah fenol yang ada, sehingga kemungkinan fenol berinteraksi dengan sisi aktif polieugenol menjadi lebih kecil, akhirnya berdampak terhadap berkurangnya jumlah fenol yang tertransportasi.

2.3 Teknologi Membran

Membran adalah lapisan semipermeabel yang tipis dan berfungsi sebagai penghalang antara dua fasa. Jika senyawa dari suatu campuran berpindah melewati membran lebih cepat dari campuran senyawa lainnya, maka penggunaan membran ini akan menyempurnakan proses pemisahan (Kislik, 2010). Membran berfungsi untuk memisahkan suatu material berdasarkan ukuran dan bentuk molekul, menahan komponen dari umpan yang memiliki ukuran yang lebih besar dari pori-pori membran dan melewatkan komponen dengan ukuran yang lebih kecil. Larutan yang mengandung suatu komponen yang tertahan disebut konsentrat dan larutan yang mengalir disebut permeat pada proses pemisahan menggunakan membran cair (Agustina, 2006).

Berdasarkan struktur dan prinsip pemisahan, membran dibedakan menjadi 3 jenis yaitu membran berpori (*porous membrane*), membran tidak berpori (non porous membran) dan membran cair (*liquid/pembawa membrane*). Membran cair

sangat menarik dalam hal pemisahan dan efektif pada berbagai aplikasi. Proses pemisahan dengan membran cair dapat dilakukan pada suhu kamar, tidak bersifat destruktif dan dapat dikombinasikan dengan proses lainnya tanpa penambahan zat lain. Membran cair terbagi menjadi tiga, yaitu membran cair ruah (BLM), membran cair emulsi (ELM) dan membran cair berpendukung (SLM) (Mulder, 1996). Ada lima jenis membran cair yaitu membran cair emulsi (ELM), membran cair berpendukung gel (*Gelled Supported Liquid Membrane, GSLM*), membran cair polimer (*Polymer Liquid Membrane, PLM*), membran cair ruah (BLM) dan membran cair berpendukung (SLM) (Wang *et al.*, 2017); (Kislik, 2010). Selanjutnya, membran tersebut dapat diaplikasikan untuk pemisahan solut dengan metode PIM berbasis polimer dasar *polyvinyl chloride* (PVC) dan dibenzil eter (DBE) sebagai *plasticizer* (Kiswandono *et al.*, 2013). Bentuk dari membran cair dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbedaan membran (a) BLM, (b) ELM dan (c) SLM. (F merupakan fasa sumber, R merupakan fasa penerima dan E adalah membran) (Kiswandono, 2014).

Teknologi pemisahan membran bersifat efisien, sederhana, memiliki selektivitas yang tinggi serta aman bagi lingkungan. Pemisahan dengan membran tergolong hal yang baru dan cepat berkembang. Membran tidak hanya penting dalam proses biologi, namun telah berkembang dan digunakan dalam dunia industri, seperti dalam proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi (Kislik, 2010). Pada membran cair, proses transpor tidak dipengaruhi oleh membran atau material membran, melainkan oleh senyawa pembawa yang sangat spesifik. Senyawa pembawa yang mengandung membran berada di dalam pori membran. Selektifitas membran bergantung kepada senyawa pembawa yang digunakan (Elma, 2016).

Keunggulan teknologi pemisahan menggunakan membran dibandingkan dengan teknologi pemisahan lainnya yaitu:

1. Energi yang digunakan cukup rendah sehingga ekonomis, karena pemisahan menggunakan membran tidak melibatkan perubahan fasa. Perubahan fasa seperti pada distilasi membran walaupun ada, tetapi temperatur yang digunakan jauh lebih rendah daripada titik didih larutan yang akan dipisahkan
2. Pemisahan dapat dilakukan secara kontinyu
3. Tidak membutuhkan bantuan zat kimia dan tidak ada tambahan produk buangan
4. Bersifat modular artinya kapasitas proses pada modul membran dapat ditingkatkan dengan memperbanyak unitnya
5. Dapat digabungkan dengan jenis operasi lainnya (*hybrid processing*)
6. Dapat dilakukan variasi pada komponen membran sesuai kebutuhan (Agustina, 2006).

Mekanisme transpor senyawa melewati membran cair dibagi menjadi beberapa tahap:

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

Ling *and* Suah (2017), telah melakukan transpor MG dengan metode PIM menggunakan senyawa B₂EHP sebagai senyawa pembawa, DOP sebagai *plasticizer* serta PVC sebagai polimer dasar. Hasil penelitian menunjukkan transpor sangat efektif yang menghasilkan persen transpor sebesar 98%. Penelitian Kiswandono *et al.* (2010), melakukan studi transpor fenol menggunakan metode PIM menggunakan senyawa pembawa polieugenol dengan hasil persentase transpor fenol sebesar 72,6% pada waktu 72 jam.

2.4 *Polymer Inclusion Membrane (PIM)*

Metode PIM merupakan salah satu metode membran cair yang mampu meningkatkan kestabilan membran karena dua hal, yaitu adanya polimer dasar dan *plasticizer*. Polimer dasar misalnya *polyvinyl chloride* (PVC) pada membran diharapkan dapat mengatasi kebocoran dari senyawa pembawa. *Plasticizer* misalnya dibenzil eter (DBE) pada membran berfungsi untuk membuat sistem membran menjadi lebih stabil (Dzygiel and Wieczorek, 2010). PIM telah diakui memiliki stabilitas yang baik karena tingkat kebocoran senyawa pembawa pada saat proses transpor sangat kecil (rendah) dibandingkan dengan membran cair SLM (Nghiem *et al.*, 2006).

Membran PIM melibatkan transpor selektif dan menargetkan zat terlarut (senyawa target) dari satu larutan melalui membran yang memisahkan antara fasa sumber dan fasa penerima. Membran PIM terdiri dari polimer pendukung, molekul pembawa dan *plasticizer*. Pemakaian PVC pada membran akan menstabilkan membran dengan cara menahan molekul pembawa agar tetap berada pada membran. Modifikasi menggunakan PVC untuk pembentukan gel merupakan keuntungan dari metode PIM (Kislik, 2010).

Ada tiga langkah utama karakteristik transpor senyawa target dari fasa sumber ke fasa penerima dalam PIM, yaitu:

- Tahap pertama, yaitu senyawa target yang telah menyebar pada fasa antar muka fasa sumber-membran, akan berikatan dengan senyawa pembawa membentuk kompleks. Setelah kompleks terbentuk, lalu diangkut melintasi fasa antar muka ini dan akan digantikan oleh molekul lain dari senyawa pembawa.
- Tahap kedua, yaitu kompleks berdifusi melalui membran menuju ke fasa penerima.
- Tahap akhir, yaitu pada fasa antarmuka membran- fasa penerima, kompleks terdisosiasi dan senyawa target dilepaskan ke fasa penerima. Kemudian di

fasa penerima senyawa target ditarik oleh anion untuk membentuk garam (Huidong *et al.*, 2009).

