

**STUDI TRANSPOR *MALACHITE GREEN* MENGGUNAKAN METODE  
*POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM)* DENGAN *COPOLY-*  
*EUGENOL DIVINIL BENZENA (Co-EDVB)* 2% SEBAGAI  
SENYAWA PEMBAWA**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Nurul Ulfa Safitri**



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

## ABSTRAK

### STUDI TRANSPOR *MALACHITE GREEN* MENGGUNAKAN METODE *POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM)* DENGAN *COPOLY-* *EUGENOL DIVINIL BENZENA (Co-EDVB) 2%* SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA

Oleh

**NURUL ULFA SAFITRI**

Penelitian mengenai studi transpor *malachite green* telah dilakukan menggunakan metode *polymer inclusion membrane (PIM)* dengan *copoly-eugenol divinil benzena (Co-EDVB) 2%* sebagai senyawa pembawa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui optimasi PIM dengan senyawa pembawa Co-EDVB 2% dengan mempelajari pengaruh pH *malachite green* pada fasa sumber, konsentrasi HNO<sub>3</sub> pada fasa penerima, ketebalan membran, konsentrasi senyawa pembawa dan waktu transpor *malachite green*, serta mempelajari kompetisi transpor *malachite green* pada limbah buatan. Membran dipreparasi dengan melarutkan senyawa pembawa Co-EDVB 2%, polivinil klorida dan dibenzil eter ke dalam pelarut tetrahidrofur (THF). Konsentrasi *malachite green* setelah transpor ditentukan dengan metode spektrofotometri UV-Vis dan absorbansinya diukur pada panjang gelombang  $\lambda=613$  nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran PIM dengan senyawa pembawa Co-EDVB 2% mampu mentranspor *malachite green* secara efektif sebesar 93,28% pada kondisi optimum: pH fasa sumber 7, konsentrasi fasa penerima 0,50 M, ketebalan membran PIM T<sub>54</sub>, dan waktu transpor 18 jam. Membran PIM sebelum dan setelah transpor dikarakterisasi menggunakan FTIR dan SEM. Transpor *malachite green* dengan logam Pb(II) dan Cu(II) menghasilkan konsentrasi *malachite green* yang ditranspor lebih kecil dibandingkan transpor *malachite green* tanpa logam sebesar 80,79%. Keberadaan logam kompetitor mengakibatkan adanya gangguan terhadap proses transpor *malachite green* dari fasa sumber ke fasa penerima.

**Kata kunci :** Co-EDVB, *malachite green*, PIM.

## **ABSTRACT**

### **TRANSPORT STUDY OF MALACHITE GREEN USING POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM) METHOD WITH COPOLY-EUGENOL DIVINYLBENZENE (Co-EDVB) 2% AS CARRIER COMPOUNDS**

By

**NURUL ULFA SAFITRI**

Research on the transport of malachite green has been carried out using the polymer inclusion membrane (PIM) method with copoly-eugenol divinyl benzene (Co-EDVB) 2% as a carrier. The study was aimed to determine the optimization of PIM with Co-EDVB 2% by studying the effect of malachite green pH on source phase, HNO<sub>3</sub> concentration on receiving phase, membrane thickness, carrier concentration, malachite green transport time, and the transport competition on artificial waste. The membrane was prepared by dissolving Co-EDVB 2%, polyvinyl chloride and dibenzyl ether into tetrahydrofuran. The concentration of malachite green was determined by UV-Vis spectrophotometry and its absorbance was measured at 613 nm. The results showed that the PIM with Co-EDVB 2% as a carrier was effectively able to transport malachite green by 93.28% under several optimum conditions: source phase pH 7, receiver phase concentration 0.50 M, T<sub>54</sub> type of PIM thickness, and the transport time 18 hours. The PIM membrane transports were characterized using FTIR and SEM. The transport of malachite green with Pb(II) and Cu(II) metals resulted a smaller concentration of malachite green (80.79%) than the transport without metals. The presence of competitor metals resulted an inhibition of malachite green transport process from source to receiver phase.

**Keywords** : Co-EDVB, malachite green, PIM

**STUDI TRANSPOR *MALACHITE GREEN* MENGGUNAKAN METODE  
*POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM)* DENGAN *COPOLY -*  
*EUGENOL DIVINIL BENZENA (Co-EDVB)* 2% SEBAGAI SENYAWA  
PEMBAWA**

Oleh

*Nurul Ulfa Safitri*

**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  
2023**

Judul Skripsi : **STUDI TRANSPOR MALACHITE GREEN MENGGUNAKAN METODE POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM) DENGAN COPOLY - EUGENOL DIVINIL BENZENA (Co-EDVB) 2% SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA**

Nama Mahasiswa : **Nurul Ulfa Safitri**

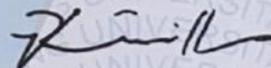
NPM : **1917011067**

Jurusan : **Kimia**

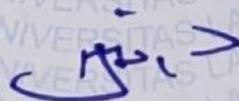
Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



  
**Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.**  
NIP. 19700705 200501 1 003

  
**Rinawati, S.Si., M.Si., Ph.D.**  
NIP. 19710414 200003 2 001

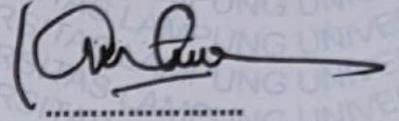
2. **Ketua Jurusan Kimia FMIPA**

  
**Mulyono, Ph.D.**  
NIP. 19740611 200003 1 002

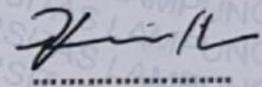
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

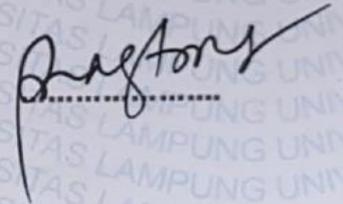
**Ketua : Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.**



**Sekretaris : Rinawati, S.Si., M.Si., Ph.D.**



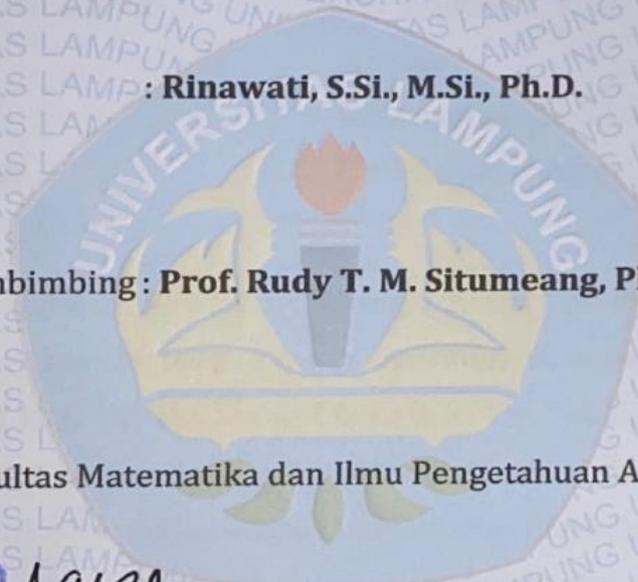
**Penguji  
Bukan Pembimbing : Prof. Rudy T. M. Situmeang, Ph.D.**



**2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

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

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 1 Agustus 2023**



## PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nurul Ulfa Safitri  
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011067  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “**Studi Transpor *Malachite Green* Menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane (PIM)* Dengan *Copoly - Eugenol Divinil Benzena (Co-EDVB) 2%* Sebagai Senyawa Pembawa” adalah hasil pekerjaan saya sendiri, dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau di terbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, serta dapat diterima sebagai persyaratan penyelesaian studi pada Universitas atau Institut lainnya.**

Bandar Lampung, 30 Juli 2023

Yang Menyatakan



Nurul Ulfa Safitri

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Nurul Ulfa Safitri, lahir di Bandar Lampung pada tanggal 20 Maret 2001, sebagai anak pertama dari empat bersaudara, putri dari pasangan Bapak Nurdin dan Ibu Sarmi. Saat ini, penulis bertempat tinggal di Jl. Tamin Gang Hi. Syafei, Kelurahan Sukajawa Baru, Kecamatan Tanjung Karang Barat, Kota Bandar Lampung, Lampung.

Penulis menyelesaikan pendidikan mulai dari SD Negeri 2 Sukajawa lulus pada tahun 2012, kemudian melanjutkan studi ke MTS N 1 Bandar Lampung lulus pada tahun 2016, dan selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMK SMTI Bandar Lampung lulus pada tahun 2019. Pada tahun yang sama penulis diterima sebagai mahasiswa di Jurusan Kimia Program Studi S1-Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Selama menempuh pendidikan di Jurusan Kimia, penulis pernah mengikuti organisasi dalam lingkup kampus sebagai salah satu wadah untuk mengembangkan potensi dan kemampuan diri. Organisasi yang pernah penulis ikuti yaitu Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) sebagai Kader Muda Himaki (KAMI) pada tahun 2019 dan anggota Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK) pada tahun 2020-2021. Selain itu, penulis mengikuti organisasi Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Penelitian pada tahun 2019 sebagai Kader, tahun 2020 sebagai anggota Departemen Riset dan Penalaran, tahun 2021 sebagai Sekretaris Departemen Riset dan Penalaran, dan tahun 2022 sebagai Kepala Departemen Riset dan Penalaran. Penulis juga mengikuti organisasi tingkat Wilayah, yaitu Ikatan Himpunan Mahasiswa Kimia Indonesia (Ikahimki) Wilayah 1 sebagai anggota Divisi Pendidikan.

Adapun prestasi yang telah penulis raih selama proses perkuliahan yaitu Pendanaan Program Kreativitas Mahasiswa – Riset Eksakta (PKM-RE) sebagai anggota 1 pada tahun 2021, Pendanaan Program Mahasiswa Wirausaha (PMW) sebagai Ketua Tim pada tahun 2021, Juara II Kompetisi Esai Nasional Universitas Lampung sebagai Ketua Tim pada tahun 2021, *Gold Medal* dalam kompetisi *Youth International Science Fair* (YISF) sebagai Ketua Tim pada tahun 2022, *Silver Medal* dalam kompetisi *Youth International Science Fair* (YISF) sebagai anggota 1 pada tahun 2022.

Penulis mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Kota Baru, Kecamatan Tanjung Karang Timur, Bandar Lampung pada tanggal 10 Januari 2022 hingga 18 Februari 2022. Penulis pernah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT Sumber IndahPerkasa Tbk pada 20 Juni 2022 hingga 29 Juli 2022 dengan judul Analisis *Utility* pada *Water Treatment Plant* (WTP), *Waste Water Treatment Plant* (WWTP), *Boiler*, dan Produksi. 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* (PIM) dengan *Copoly-Eugenol Divinil Benzene* (Co-EDVB) 2% Sebagai Senyawa Pembawa.

## ***MOTTO***

"Allah SWT tidak akan membebani seorang hamba melainkan sesuai dengan kemampuannya"  
(Q.S. Al-Baqarah: 286)

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan"  
(Q.S Al-Insyirah: 5-6)

"Be kind, be humble, be the love"  
(Penulis)

"Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkanku tidak akan pernah menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan pernah melewatkanku"  
(Umar bin Khattab)

"Masa-masa sulit juga harus dijalani sebagai bagian dari proses pendewasaan"  
(Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Atas rahmat Allah SWT dengan mengucap  
Alhamdulillahirabbil'alamin dan dengan segala kerendahan hati, Ku  
persembahkan karya terbaikku ini teruntuk:*

***Kedua orang tuaku,***

*Ayah Nurdin dan Ibu Sarmi yang telah menyayangi, merawat, mendidik,  
mengajarkan kebaikan, terimakasih atas segala materi, nasihat, kasih  
sayang, keringat dan air mata serta segala sesuatu yang sudah  
diberikan yang tiada berujung sehingga putrimu dapat menyelesaikan  
studi ini. Teruntuk adik-adikku tersayang, M. Ibnu Umar, Hikmatun  
Hasanah dan M. Ibnu Gholib terimakasih untuk segala doa kalian untuk  
tete, semoga kalian juga dapat dan dipenuhi segala hal baik di dunia*