Menurut penelitian Ulfia *et al.*, (2011), faktor yang berpengaruh dalam PIM adalah viskositas, semakin kecil viskositas semakin mudah cairan mengalir sehingga ada ketergantungan terhadap gaya intermolekuler antar molekul cairan. Semakin kuat gaya tarik intermolekuler biasanya akan memperbesar viskositas. Jika semakin pekat larutan atau semakin besar viskositas larutan maka semakin kuat gaya tarik intermolekulernya, sehingga mengakibatkan sulitnya ion logam dalam larutan untuk berdifusi, karena ikatan ion logam dengan matriksnya sangat kuat. Hal ini menyebabkan sulitnya kemampuan senyawa pembawa untuk memutus ikatan ion logam dengan matriksnya.

Penelitian Ling *and* Suah (2017), menggunakan metode PIM untuk ekstraksi MG, menunjukkan bahwa proses ekstraksi berhasil dilakukan. Metode ini menggunakan PIM yang terdiri dari PVC sebagai polimer dasar, B₂EHP sebagai senyawa pembawa dan DOP sebagai *plasticizer*. Persentase ekstraksi yang didapatkan mencapai efisiensi lebih dari 98%.

2.5 Analisis dan Karakterisasi

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

2.5.1 Spektrofotometer UV-Vis

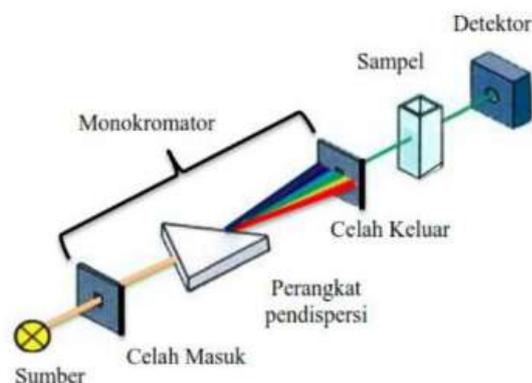
Spektrofotometri UV-Vis adalah pengukuran serapan cahaya di daerah ultraviolet (200-400 nm) dan sinar tampak (400-800 nm) oleh suatu senyawa. Serapan cahaya UV atau Vis (cahaya tampak) mengakibatkan transisi elektronik, yaitu promosi elektron dari orbital keadaan dasar yang berenergi rendah ke orbital keadaan tereksitasi berenergi lebih tinggi. Cahaya yang diserap oleh suatu zat berbeda dengan cahaya yang ditangkap oleh mata manusia. Cahaya yang tampak

atau cahaya yang dilihat dalam kehidupan sehari-hari disebut warna komplementer. Misalnya suatu zat akan berwarna oranye bila menyerap warna biru dari spektrum sinar tampak dan suatu zat akan berwarna hitam bila menyerap semua warna yang terdapat pada spektrum sinar tampak (Nur dan Adjuawana, 1989).

Pada spektro UV-Vis, molekul hanya menyerap radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang yang khas (spesifik untuk molekul tersebut). Absorpsi cahaya ultraviolet (radiasi berenergi tinggi) mengakibatkan berpindahannya suatu elektron ke orbital yang lebih tinggi. Radiasi elektromagnetik yang dipancarkan menyerupai partikel yang disebut foton. Energi foton berbanding terbalik dengan panjang gelombang. Radiasi dengan panjang gelombang lebih pendek mempunyai energi yang lebih tinggi, sehingga foton dari cahaya UV mempunyai energi yang lebih tinggi dibandingkan foton gelombang radio (Fessenden dan Fessenden, 1997).

Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis adalah bila cahaya (monokromatik maupun campuran) jatuh pada suatu medium homogen, sebagian dari cahaya masuk akan dipantulkan, sebagian diserap dalam medium itu dan sisanya diteruskan. Nilai yang keluar dari cahaya yang diteruskan dinyatakan dalam nilai absorbansi karena memiliki hubungan dengan konsentrasi sampel. Hukum *Lambert Beer* menyatakan nilai absorbansi cahaya berbanding lurus dengan konsentrasi dan ketebalan bahan atau medium (Nur dan Adjuawana, 1989).

Sumber sinar polikromatis untuk sinar UV adalah lampu deuterium, sedangkan sinar tampak adalah lampu wolfram. Monokromator pada spektrofotometer UV-Vis menggunakan lensa prisma dan filter optik. Sel sampel berupa kuvet yang terbuat dari kuarsa atau gelas dengan lebar yang bervariasi. Detektor berupa detektor foto atau detektor panas atau detektor dioda foto, yang berfungsi menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel dan mengubahnya menjadi arus listrik. Arus listrik yang terbaca akan ditampilkan oleh monitor. Skema spektrofotometer UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 6.



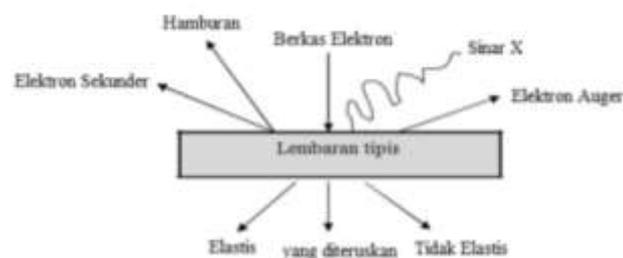
Gambar 6. Skema spektrofotometer UV-Vis (Skoog, 2000)

Menurut penelitian Ling *and* Suah (2017), panjang gelombang maksimum yang digunakan untuk mengukur MG pada UV-Vis yaitu sebesar 617 nm. Sedangkan, menurut Abdullah *et al.*, (2022) untuk mengukur panjang gelombang maksimum dari zat warna organik untuk absorbansi awal untuk yaitu 0,502 dan panjang gelombang maksimum sebesar 526 nm. Penelitian Bhernama (2017), pengukuran serapan maksimum MG dilakukan dengan mengukur absorbansi MG pada panjang gelombang 200-800 nm, dan didapatkan panjang gelombang maksimum sebesar 618,07 nm.

2.5.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

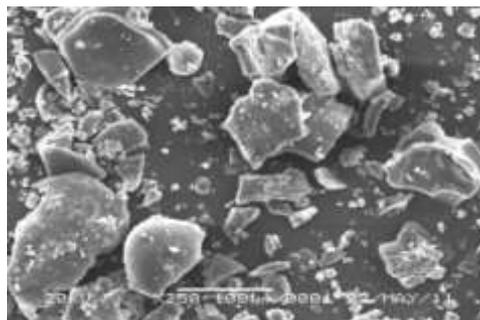
Metode analisis yang sangat penting dalam karakterisasi morfologi polimer adalah metode analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang berfungsi untuk analisis morfologi atau menggambarkan permukaan suatu objek atau material dengan perbesaran 10- 3.000.000 kali, kedalaman medan (*depth of field*) 4–0,4 mm, dan resolusi sebesar 110 nm. SEM bekerja dengan memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) dipermukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan cara mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek SEM dilengkapi dengan mikroskop optik yang digunakan untuk mempelajari tekstur, topografi, dan sifat permukaan bubuk atau padatan dan karena ketajaman fokus dari alat SEM sehingga gambar yang dihasilkan memiliki kualitas tiga dimensi (Nur dan Adjuawana, 1989).

Prinsip kerja dari SEM ini adalah dengan menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas elektron yang dipantulkan dengan energi tinggi. Permukaan material yang disinari atau terkena berkas elektron akan memantulkan kembali berkas elektron atau dinamakan berkas elektron sekunder kesegala arah. Interaksi berkas elektron dengan spesimen akan menghasilkan pola difraksi elektron yang dapat memberikan informasi mengenai monografi ataupun topografi permukaan serta jenis unsur dan distribusinya. Semua berkas elektron yang dipantulkan terdapat satu berkas elektron dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detektor yang terdapat di dalam SEM akan mendeteksi berkas elektron berintensitas tertinggi yang dipantulkan oleh benda atau material yang dianalisis. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1 – 0,2 nm (Nur dan Adjuawana, 1989). Interaksi dengan atom dalam spesimen menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X dan elektron auger, yang semuanya dapat digunakan untuk mengkarakterisasi material (Smallman, 2000). Berikut ini adalah gambaran mengenai hamburan elektron apabila mengenai specimen disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hamburan elektron yang jatuh pada lembaran tipis (Smallman, 2000).

Menurut Kiswandono (2014), karakterisasi morfologi serbuk polieugenol dan turunannya yang terbentuk yang kemudian dianalisis menggunakan SEM seperti yang tersaji pada Gambar 8. Hasil SEM menunjukkan bahwa serbuk polieugenol dan turunannya memiliki pola morfologi yang sama dan hampir seragam. Bentuk morfologi pada kedua polimer tersebut terlihat saling lepas antara satu partikel dengan partikel yang lainnya.



Gambar 8. Morfologi hasil SEM serbuk polieugenol (Kiswandono, 2014).

2.5.3 Spektrofotometri *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR)

Spektrofotometri infra merah merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 0,75 – 1.000 μm atau pada bilangan gelombang 13.000 – 10 cm^{-1} . Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR) pada dasarnya adalah sama dengan spektrofotometer IR, perbedaannya terdapat pada sistem optik FT-IR digunakan radiasi *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER) yang berfungsi sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi infra merah agar sinyal radiasi infra merah yang diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik (Giwangkara, 2006).

Karakterisasi senyawa polimer dapat dilakukan dengan spektrofotometer inframerah. Spektrofotometer inframerah merupakan teknik yang digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah dari absorbansi, emisi, foto konduktivitas atau Raman *Scattering* dari sampel padat, cair, dan gas. Prinsip kerja FT-IR berupa inframerah yang melewati celah ke sampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel. Beberapa inframerah diserap oleh sampel dan yang lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar inframerah lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer (Thermo, 2001).

Tujuan karakterisasi dengan menggunakan FT-IR yaitu untuk mengetahui jenis vibrasi antar atom. FT-IR juga digunakan untuk menganalisis senyawa organik dan anorganik serta analisis kualitatif dan analisa kuantitatif dengan melihat

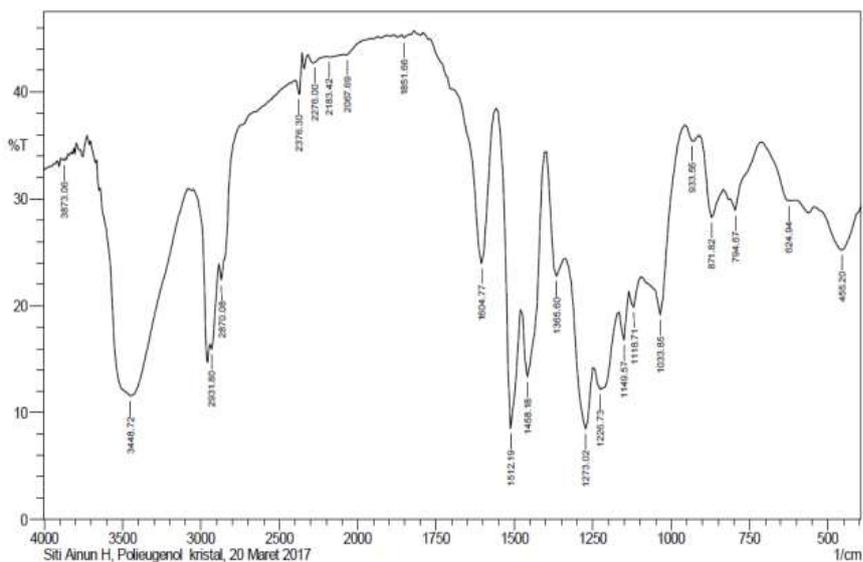
kekuatan absorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu (Hindryawati dan Alimuddin, 2010). Frekuensi radiasi elektromagnetik untuk senyawa organik pada inframerah akan diserap sebagian atau seluruhnya. Penyerapan ini berhubungan dengan adanya perubahan momen dipol dari ikatan kovalen pada waktu terjadinya vibrasi (Supriyanto, 1999).

Senyawa organik memiliki gugus fungsi tertentu yang menunjukkan bilangan gelombang yang khas pada spektrum FT-IR. Pada penelitian eugenol dan divinil benzen digunakan sebagai bahan dasar pembentuk senyawa pembawa dalam transpor fenol. Eugenol memiliki beberapa gugus fungsional, yaitu alil ($-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$), gugus hidroksi ($-\text{OH}$) dan metoksi ($-\text{OCH}_3$). Bilangan gelombang beberapa gugus fungsi lainnya pada FT-IR dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Daftar bilangan gelombang FT-IR dari berbagai jenis ikatan (Litani *et al.*, 2008)