*Aa Bagus Ramadhani beserta keluargaku alm ibu Hj.Maryam  
memberikan perhatian serta support dan doa untukku.*

*Dengan segala rasa hormat kepada Bapak Dr. Agung Abadi  
Kiswando, M.Sc., Ibu Rinawati, S.Si., M.Si., Ph.D. dan Bapak Prof.  
Rudy T.M. Situmeang, M.Sc., Ph.D. serta seluruh Dosen Pengajar yang  
telah membimbing dan mendidikku sampai menyelesaikan pendidikan  
Sarjana.*

*Keluarga, Saudara, Sahabat dan seluruh teman-temanku yang telah  
memberikan semangat, kebahagiaan dan pelajaran hidup serta telah  
menemani selama proses belajar dan pendewasaanku.*

*Almamater Tercinta  
Universitas Lampung*

## SANWACANA

*Alhamdulillahirrobbil'alamiin.* Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala nikmat yang telah menganugerahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam teruntuk Nabi Muhammad SAW, semoga kita termasuk umatnya yang mendapat *syafa'at* beliau di yaumul akhir kelak, *aamiin yarabbal'alamin.*

Skripsi yang berjudul “**Studi Transpor Malachite Green Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane (PIM) Dengan Copoly - Eugenol Divinil Benzena (Co-EDVB) 2% Sebagai Senyawa Pembawa**”, merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Dalam pelaksanaan dan penulisan skripsi ini tidak lepas dari kesulitan dan rintangan, namun itu semua dapat penulis lalui berkat bantuan, bimbingan, saran dan dorongan semangat dari orang-orang yang telah hadir di kehidupan penulis, *Jazakumullahu Khairan Katsiran Wa Jazakumullah Ahsanal Jaza*, Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah *Subhanalahu Wata'ala* atas limpahan rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orangtuaku, Bapak Nurdin dan Ibu Sarmi yang selalu menjadi kekuatan untuk terus berjuang meraih ridho Allah SWT, sukses *fiddunya wal akhirah*, dan selalu menjadi alasan terhebat agar terus bangkit dan berjuang dari kemalasan. Bapak dan Ibu terima kasih atas segala cinta, kasih sayang, dan pengorbanan yang telah diberikan untukku, segala upaya pun tak dapat membalas segala jasa-jasamu. Semoga Allah SWT hadiahkan *Jannah-Nya* untukmu, *Aamiin yaa Robbal'alamin.*

3. Bapak Prof. John Hendri, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dari awal penulis belajar hingga menyelesaikan studi di jurusan kimia FMIPA Unila. Semoga Allah SWT catat sebagai amal *jariyah* disisi-Nya dan melimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya dalam kehidupan bapak.
4. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Sc. selaku 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.
5. Ibu Rinawati, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku pembimbing II yang telah memberikan perhatian dengan penuh kelembutan, kesabaran, dan keikhlasan selama memberikan bimbingan penelitian. Sehingga penulis dapat menjalankan tanggung jawab terhadap diri sendiri dan orangtua. Semoga Allah SWT catat sebagai amal *jariyah* disisi-Nya dan dilimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya dalam kehidupan ibu.
6. Bapak Prof. Rudy T. M. Situmeang, M.Sc., Ph.D. selaku Pembahas dalam penelitian atas segala ilmu, masukan, dan nasihat yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga Allah SWT melimpahkan *rohman* dan *rohim*-Nya serta Allah SWT permudah dalam segala urusan bapak.
7. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
8. Bapak Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila atas segala ilmu, nasihat, arahan, motivasi, dan waktu yang telah diberikan selama penulis menempuh perkuliahan. Semoga Allah SWT catat dengan amal *jariyah* disisi-Nya dan melimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya dalam kehidupan bapak ibu.
9. Rasa syukur dan ucapan terimakasih kepada aa Bagus dan keluarga besar Hj. Maryam serta keluarga besarku, yang senantiasa memberikan doa tulus sehingga pada akhirnya gelar sarjana sains ini dapat diraih.

10. Teruntuk adik-adikku tercinta atas semua pelajaran, kebahagiaan, keikhlasan, doa, dan hal-hal baik lainnya terimakasih karena sudah menjadi penghibur dalam proses penulisan skripsi ini.
11. Rekan dan mentor terbaikku Dito terimakasih banyak untuk segala arahnya dari maba hingga selesainya skripsi ini.
12. Rekan kerja dan juga sahabatku selama penelitian dan bimbingan Dwiky, Ahda dan Ayu terimakasih untuk segala bantuan dan *back up* yang selama ini diberikan sehingga kita telah berproses dan menyelesaikan ini bersama. Pertemanan dan persaudaraan ini jangan usai yaa. Semoga Allah SWT memberikan balasan kebaikan pula.
13. Sahabatku Himardi La Tahla (Kanayla, Rara) terimakasih atas kebersamaan, kebahagiaan, serta dukungan dan motivasi kepada penulis. Semoga kita sukses selalu dan tidak usai disini.
14. Sahabatku Al x Nab (Ahda, Jihan, Rijah, Rara, Cella) terimakasih atas segala dukungan yang kalian berikan sangat berarti untuk kestabilan mental penulis.
15. Sahabat dan rekan kelasku Bismillah (Dito, Arya, Farich, Melati) terimakasih telah memberi warna pada proses perkuliahan ini.
16. Sahabat terbaikku (Nadya, Diah, Adel, Arinda, Widya, Dita, Pidah) terimakasih karena sudah menyediakan pundak untuk bersandar, telinga untuk mendengar tanpa menghakimi, pelukan hangat yang sangat menenangkan, terimakasih untuk segala hal-hal baik yang pernah kalian berikan.
17. Sahabat terlamaku (Hani dan Amel) atas segala semangat, do'a, dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis selama ini.
18. Terimakasih untuk anggota *Membrane Research* karena sudah mempersamai penelitian ini.
19. Terimakasih untuk keluarga besar UKM Penelitian Unila periode 2019-2021, atas warna dalam kehidupan berprestasi, berkompetisi, dan berkontribusi mengabdikan ke masyarakat. Terselip permohonan maaf untuk keluarga besar UKM Penelitian Unila periode 2022, pelajaran amat berharga akan menjadi bekal bagi penulis untuk terus berkarya.