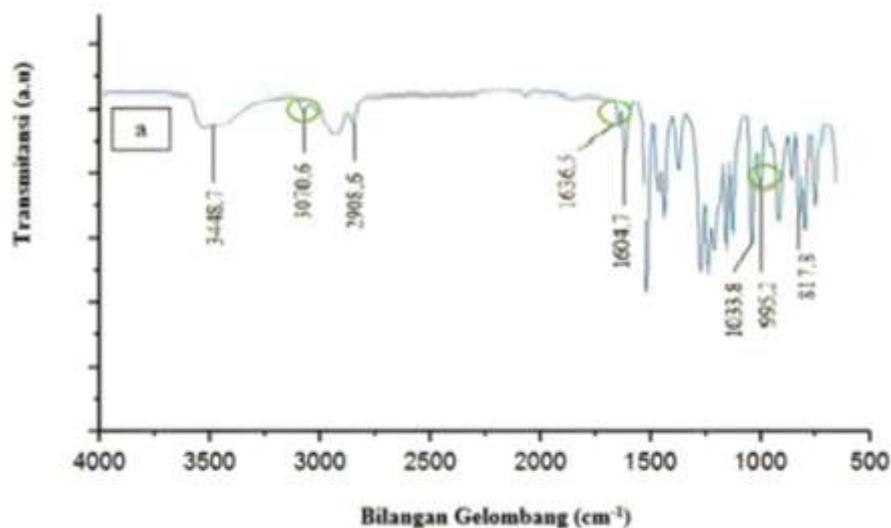
Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Jenis Ikatan
3750-3000	Regangan O–H dan N–H
3000-2700	Regangan $-\text{CH}_3$, $-\text{CH}_2$, C–H dan C–H aldehyd
1900-1650	Regangan C=O (asam, aldehyd, keton, amida, ester dan anhidrida)
1675-1500	Regangan C=C (aromatik dan alifatik) dan C=N
1475-1300	C–H <i>bending</i>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

Menurut penelitian Hikmah *et al.*, (2018), hasil spektrum FT-IR polieugenol (Gambar 9) menunjukkan adanya serapan lebar pada bilangan gelombang 3448,72 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus hidroksil ($-\text{OH}$). Pada spektrum FT-IR eugenol gugus $-\text{OH}$ terletak pada bilangan gelombang 3518,16 cm^{-1} .



Gambar 9. Hasil spektrum FT-IR polieugenol (Hikmah *et al.*, 2018)

Menurut Kiswandono *et al.*, (2022), hasil FT-IR eugenol memiliki gugus yang khas yaitu senyawa aromatis tersubstitusi 1, 2, 4 yang ditunjukkan oleh pita serapan pada bilangan gelombang $817,82 \text{ cm}^{-1}$. Serapan pada bilangan gelombang $995,27 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan C–H gugus tak jenuh vinil ($\text{CH}=\text{CH}_2$), pita serapan $1033,85 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya regangan gugus eter ($-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$) dan serapan pada $3448,72 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus $-\text{OH}$. Selain itu, terdapat serapan pada $1636,5 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan regangan gugus alil untuk $\text{C}=\text{C}$ dan regangan Csp_3-H pada bilangan gelombang $2908,65 \text{ cm}^{-1}$. Hasil FT-IR polieugenol dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Spektra FT-IR polieugenol

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2022 sampai dengan Maret 2023 di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi senyawa pembawa polieugenol dan membran PIM menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (ZEISS EVO MA 10) dan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) (Perkin Elmer 99951) dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung. Analisis MG menggunakan Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu 1800 *Double Beam*) dilakukan di Laboratorium Botani, Jurusan Biologi, FMIPA Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah *magnetic stirrer*, *magnetic bar*, neraca digital analitik (*Galaxy HR-150A 152g x 0,1mg*), pipet tetes, spatula, corong pisah, statif dan klem, *chamber* berdiameter 3,5 cm dengan kapasitas 50 mL, mortal dan alu, pH meter (*Water Taster EZ-9901*), gelas ukur, gelas beaker, aluminium foil, tisu, batang pengaduk, spatula, labu bundar, labu ukur, cetakan membran, tisu, *thickness gauge* (Mitutoyo 7301 *Dial Thickness Gauge 0-10 mm*), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (ZEISS EVO MA 10), dan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) (JSM 6360LA).

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *malachite green*, polieugenol, akuades, akuabides, *polyvinyl chloride* (PVC), dibenzileter (DBE), tetrahidrofuran (THF), HNO₃, PbCO₃, dan Cu(NO₃)₂.

3.3 Optimasi Transpor *Malachite Green*

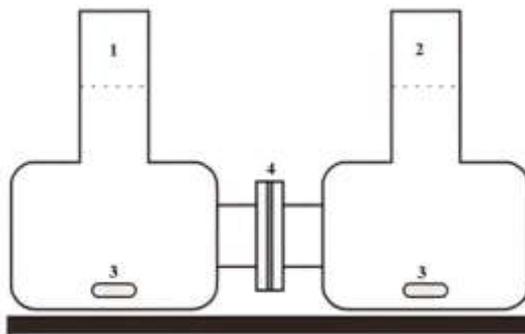
3.3.1 Pembuatan Membran PIM (*Polymer Inclusion Membrane*)

Membran PIM dicetak (dibuat) dengan berat total 0,27; 0,54 dan 1,08 g dalam suatu cetakan yang telah dilengkapi dengan *spin bar*. Jumlah bahan atau komponen penyusun membran yang diperlukan yaitu polieugenol sebagai senyawa pembawa, PVC sebagai polimer dasar, dan DBE sebagai *plasticizer* terlihat pada Tabel 4. Tetrahidrofur (THF) sebanyak 10 mL digunakan pada setiap membran PIM yang berfungsi sebagai pelarut untuk penghomogenan campuran dalam cetakan, kemudian membran dapat digunakan setelah tiga hari dari pembuatan membran.

Tabel 4. Perbandingan komponen pembentuk membran (10:32:58) (Nghiem, 2006).

Membran	Polieugenol (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

Setelah dihasilkan membran PIM, kemudian membran diukur ketebalannya menggunakan *thickness gauge*. Sebelum membran PIM digunakan, membran ditimbang untuk mengetahui berat awal membran tersebut. Selanjutnya, membran PIM digunakan untuk proses transpor MG yang dilakukan pada *chamber*. Fasa sumber berisi larutan MG 25 ppm dan fasa penerima berisi HNO₃ yang berperan sebagai senyawa pengikat. Karakterisasi membran sebelum dan sesudah transpor dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) EDX. Proses transpor dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Set alat transpor. 1) Fase sumber; 2) Fase penerima; 3) *spin bar*; 4) Membran PIM (Kiswando *et al.*, 2012)

3.3.2 Pembuatan Larutan Induk *Malachite Green*, Pembuatan Limbah Buatan dan Pengukuran Konsentrasi *Malachite Green*

a. Pembuatan larutan induk *Malachite Green* (MG) 1000 ppm

Larutan induk MG 1000 ppm dibuat dengan cara dilarutkan 1 g MG dalam 1000 mL akuabides.

b. Pembuatan limbah buatan 25 ppm

Limbah buatan yang mengandung MG, logam Pb(II), dan logam Cu(II) dibuat dengan cara dimasukkan 0,0025 g MG, 0,0098 g $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dan 0,0032 g $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ dalam labu ukur 100 mL, kemudian ditambahkan akuabides sampai tanda tera.