20. Rekan rekan Himaki dan Ikahimki, terima kasih juga atas segala dedikasi dan cinta yang sudah diberikan atas nama pribadi penulis meminta maaf apabila selama menjadi anggota banyak melakukan salah dan tidak sempurna, semoga perjalanan selanjutnya dimudahkan oleh Allah SWT.
21. Keluarga besar Kimia angkatan 2019, kenangan atas segala hiburan, canda tawa, keluh kesah, dan semua proses yang sudah terbangun selama ini. *We are smart people, smart thinking, and good attitude.*
22. Keluarga besar kimia angkatan 2016-2022 untuk semangat dan motivasinya.
23. Semua orang-orang baik yang pernah penulis temui yang tidak dapat disebut satu per satu, terimakasih telah membersamai proses pendidikan dan pembelajaran serta penyelesaian skripsi ini.
24. Muhammad Hairulloh, terimakasih atas dukungan, semangat serta telah menjadi tempat berkeluh kesah, selalu ada suka dan duka dari awal penelitian hingga penyelesaian skripsi ini.
25. Almamater tercinta, Universitas Lampung.
26. Terakhir, kepada diri sendiri Nurul Ulfa Safitri yang sudah mampu berusaha, berjuang, sabar, kuat, dan semangat sejauh ini, mengendalikan diri dari berbagai tekanan dan rintangan didalam prosesnya. *I'm so proud of me.*

Atas segala kebaikan yang telah diberikan, semoga Allah SWT membalasnya dengan pahala yang berlipat-lipat ganda. Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna. Namun penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi rekan-rekan khususnya mahasiswa/i kimia serta pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, 30 Juli 2023

Penulis

**Nurul Ulfa Safitri**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan .....	5
1.3 Manfaat .....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 <i>Malachite Green</i> .....	6
2.2 Metode Penanganan Limbah <i>Malachite Green</i> .....	8
2.3 <i>Polymer Inclusion Membrane (PIM)</i> .....	9
2.4 Eugenol dan <i>Copoly Eugenol Divinil Benzena (Co-EDVB) 2%</i> .....	11
2.5 Mekanisme Transpor dan Senyawa Pembawa untuk Membran .....	16
2.6 Analisis dan Karakterisasi.....	17
2.6.1 Spektrofotometri Ultra Violet-Visible (UV-Vis) .....	17
2.6.2 <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> .....	19
2.6.3 <i>Fourier Transform Infra-Red (FT-IR)</i> .....	22
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>26</b>
3.1 Waktu dan Tempat .....	26
3.2 Alat dan Bahan.....	26
3.3 Metode Optimasi Transpor .....	27
3.3.1 Pembuatan Membran <i>Polymer Inclusion Membrane (PIM)</i> .....	27
3.3.2 Pembuatan Larutan Induk <i>Malachite Green</i> , Pembuatan Limbah Buatan dan Pengukuran Konsentrasi <i>Malachite Green</i> dalam Fasa Sumber.....	28
3.3.3 Variasi pH <i>Malachite Green</i> pada Fasa Sumber .....	28
3.3.4 Variasi Konsentrasi HNO <sub>3</sub> pada Fasa Penerima .....	29
3.3.5 Variasi Ketebalan Membran.....	29
3.3.6 Variasi Konsentrasi Senyawa Pembawa .....	30
3.3.7 Variasi Waktu Transpor .....	30

3.3.8 Studi Kompetisi Transpor <i>Malachite Green</i> pada Limbah Buatan	32
3.4 Diagram Alir .....	33
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>34</b>
4.1 Membran PIM Co-EDVB 2% .....	34
4.2 Larutan Induk <i>Malachite Green</i> , Limbah Buatan dan Pengukuran Konsentrasi <i>Malachite Green</i> dalam Fasa Sumber.....	39
4.3 Optimasi Transpor <i>Malachite Green</i> .....	40
4.3.1 Variasi pH pada Fasa Sumber .....	40
4.3.2 Variasi Konsentrasi HNO <sub>3</sub> pada Fasa Penerima.....	42
4.3.3 Variasi Ketebalan Membran.....	44
4.3.4 Variasi Konsentrasi Senyawa Pembawa .....	45
4.3.5 Variasi Waktu Transpor .....	47
4.3.6 Studi Kompetisi Transpor <i>Malachite Green</i> pada Limbah Buatan	49
4.4 <i>Liquid Membrane Loss</i> (LM loss).....	53
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>55</b>
5.5 Simpulan .....	55
5.1 Saran .....	56

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Sifat fisik dan kimia eugenol .....	13
2. Aplikasi metode PIM dibeberapa <i>plasticizer</i> , pelarut, dan senyawa pembawa.....	16
3. Perbandingan gugus fungsi hasil FTIR eugenol dengan Co-EDVB 10% .....	24
4. Perbandingan komponen pembentuk membran (10:32:58 ) .....	27
5. Variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	30
6. Berat total komponen, berat membran dan ketebalan membran PIM transpor.....	16
7. Perbandingan bilangan gelombang hasil FT-IR membran PIM sebelum dan setelah transpor <i>malachite green</i> .....	37
8. Perbandingan bilangan gelombang membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	52
9. Perbandingan % <i>removal malachite green</i> dan %LM <i>Loss</i> pada variasi pH fasa sumber .....	54
10. Absorbansi larutan standar <i>malachite green</i> pada variasi pH fasa sumber ....	72
11. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi pH .....	72
12. Data $\bar{x}$ , SD dan %RSD konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi HNO <sub>3</sub> .....	73
13. Absorbansi larutan standar <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi fasa penerima .....	74
14. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi fasa penerima .....	74

15. Data $\bar{x}$ , SD dan %RSD konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi HNO <sub>3</sub> .....	75
16. Absorbansi larutan standar <i>malachite green</i> pada variasi ketebalan membran .....	76
17. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi ketebalan membran.....	76
18. Data $\bar{x}$ , SD dan %RSD konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi ketebalan.....	77
19. Absorbansi larutan standar <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	77
20. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	78
21. Data $\bar{x}$ , SD dan %RSD konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	79
22. Absorbansi larutan standar <i>malachite green</i> pada variasi waktu transpor ....	79
23. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi waktu transpor .....	80
24. Data $\bar{x}$ , SD dan %RSD konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi waktu transpor .....	81
25. Absorbansi larutan standar <i>malachite green</i> pada variasi transpor <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	81
26. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan penerima pada variasi transpor <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	82
27. Data $\bar{x}$ , SD dan %RSD konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi transpor <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	83
28. Data transpor waktu .....	84
29. Massa membran sebelum transpor <i>malachite green</i> pada variasi pH fasa sumber .....	90
30. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada variasi pH fasa sumber .....	90
31. %LM loss transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi HNO <sub>3</sub> fasa penerima .....	91
32. Massa membran sebelum transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi HNO <sub>3</sub> fasa penerima .....	91
33. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi HNO <sub>3</sub> fasa penerima .....	91
34. %LM loss transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi HNO <sub>3</sub> fasa penerima .....	91

35. Massa membran sebelum transpor <i>malachite green</i> pada variasi ketebalan membran .....	92
36. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada variasi ketebalan membran .....	92
37. %LM <i>loss</i> transpor <i>malachite green</i> pada variasi ketebalan membran .....	93
38. Massa membran sebelum transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	93
39. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	93
40. %LM <i>loss</i> transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	94
41. Massa membran sebelum transpor <i>malachite green</i> pada variasi waktu transpor .....	94
42. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada variasi waktu transpor .....	94
43. %LM <i>loss</i> transpor <i>malachite green</i> pada variasi waktu transpor .....	95
44. Massa membran sebelum transpor <i>malachite green</i> pada variasi <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	95
45. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada variasi <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	95
46. %LM <i>loss</i> transpor <i>malachite green</i> pada variasi <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	96
47. Ketebalan membran PIM pada variasi pH fasa sumber .....	97
48. Ketebalan membran PIM pada variasi konsentrasi HNO <sub>3</sub> fasa penerima ....	97
49. Ketebalan membran PIM pada variasi ketebalan membran .....	97
50. Ketebalan membran PIM pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	98
51. Ketebalan membran PIM pada variasi waktu transpor .....	98
52. Ketebalan membran PIM pada variasi <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	98

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur <i>malachite green</i> .....	6
2. Struktur senyawa eugenol .....	12
3. Prediksi struktur Co-EDVB .....	14
4. Skema spektrofotometer UV-Vis.....	18
5. Skema SEM.....	20
6. Karakterisasi membran SEM PIM setelah pengangkutan dengan perbesaran 2000× (a) sebelum dan (b) setelah transpor .....	21
7. Skema FTIR .....	23
8. Spektra FTIR dari (a) eugenol dan (b) Co-EDVB 10% .....	24
9. Diagram alir penelitian .....	33
10. (a) Alat cetak membran PIM dan (b) membran PIM Co-EDVB 2% yang berhasil dibuat.....	35
11. Perbandingan spektra FT-IR (a) membran PIM sebelum transpor dan (b) membran PIM sesudah transpor optimum <i>malachite green</i> (waktu transpor : 18 jam) .....	36
12. Morfologi permukaan membran PIM sebelum transpor perbesaran (a) 500x, (b) 3000x dan sesudah transpor perbesaran (c) 500x dan (d) 3000x .....	38
13. Grafik panjang gelombang maksimum <i>malachite green</i> .....	39
14. Pengaruh pH <i>malachite green</i> pada fasa sumber terhadap konsentrasi <i>malachite green</i> yang tertranspor (%).....	41
15. Pengaruh konsentrasi HNO <sub>3</sub> (M) di fasa penerima terhadap konsentrasi <i>malachite green</i> yang tertranspor (%).....	43

16. Pengaruh ketebalan membran PIM terhadap konsentrasi <i>malachite green</i> yang tertranspor (%) .....	44
17. Pengaruh konsentrasi senyawa pembawa membran PIM terhadap konsentrasi <i>malachite green</i> yang tertranspor (%).....	46
18. Pengaruh waktu tranpor terhadap konsentrasi <i>malachite green</i> yang tertranspor (%) .....	47
19. Perbandingan konsentrasi <i>malachite green</i> , logam Pb(II), dan logam Cu(II) pada kompetisi transpor <i>malachite green</i> .....	50
20. Perbandingan spektra FT-IR membran setelah (a) <i>malachite green</i> , (b) <i>malachite green</i> dan logam Pb(II), (c) <i>malachite green</i> dan logam Cu(II) dan (d) <i>malachite green</i> , logam Pb(II) dan logam Cu(II).....	51
21. Morfologi permukaan membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	52
22. EDS spektrum dari membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada limbah buatan Prediksi struktur <i>copoly</i> eugenol divinil benzena .....	53
23. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi pH fasa sumber.....	72
24. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi fasa penerima ...	74
25. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi ketebalan membran .....	76
26. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	78
26. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi waktu transpor .....	80
28. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi transpor <i>malachite green</i> pada limbah buatan.....	82
29. (a) Alat cetak membran (b) membran PIM sebelum transpor .....	99
30. Transpor <i>malachite green</i> pada variasi pH fasa sumber (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor .....	99
31. Transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi fasa penerima (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor .....	100
32. Transpor <i>malachite green</i> pada variasi ketebalan membran (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor .....	100
33. Transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi senyawa pembawa (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor.....	101
34. Transpor <i>malachite green</i> pada variasi waktu trasnpor (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor .....	101
35. Transpor <i>malachite green</i> pada variasi logam buatan (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor.....	102
36. Membran PIM setelah transpor.....	102
37. Skema fasa sumber, fasa membran dan fasa penerima dalam transpor <i>malachite green</i> .....	103

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring pesatnya perkembangan sektor industri dapat menyebabkan masalah serius seperti kerusakan sumber daya alam dan pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh berbagai aktivitas industri yang dapat berdampak pada meningkatnya jumlah limbah industri yang dihasilkan. Selain mencemari lingkungan, zat warna dapat membahayakan keanekaragaman hayati dan mengganggu kesehatan, misalnya iritasi kulit, iritasi mata dan kanker. Bahkan zat warna juga dapat menyebabkan terjadinya mutasi. Banyak industri menggunakan pewarna sintesis karena kemudahan dan efektivitas biaya dalam sintesis, ketegasan warna, stabilitas cahaya dan ketahanan terhadap biooksidasi aerobik dibandingkan dengan pewarna alami (Ling *and* Suah, 2017). Industri tekstil menjadi salah satu penghasil limbah zat warna yang mengandung senyawa yang bersifat *non-biodegradable* (Sukmawati dan Utami, 2014). Limbah tekstil mengandung pewarna, nitrat, asam asetat, sabun, senyawa kromium dan logam berat seperti arsenik, timbal, tembaga, kadmium, merkuri, nikel, dan kobalt yang menjadikan limbah tersebut sangat beracun dan karsinogenik bagi makhluk hidup (Soo *et al.*, 2021).