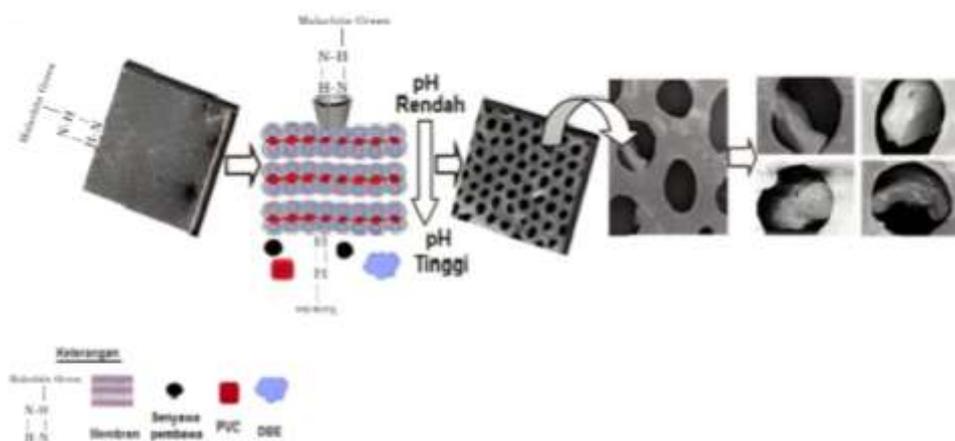
c. Pengukuran Konsentrasi *Malachite Green* (MG)

Sebelum pengukuran konsentrasi MG, terlebih dahulu ditentukan panjang gelombang maksimum MG 25 ppm menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 400 nm sampai 800 nm.

Selanjutnya, konsentrasi MG pada larutan standar, fasa sumber, dan fasa penerima diukur dengan cara diambil masing-masing 5 mL. Larutan sampel diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.3.3 Variasi pH *Malachite Green* pada Fasa Sumber

Membran PIM dengan ketebalan normal (T_{54}) yang sudah dicetak dan mengandung senyawa pembawa diletakkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL HNO_3 1 M sebagai fasa penerima dan masing-masing 50 mL MG 25 ppm sebagai fasa sumber dengan pH yang telah divariasikan yaitu 5,0; 6,0; 7, 8,0 dan 9,0. Pipa transpor ditutup dan diaduk selama 24 jam dengan pengaduk magnet. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya sebanyak 5 mL. Konsentrasi MG yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Berikut adalah contoh ilustrasi pada proses transpor dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Ilustrasi proses transpor pada MG (Kiswandono *et al.*, 2012)

3.3.4 Variasi Konsentrasi HNO_3 pada Fasa Penerima

Membran PIM dengan ketebalan normal yang sudah dicetak dan mengandung senyawa pembawa diletakkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL HNO_3 sebagai fasa penerima dan 50 mL MG 25 ppm dengan pH optimum sebagai fasa sumber. Variasi konsentrasi HNO_3 pada fasa penerima adalah 0,50; 0,75; 1,00; 1,25 dan 1,50 M. Pipa transpor ditutup dan diaduk selama 24 jam dengan pengaduk magnet. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya sebanyak 5 mL. Konsentrasi MG yang terdapat di

dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.3.5 Variasi Ketebalan Membran

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

3.3.6 Variasi Konsentrasi Senyawa Pembawa

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

Tabel 5. Variasi konsentrasi senyawa pembawa

Membran	Polieugenol (g)	PVC (g)	DBE (g)	Berat Total (g)
1	0,0164	0,1728	0,3132	0,5380
2	0,0328	0,1728	0,3132	0,5400
3	0,0540	0,1728	0,3132	0,5420
4	0,0657	0,1728	0,3132	0,5440
5	0,0821	0,1728	0,3132	0,5460

3.3.7 Variasi Waktu Transpor

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

Setelah didapatkan hasil dan data transpor kemudian ditentukan kinetika transpor meliputi permeabilitas (P), fluks (J), koefisien rejeksi (R), persen *recovery* (%R) dan persen *removal* (%RE) pada transpor *malachite green*. Perhitungan seperti terlihat pada formula 1, 2, 3, 4, dan 5 (Gherasim *et al.*, 2011).

$$\% Recovery = \frac{C_{\text{penerima}}}{C_{0 \text{ sumber}}} \times 100 \quad (1)$$

Keterangan :

%*Recovery* = % *Malachite green* yang terdapat di dalam fase penerima
 $C_{0 \text{ sumber}}$ = Konsentrasi awal *malachite green* di dalam fase sumber (ppm)
 C_{penerima} = Konsentrasi *malachite green* di dalam fase penerima (ppm)

$$\% Removal = \left(\frac{C_{0 \text{ sumber}} - C_{\text{sumber}}}{C_{0 \text{ sumber}}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Keterangan :

%*Removal* = % *Malachite green* yang terdapat di dalam fase penerima
 $C_{0 \text{ sumber}}$ = Konsentrasi awal *malachite green* di dalam fase sumber (ppm)
 C_{sumber} = Konsentrasi *malachite green* di dalam fase sumber (ppm)

$$\text{Permeabilitas membran } P \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = - \frac{V_f}{A \times t} \ln \frac{[C]_t}{[C]_0} \quad (3)$$

Keterangan:

V_f	= Volume fluida (m^3)
A	= Luas permukaan membran (m)
t	= Waktu (jam)
$[C]_t$	= Konsentrasi fasa penerima pada waktu t
$[C]_0$	= Konsentrasi permeat (konsentrasi <i>malachite green</i> yang ada pada fase sumber)

$$\text{Fluks (J)} \quad J = V/A.t \quad (4)$$

Keterangan :

J	= Fluks ($L/m^2 \cdot \text{Jam}$)
V	= Volume sampel (L)
A	= Luas permukaan membran (m^2)
t	= Waktu (jam)

$$\text{Koefisien Rejeksi (R)} = \left(1 - \frac{C_p}{C_t} \right) \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan :

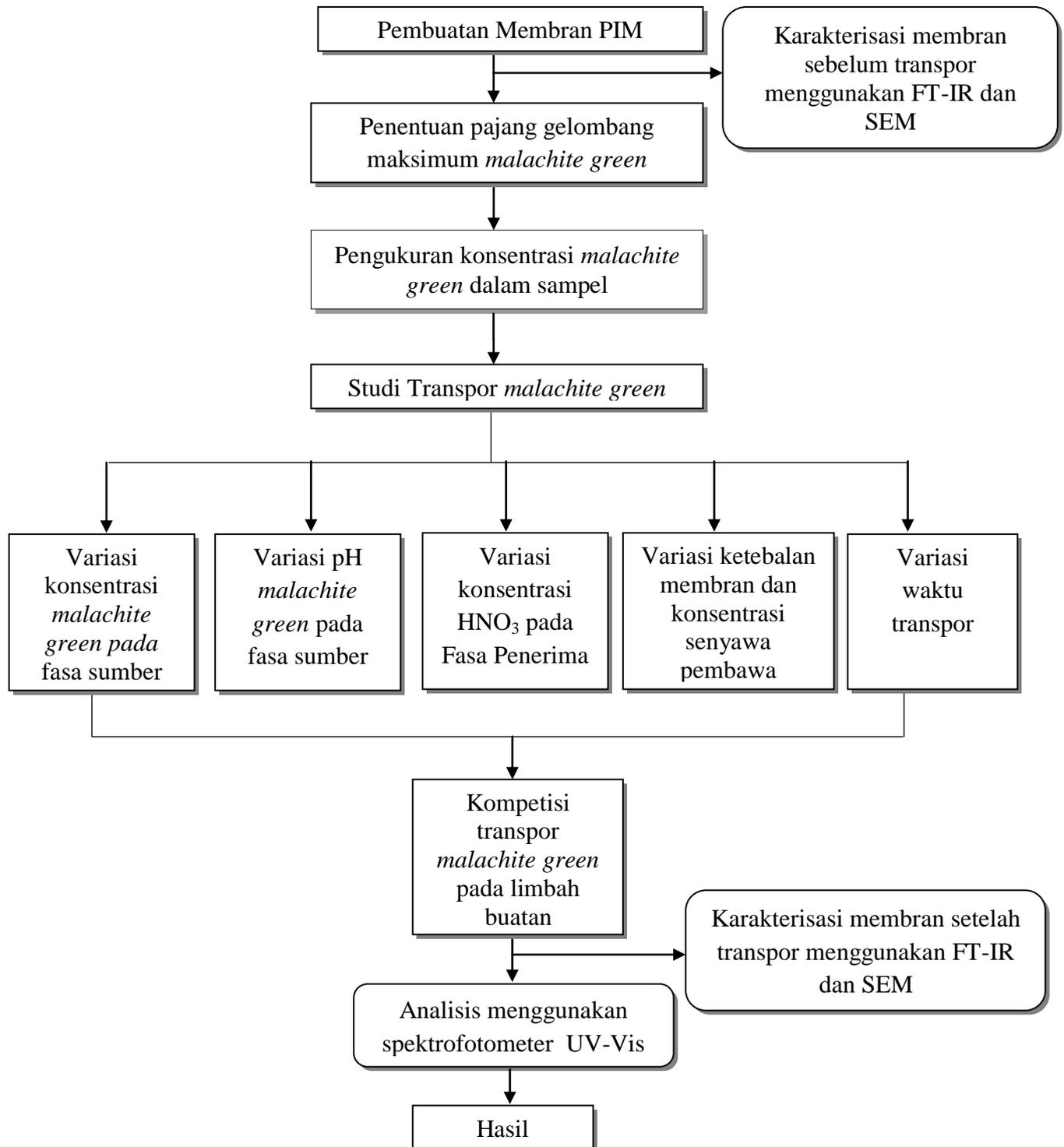
R	= Koefisien rejeksi
C_p	= Konsentrasi permeat (konsentrasi <i>malachite green</i> yang ada pada fasa penerima saat t optimum)
C_t	= Konsentrasi <i>malachite green</i> pada fasa sumber saat t optimum

3.3.8 Studi Kompetisi Transpor *Malachite Green* pada Limbah Buatan

Sampel limbah buatan dibuat dengan mencampurkan MG, $Cu(NO_3)_2$ dan $PbCO_3$ dengan konsentrasi masing-masing 25 ppm. Selanjutnya, dilakukan transpor menggunakan membran PIM dengan ketebalan optimum yang sudah dicetak. Membran diletakkan di tengah-tengah pipa transpor. Kemudian dimasukkan 50 mL limbah buatan sebagai fasa sumber dan 50 mL HNO_3 sebagai fasa penerima dengan kondisi optimum. Setelah itu, pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet pada fasa sumber dan fasa penerima selama waktu optimum pada suhu kamar. Setelah selesai diaduk, diambil sampel fasa sumber dan fasa penerima sebanyak 5 mL. Konsentrasi MG di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis, sementara membran setelah proses transpor variasi logam Cu(II) dan Pb(II) dilakukan karakterisasi menggunakan SEM EDX.

3.4 Diagram Penelitian

Diagram alir dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. 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 7, konsentrasi fasa penerima HNO_3 optimum 0,75 M dengan ketebalan membran T_{54} (ketebalan normal) menggunakan konsentrasi senyawa pembawa 0,04 M selama waktu transpor 24 jam dengan jumlah MG yang tertranspor dari fasa membran menuju fasa penerima (*%removal*) sebesar 89,09%.
2. Variasi kompetitor logam Cu(II) dan Pb(II) terhadap proses transpor mengganggu MG untuk tertranspor dari fasa membran 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 penerima yang lebih tinggi (*%Cp*) dengan menggunakan senyawa pembawa yang lain. Selain itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai transpor MG dengan beberapa logam kompetitor selain logam Cu(II) dan Pb(II) menggunakan *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) dengan senyawa pembawa polieugenol.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., Peechmani, P., Hafiz, M., Othman, D., and Hafiz, M. 2022. Removal Of Organic Dye in Wastewater Using Polyethersulfone Hollow Fiber Membrane. *Applied Membrane Science And Technology Journal*, 26(2), 29-42.
- Agustina, S. 2006. Teknologi Membran Dalam Pengolahan Limbah Cair. *Bulletin Penelitian*, 28(1), 18-24.
- Anwar, C. 2007. *The Conversion of Eugenol Into more Valuable Substances*. Disertasi FMIPA UGM. Yogyakarta.
- Ariyanto, E. 2009. Adsorption Malachite Green On Natural Zeolite. *Jurnal Reaktor*, 12(3), 161-165.
- Ashraf, W. M., Abulibdeh, N., and 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), 1-9.
- Balasubramanian, A., and Venkatesan, S. 2012. Removal Of Phenolic Compounds From Aqueous Solutions by Emulsion Liquid Membrane Containing Ionic Liquid [BMIM]⁺[PF₆]⁻ In Tributyl Phosphate. *Desalination*, 289, 27-34.
- Benosmane, N., Boutemur, B., Hamdi, S. M., and Hamdi, M. 2018. Removal Of Phenol From Aqueous Solution Using Polymer Inclusion Membrane Based On Mixture Of CTA And CA. *Applied Water Science*, 8(1), 3-8.
- Bhernama, B. G. 2017. Degradasi Zat Warna Malachite Green Secara Ozonolisis Dengan Penambahan Katalis TiO₂ Anatase Dan ZnO. *Elkawanie*, 3(1), 1-10.
- Damayanti, A., dan Aufiyah. 2013. Pengolahan Limbah Laundry Menggunakan Membran Nanofiltrasi Aliran Cross Flow Untuk Menurunkan Kekeruhan Dan Fosfat. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(2), 98-103.
- Dzygiel, P., and Wieczorek, P. 2010. *Liquid Membranes: Principles and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment, Chapter 3: Supported Liquid Membranes and Their Modifications: Definition, Classification, Theory, Stability, Application and Perspectives, First edition*.