*Malachite green* menjadi salah satu pewarna sintesis yang mempunyai warna yang paling cemerlang dibandingkan dari zat warna bahan celup lainnya. *Malachite green* mengandung amino dan imino kelompok dan dikombinasikan dengan warna asam seperti asam klorida yang berguna untuk membunuh parasit

dan bakteri Gram Negatif. Penggunaan pewarna ini masih banyak digunakan dibelahan dunia karena harganya murah, mudah ditemukan, dan efek yang dihasilkan menarik (Sukmawati dan Utami, 2014). *US Food and Drug Administration* dan Kepmen No. 52/KEPMEN-KP/2014 tentang klasifikasi obat ikan menunjukkan bahwa *malachite green* adalah obat keras yang dilarang golongan zat warna.

Pembuangan limbah *malachite green* ke sistem perairan dapat memberikan warna yang tidak diinginkan dan mengurangi penetrasi sinar matahari sehingga mengancam kehidupan perairan. Senyawa nitrogen dalam *malachite green* bersifat karsinogenik, genotoksik, mutagenik, dan teratogenik (Bouraie, 2015). Kehadiran *malachite green* dalam air juga menyebabkan efek seperti mutagenesis, teratogenesis, kromosom, dan toksisitas (Ling and Suah, 2017). Toksisitas pewarna ini meningkat seiring dengan waktu paparan, suhu, dan konsentrasi dari *malachite green* (Shivaji *et al.*, 2004). Menurut Shivaji *et al.*, (2004) toleransi kadar *malachite green* yang diperbolehkan diperairan adalah 0,01 ppm, mengingat bahaya yang dapat ditimbulkan, maka diperlukan suatu pengolahan limbah untuk menurunkan kandungan *malachite green*.

Berbagai cara telah dikembangkan untuk mengolah limbah *malachite green*, seperti adsorpsi oleh biochar mikroalga (AB) (Pathy *et al.*, 2022), degradasi warna oleh aktivitas fotokatalitik dari FA-Ag<sub>2</sub>O NAP (Mazumder dan Ruma, 2022), degradasi secara ozonolisis dengan penambahan katalis TiO<sub>2</sub> (Bhernama, 2017), alternatif parasitisida seperti asam humat, dan klorin dioksida menggantikan penggunaan *malachite green* (Shivaji *et al.*, 2004), pemisahan *malachite green* menggunakan *polymer inclusion membrane* (PIM) (Ling and Suah, 2017), dan telah banyak dilakukan penguraian zat warna *malachite green* seperti koagulasi, flokulasi, adsorpsi, dan karbon aktif. Namun, proses tersebut hanya mentransfer kontaminasi dari satu fasa ke fasa yang lain, sehingga meninggalkan masalah yang belum diselesaikan (Bhernama, 2017). Selain itu, perlakuan konvensional seperti ini tidak efektif untuk mengolah air limbah tersebut karena beberapa cincin

benzena memiliki ketahanan yang tinggi terhadap perlekatan mikroba, fiksasi dan tahan luntur (stabilitas dalam cahaya dan pencucian) (Pang *and* Abdullah, 2013). Salah satu Teknik efektif yang dapat dilakukan untuk pemisahan *malachite green* adalah menggunakan teknologi pemisahan berbasis membran cair. Ada beberapa jenis utama membran cair, yaitu membran cair curah (BLM), membran cair emulsi (ELM), membran cair terdukung (SLM), dan membran inklusi polimer (PIM) (Ling *and* Suah, 2017). Metode membran cair PIM banyak digunakan karena mempunyai spektrum pemisahan yang luas, selektif, mudah dilakukan, kebutuhan energinya sangat minimum, sederhana, praktis, mengeskraksi spesies logam dan nonlogam secara selektif (Bonggotgetsakul *et al.*, 2013), dapat meminimalkan penggunaan bahan kimia, serta komposisi membran yang fleksibel (Nghiem *et al.*, 2006).

Kelebihan PIM dibandingkan membran cair lainnya diantaranya adalah senyawa pembawa yang dibutuhkan sedikit, memiliki kestabilan yang tinggi (Vazquez *et al.*, 2014). Selain itu, *senyawa* pembawa yang hilang selama proses dapat diabaikan, flux yang lebih tinggi, pengoperasian yang sederhana serta lebih serbaguna (Kusumocahyu *et al.*, 2006). Keunggulan tersebut diminati oleh banyak peneliti seperti Benosmane *et al.*, (2018) dapat *recovery* fenol dengan metode PIM hingga 95% yang bergantung dengan kondisi pH optimum, Almeida *et al.*, (2012) dan Almeida *et al.*, (2017) memberikan tinjauan tentang aplikasi kimia dari PIM untuk pemisahan sampel, Cho *et al.*, (2018) melakukan pembersihan Tiosianat dalam air tambang emas dengan metode PIM memiliki efisiensi pemisahan hingga 99% selama 45 hari, dan Soo *et al.*, (2021) membuat membran PIM dengan komposisi PVDF-co-HFP, B<sub>2</sub>EHP, DOP, dan THF mampu mengekstraksi *malachite green*.

*Polymer Inclusion Membrane* (PIM) mengandung komponen-komponen yang membentuk membran sehingga proses pemisahan dapat berjalan, seperti senyawa pembawa, *plasticizer* dan polimer dasar dalam suatu larutan disatu cetakan hingga terbentuk film yang tipis, stabil, dan fleksibel (Wang *et al.*, 2017). Selanjutnya, membran tersebut dapat diaplikasikan untuk pemisahan *solute* berbasis polimer

dasar *Polyvinyl chloride* (PVC) sebagai polimer pendukung dan Dibenzileter (DBE) sebagai *plasticizer* (Kiswando et al., 2012 dan Kiswando et al., 2013). Ling and Suah (2017) dan Soo et al., (2021) dalam penelitiannya menggunakan senyawa pembawa untuk pemisahan *malachite green* menggunakan metode PIM. Pada metode membran cair, senyawa pembawa (*carrier*) sebagai fasilitator yang terdapat pada fasa membran memainkan peranan penting dan merupakan hal penentu dalam kinerja pemisahan (Zheng et al., 2009).

Salah satu senyawa pembawa berbasis senyawa bahan alam adalah senyawa yang dihasilkan dari polimerisasi eugenol (Harimu et al., 2012). Eugenol dapat digunakan sebagai bahan awal sintesis suatu senyawa karena adanya tiga gugus fungsional yang terikat padanya, yaitu gugus alil, hidroksi dan metoksi. Melalui gugus alil, eugenol mampu dipolimerisasi menjadi polieugenol (Ngadiwiya, 2005). Berbagai polimer sebagai senyawa pembawa telah digunakan dengan beberapa metode membran cair ini diantaranya adalah Bis(piridilmetil) amina (Gardner et al., 2006), kuaterner amina, piridin dan turunannya (Nghiem et al., 2006), *copoly* eugenol divinil benzena (Kiswando et al., 2014) dan 2-aminomethylpyridine (Qiu et al., 2021).

Polimerisasi dilakukan untuk peningkatan berat molekul suatu polimer yang terbentuk ini memenuhi syarat sebagai membran karena memiliki berat molekul yang tinggi, memiliki sisi aktif –OH dan cincin benzena, sehingga mampu berfungsi sebagai media transpor yang selektif. Polieugenol yang diperoleh tanpa tautsilang akan memiliki berat molekul yang lebih rendah dibandingkan polieugenol yang dihasilkan melalui tautsilang (Kiswando et al., 2019). Polimerisasi adisi ini hanya terjadi pada ujung rantai yang memiliki ikatan rangkap dua sehingga dapat dihasilkan berat molekul yang tinggi (Setyowati dan Anwar, 2001). *Copoly* eugenol divinil benzena (Co-EDVB) adalah senyawa diena yang dapat mengalami polimerisasi. Ikatan rangkap dua pada senyawa diena ini mempunyai sifat reaktif sehingga dapat meningkatkan sisi aktif pada proses sintesis dapat dilakukan pada suhu kamar (Kiswando, 2010).

Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian ini akan dilakukan studi transpor

*malachite green* menggunakan metode PIM dengan Co-EDVB 2% sebagai senyawa pembawa. Penelitian ini akan dilakukan kemampuan uji kompetisi transpor *malachite green* pada limbah buatan Pb (II) dan Cu (II) meliputi variasi pH pada fasa sumber, variasi konsentrasi HNO<sub>3</sub> pada fasa sumber, variasi ketebalan, dan variasi waktu transpor.

## 1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan transpor *malachite green* menggunakan senyawa pembawa Co-EDVB 2% dengan metode PIM.
2. Melakukan studi uji kompetisi transpor *malachite green* dengan logam berat Pb(II) dan Cu(II) pada limbah buatan.
3. Melakukan karakterisasi membran PIM sebelum dan sesudah transpor menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR).

## 1.3 Manfaat

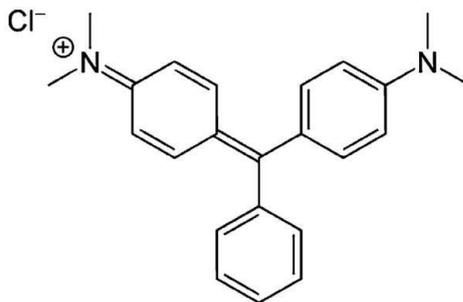
Hasil penelitian yang akan diperoleh diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menambah wawasan baru terkait pemanfaatan polimer terautsilang Co-EDVB 2% sebagai senyawa pembawa dalam transpor *malachite green*.
2. Memberikan wacana baru dalam pemanfaatan polimer dalam bidang analisis kimia serta meningkatkan nilai ekonomis dari eugenol.
3. Meningkatkan aplikasi metode membran cair terutama PIM dalam upaya pengurangan polutan organik, khususnya *malachite green* dalam lingkungan perairan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Malachite Green*

*Malachite green* adalah komponen zat warna dasar untuk celup, dimana terdiri dari kandungan garam dari warna dasar organik yang mengandung amino dan imino kelompok dan juga dikombinasikan dengan warna asam, seperti asam klorida. *Malachite green* memiliki warna yang paling cemerlang dibandingkan dengan bahan celup sintetis lainnya. Bahan celup dasar adalah kationik yang mengandung muatan positif dan digunakan untuk kain anionik yang bermuatan negatif seperti wol, sutra, dan nilon. Pewarna kimia ini terutama digunakan untuk pewarna sutra, kulit dan kertas (Sukmawati dan Utami, 2014). Dalam industri tekstil, zat warna *malachite green* merupakan salah satu bahan baku utama, sekitar 10-15 % dari zat warna yang sudah digunakan tidak dapat dipakai ulang dan harus dibuang. Selain lingkungan, zat tersebut juga dapat membahayakan keanekaragaman dan gangguan kesehatan, misalnya iritasi kulit, iritasi mata dan kanker. Bahkan zat warna juga dapat menyebabkan terjadinya mutasi (Shivaji *et al.*, 2004). Adapun struktur dari *malachite green* terlihat pada Gambar 1.