Radarweg Press. Amsterdam.

- Elma, M. 2016. *Proses Pemisahan Menggunakan Teknologi Membran*. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarmasin.
- Fan, J., Y. Fan, Y. Pei, K. Wu, J. Wang, and M. Fan. 2008. Solvent Extraction of Selected Endocrine-Disrupting Phenols Using Ionic Liquids. *Purification Technology*, 61, 324-331.
- Fessenden, R. J., dan Fessenden, J. S. 1997. *Dasar - Dasar Kimia Organik Terjemahan Oleh S. Waun*. Bina Aksara. Jakarta.
- Ferraz, G., Nichols, J.D., Hines, J.E., Stouffer, P.C., Bierregaard, R.O., Lovejoy, T.E. 2007. *A Large-Scale Deforestation Experiment Effects of Patch Area and Isolation on Amazon Birds*. American Association For The Advancement Of Science. Washington DC.
- Gherasim, C.V., Bourceanu, G., dan Timpu, D. 2011. Experimental and Modeling Studies of Lead (II) Sorption Onto a Polyvinyl-Chloride Inclusion Membrane. *Chemical Engineering Journal*, 172, 817 -827.
- Giwangkara, S.E. 2006. *Analisis Sidik Jari Minyak Bumi Menggunakan Spektrofotometer Infra Merah Transformasi Fourier (FT-IR)*. Sekolah Tinggi Energi dan Mineral. Jawa Tengah.
- Handayani, W. 2006. Sintesis Polieugenol Dengan Katalis Asam Sulfat. *Jurnal Ilmu Dasar*, 2(2), 103-110.
- Harimu, L., Matsjeh, S., Siswanta, D., dan Santosa, S. 2012. Sintesis Policugenol Oksiasetat Sebagai Pengemban Untuk Pemisahan Ion Logam Berat Fe (III), Cr(III), Cu(II), Ni(II), Co(II) dan Pb(II) Menggunakan Metode Ekstraksi Pelarut. *Indo. J. Chem.*, 9(2), 261-266.
- Hasanoğlu, A. 2013. Removal of Phenol from Wastewaters Using Membrane Contactors: Comparative Experimental Analysis of Emulsion Pertraction. *Desalination*, 309, 171-180.
- Harwati, T. 2006. *Sintesis Asam Poli(Eugenil oksiasetat) dan Studi Selektivitasnya Terhadap Cu(II) dalam Transport Membran Cair Kloroform (Tesis)*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Hikmah, S., Erwin, S., dan Musafira. 2018. Sintesis Dan Karakteristik Polieugenol Dari Eugenol Menggunakan Katalis $H_2SO_4 - CH_3COOH$. *Jurnal Kovalen*. 4(3), 285-296.
- Hindryawati, N., dan Alimuddin. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi dengan Menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH). *Jurnal Kimia Mulawarman*, 7, 75-77.
- Huidong, Z. 2009. Instability Mechanisms of Supported Liquid Membrane for

fenol Transport. *Chemical Industry and Engineering Society of China (CIESC) and Chemical Industry Press (CIP)*. 17(5) 750-755.

- Iqbal, M., & Datta, D. (2019). Competitive removal of malachite green and Rhodamine-B using Amberlite-XAD-4 impregnated with Aliquat 336: experimental and modelling studies. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*. 1(2), 1-17.
- Ketaren, S. 1985. *Pengantar Teknologi Minyak Atsiri*. Balai Pustaka. Jakarta.
- Kazemi, P., Peydayesh, M., Bandegi, A., Mohammadi, T., and Bakhtiari, O. 2014. Stability and Extraction Study of Phenolic Wastewater Treatment by Supported Liquid Membrane Using Tributyl Phosphate and Sesame Oil as Liquid Membrane. *Chemical Engineering Research and Design*, 92(2), 375-383.
- Kislik, V.S. 2010. *Liquid Membranes Principles and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment*. Elsevier. Inggris.
- Kiswandono, A.A. 2014. *Kajian Transpor Fenol Melalui Membran Berbasis Polieugenol Tertaut Silang Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane (PIM) Disertasi*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Kiswandono, A. A., Hadi, S., Mudasir, Sinjia, F., Sari, M. Y., dan Irfan, M. 2019. Copoly Eugenol Crosslinked Dialylphthalate 8% As A Pembawa In Phenol And Pb(II) Metal Transport. *Journal of Physics Conference Series*, 1338, 1-8.
- Kiswandono, A.A., Siswanta, D., dan Aprilita, N.H. 2010. Studi Transpor Fenol dengan Menggunakan Membran Cair Polieugenol. *Prosiding Seminar Nasional*. FKIP Jurusan Kimia Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Kiswandono, A. A., Siswanta, D., Aprilita, N. H., dan Santosa, S. J. 2012. Transport Of Phenol Through Inclusion Polymer Membrane (PIM) Using Copoly (eugenol-DVB) As Membrane Pembawa. *Indonesian Journal of Chemistry*, 12(2), 105-112.
- Kiswandono, A. A., Siswanta, D., Aprilita, N. H., Santosa, S. J., dan Hayashita, T. 2013. Extending The Life Time Of Polymer Inclusion Membrane Containing Copoly (eugenol-DVB) As Pembawa For Phenol Transport. *Indonesian Journal of Chemistry*, 13(3), 254-261.
- Kiswandono, A. A., Siswanta, D., Aprilita, N. H., Santosa, S. J., dan Hayashita, T. 2014. The Capability of Copoly (Eugenol-Divinylbenzene), Co-EDVB As A Pembawa Of Phenol Transport With Polymer Inclusion Membrane (PIM). *Journal of Environmentally Friendly Processes*, 2(2), 57-68.

- Kiswandono, A. A., Widiarto, S., Sari, D., Supriyanto, R., Qudus, H. I., Rinawati, R., Rahmawati, A., dan Devariani, W. 2022. Kompetisi Fenol Pada Limbah Buatan Menggunakan Kopolimer Eugenol Divinil Benzena 10% Sebagai Senyawa Pembawa. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 18(1), 1-9.
- Kiswandono, A. A., Supriyanto., Nuryaman, A., Siswanta, D., Aprilita, N. H., dan Santosa, S. J. 2017. Sintesis Dan Uji Kemampuan Senyawa Co-EEGDMA Sebagai Senyawa Pembawa Pada Transport Fenol Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane. *Jurnal Penelitian Saintek*, 22 (2), 114-125.
- Kozłowski, J. 2007. Transport of Zn(II), Cd(II), and Pb(II) Across CTA Plasticized Membranes Containing Organophosphorous Acids As An Ion Pembawas. *Separation Purification Technology*, 57, 430-434.
- Ling, Y., and Suah, F. 2017. Extraction Of Malachite Green From Wastewater By Using Polymer Inclusion Membrane. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(1), 785-794.
- Litani, B., Sela, V., Bulatov, I., Zilberman, and Schechter, I. 2008. On Line Remote Prediction of Gasoline Properties By Combined Optical Methods. *Analytica Chimica Acta*, 2(1), 193-199.
- Maulana, E. 2019. *Analisis Minyak Zaitun, Sawit, Babi, dan Campuran Berbasis Data FT-IR*. Thesis UIN Malang. Malang.
- Maslahat, M., dan Kiswandono, A. A. 2011. Studi Transpor Senyawa Fenol Menggunakan Membran Cair Polieugenol Dengan Pelarut Diklorometana. *Jurnal Sains Natural Universitas Nusa Bangsa*, 1(2), 145-155.
- Mohamad, M., Wannahari, R., Mohammad, R., Shoparwe, N., Nawati, A., Lun, K., and Wei, L. 2021. Adsorption of Malachite Green Dye Using Spent Coffee Ground Biochar Optimisation Using Response Surface Methodology. *Jurnal Teknologi*, 83(1), 27-36.
- Muktiarti, N. 2011. *Transpor Fenol Melalui Supported Liquid Membrane (SLM) Berbasis Polyvinyl Chloride (PVC) Menggunakan Kopolimer (Eugenol-DVB) sebagai Molekul Pembawa (Skripsi)*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Mulder, M. 1996. *Basic Principle of Membranes Technology, 2nd edition*. Kluwer Academic Publisher. The Netherlands.
- Nghiêm, L., Mornane, P., Potter, J., Perera, R., Cattrall, and S. D. Kolev. 2006. Extraction and Transport of Metal Ions and Small Organic Compounds Using Polymer Inclusion Membranes (PIMs). *Journal of Membrane Science*. 281, 7-41.
- Nur, M., dan Adjuawana, H. 1989. *Teknik Spektroskopi dalam Analisis Biologis*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Purwasih, R. 2013. *Studi Transpor Fenol Menggunakan Polymer Inclusion*

Membrane (PIM) dengan Molekul Pembawa Kopoli (Eugenol-Dialil Ftalat) (Skripsi). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

- Raval, N., Shah, P., and Shah, N., 2017. Malachite Green A Cationic Dye and Its Removal From Aqueous Solution By Adsorption. *Applied Water Science*, 7(1), 347-352.
- Rosly, M., Othman, N., and Rahman, H. 2018. Liquid Membrane Component Selection for Removal of Phenol from Simulated Aqueous Waste Solution. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 22(4), 702-714.
- Saka, C., Kiswandono, A. A., and Hadi, S. 2020. Synthesis Of Polymer Inclusion Membranes Based On PVC Containing Copoly-EDVB 4% As A Pembawa For RemovalOf Phenol Solutions. *Pollution Research*, 39(4), 1009-1016.
- Sastrohamidjojo. 2008. *A Study of Some Indonesian Essensial Oil (Desertation)*. Gadjah Mada University. Yogyakarta.
- Setyowati, L. 2008. *Pengaruh Penambahan Divinil Benzena-(DVB) Pada Kopolimerisasi Kationik Eugenol-DVB Dan Sifat Pertukaran Kation Kopoligaramnya*. Tesis Kimia UGM. Yogyakarta.
- Sohilait, H.J., Sastrohamidjojo, H., Mattsjeh, S., and Grossert, J.S. 2008. Synthesis of Analog L-alfa-Dopa from Eugenol. *Indo. J. Chem*, 5(3), 198-202.
- Skoog, H. 2000. *Principles of Instrumental Analysis*. Saunders College Publishing. USA.
- Smallman, R. 2000. *Metalurgi Fisik Modern Edisi Keempat*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Soo, J., Shoparwe, N., Otitoju, T., Mohamad, M., Tan, L., Lian,S., Sanxi,L., and Makhtar, M. 2021. Characterization And Kinetic Studies Of Poly(Vinylidene Fluoride-co-Hexafluoropropylene) Polymer Inclusion Membrane For The Malachite Green Extraction. *Membranes*, 11(9), 1-24.
- Sudarlin, S., dan Haryadi, W. 2017. Polimerisasi Eugenol Minyak Daun Cengkeh Hasil Redistilasi, Ekstraksi, Dan Fraksinasi Menggunakan Katalis Asam Sulfat Pekat. *Jurnal Kimia Valensi*, 3(1), 50-58.
- Sukmawati, P., dan Utami, B. 2014. Adsorpsi Zat Pewarna Tekstil Malachite Green Menggunakan Adsorben Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao*) Teraktivasi HNO₃. *Prosiding Seminar Nasional Fisika Dan Pendidikan Fisika (SNFPF)*, 5, 19-25.
- Sun, H., Yao, J., Li, D., Li, Q., Liu, B., Liu, S., Cong, H., Sjak, V., and Feng, C., 2017. Removal Of Phenols From Coal Gasification Wastewater Through Polypropylene Hollow Fiber Supported Liquid Membrane. *Chemical*

Engineering Research and Design, 123, 277-283.

- Supriyanto, R. 1999. *Buku Ajar Kimia Analitik III*. FMIPA Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Thermo, N. 2001. *Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry*. Thermo Electron Co. USA.
- Towaha, J. 2012. Manfaat Eugenol Cengkeh dalam Berbagai Industri Di Indonesia, *Perspektif*, 11 (2), 79-90.
- Ulfia, K. N., Khabibi, K., dan 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.
- Ulumuddin, I., Djunaidi, M.C., dan Khabibi. 2009. *Pemisahan Kation Cu^{2+} , Cd^{2+} dan Cr^{2+} Menggunakan Senyawa Pembawa Poli(Metil Tiazol Etil Eugenoksi Asetat) Hasil Sintesis dengan Teknik BLM (Bulk Liquid Membrane)*. Kimia Analitik Jurusan Kimia Universitas Diponegoro.Semarang.
- Zhao, W., G. He, F. Nie, L. Zhang, H. Feng, and H. Liu. 2012. Membrane Liquid Loss Mechanism of Supported Ionic Liquid Membrane for Gas Separation. *Journal of Membrane Science*, 411, 73-80.
- Walker, S., Stevenson, B., Peterson, J., Donati, G., and Jones, B. 2016. Determining Micro- and Macro-Elements by Flame Atomic Absorption Spectrometry. *Chem Educator Journal*, 21(2), 264-272.
- Walkowiak, W., Ulewicz, M., and Kozlowski, C. A. 2007. Application of Macrocyclic Compounds For Metal Ions Separation and Removal – A Review. *Ars Separatoria Acta*, 1, 87-98.
- Wang, D., Hu, J., Liu, D., Chen, Q., Li, J. 2017. Selective Transport And Simultaneous Separation Of Cu(II), Zn(II), and Mg(II) using A Dual Polymer Inclusion Membrane System. *Journal of Membrane Science*, 5(24), 206-213.