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

*Malachite green* secara luas digunakan sebagai biosida pada industri akuakultur, efektif melawan infeksi protozoa dan jamur. Selain itu juga digunakan sebagai zat pewarna makanan, aditif makanan, desinfektan medis dan anthelminthic serta pewarna dalam sutra, wol, rami, kulit, katun, industri kertas dan pantai. *Malachite green* selain sebagai zat warna organik juga bekerja sebagai parasitisida antiprotozoa dan fungisida. *Malachite green* sebagai fungisida, digunakan untuk mencegah perkembangan jamur *oomycete* pada ikan dan telur ikan, baik sebagai terapi pascainfeksi dan profilaksis. *Malachite green* sebagai antiprotozoa digunakan untuk mengontrol protozoa, misalnya; *Paranophrys* pada kepiting *Milten*; *Ichthyophthirius* pada *Ictarulus punctatus* dan ikan hias; *Trichodina* pada belut. *Malachite green* yang digunakan sebagai anti protozoa pada ikan akan tetapi bersifat racun akut dan kronis, karsinogenesis, mutagenesis. Selain itu, *malachite green* juga menyebabkan bahaya kesehatan umum dan juga masalah potensial lingkungan. *Malachite green* memiliki efek sitotoksik yang sangat tinggi dan karsinogenik pada hati, thyroid dan organ lain binatang percobaan (Shivaji *et al.*, 2004). Pewarna ini banyak digunakan dibelahan dunia karena harganya murah, mudah ditemukan, dan efek yang dihasilkan menarik (Sukmawati dan Utami, 2014).

US Food and Drug Administration dan Kepmen No. 52/KEPMEN-KP/2014 tentang klasifikasi obat ikan menunjukkan bahwa *malachite green* termasuk obat keras yang dilarang golongan zat warna (KKP, 2014). Kehadiran *malachite green* dalam air menyebabkan efek seperti mutagenesis, teratogenesis, kromosom, dan toksisitas (Ling and Suah, 2017). Toksisitas pewarna ini meningkat seiring dengan waktu paparan, suhu, dan konsentrasi dari *malachite green* (Shivaji *et al.*, 2004). Menurut Shivaji *et al.*, (2004), toleransi kadar *malachite green* yang diperbolehkan diperairan adalah 0,01 ppm, mengingat bahaya yang dapat ditimbulkan, maka diperlukan suatu pengolahan limbah untuk menurunkan kandungan *malachite green*.

## 2.2 Metode Penanganan Limbah *Malachite Green*

Salah satu metode penanganan limbah ini dengan degradasi *malachite green* dilakukan dengan metode ozonolisis (Bhernama, 2017). Proses ini dilakukan dengan menggunakan katalis  $\text{TiO}_2$ -anatase dan  $\text{ZnO}$ . Residu *malachite green* disentrifugasi dan diukur dengan spektroskopi UV-Vis pada 200-800 nm setelah degradasi. Selanjutnya, diozonolisis *malachite green* 6 mg/L selama 5 menit diperoleh pH optimum pada pH 7,6 mg/L, ditambahkan katalis  $\text{TiO}_2$ -anatase 0,025 mg, dan  $\text{ZnO}$  0,025 mg pada pH 7 dengan variasi waktu didapatkan waktu optimum 5 menit. Degradasi dengan penambahan  $\text{TiO}_2$ -anatase lebih besar daripada penambahan  $\text{ZnO}$ , karena stabilitas  $\text{TiO}_2$ -anatase yang besar.

Selanjutnya, dengan metode absorpsi zat pewarna tekstil *malachite green* menggunakan adsorben kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) teraktivasi  $\text{HNO}_3$  dilakukan dengan tujuan untuk bahwa limbah kulit kakao dapat digunakan sebagai adsorben zat warna tekstil *malachite green*, sifat adsorpsi zat warna tekstil *malachite green* oleh adsorben dari kulit kakao, waktu kontak optimum adsorben kulit kakao terhadap zat warna *malachite green*, dan massa optimum adsorben kulit kakao terhadap zat warna *malachite green*. Adsorben yang digunakan adalah kulit kakao dengan ukuran 100 *mesh* yang diaktivasi dengan larutan  $\text{HNO}_3$  0,6 M Menentukan kondisi optimal yang dilakukan dengan variasi massa yang digunakan 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 dan 0,30 g. Variasi waktu yang digunakan 10, 20, 30, 40, 50 dan 60 menit, serta variasi konsentrasi yang digunakan 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 ppm. Volume larutan zat warna yang digunakan untuk masing-masing variasi adalah 25 ml.

Teknik pengumpulan data menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis. Hasil Berdasarkan penelitian diketahui bahwa: (1) Kulit kakao (*Theobroma cacao*) dapat digunakan sebagai adsorben zat warna tekstil *malachite green* (2) massa optimum yang dibutuhkan adsorben kulit kakao untuk menyerap zat warna tekstil *malachite green* adalah 0,25 g, (3) waktu kontak optimum yang dibutuhkan adsorben kulit kakao untuk menyerap zat tekstil *malachite green* adalah 40 menit.

(4) Zat adsorpsi warna tekstil *malachite green* oleh adsorben kulit kakao adalah adsorpsi kimia (Sukmawati dan Utami, 2014). Namun, metode ini kurang efektif karena zat warna yang diadsorpsi tersebut masih terakumulasi didalam adsorben yang pada suatu saat nanti akan menimbulkan permasalahan baru.

Berbagai cara lain yang telah dikembangkan untuk mengolah limbah *malachite green*, seperti adsorpsi oleh biochar mikroalga (AB) (Pathy *et al.*, 2022), degradasi warna *malachite green* oleh aktivitas fotokatalitik dari FA-Ag<sub>2</sub>O NAP (Mazumder and Ruma, 2022), alternatif parasitisida seperti asam humat, klorin dioksida dan *pyceze* untuk menggantikan penggunaan *malachite green* (Shivaji *et al.*, 2004), pemisahan *malachite green* menggunakan *polymer inclusion membrane* (PIM) (Ling and Suah, 2017), dan penguraian zat warna *malachite green* telah banyak dilakukan seperti koagulasi, flokulasi, dan karbon aktif. Selain itu, perlakuan konvensional seperti adsorpsi, pertukaran ion, aerobik dan anaerobik, oksidasi, koagulasi dan flokulasi memiliki efektivitas yang lebih rendah untuk mengolah air limbah ini. Hal ini disebabkan beberapa cincin benzena memiliki ketahanan yang tinggi terhadap perlekatan mikroba, fiksasi dan tahan luntur (stabilitas dalam cahaya dan pencucian). Beberapa proses penanganan limbah zat warna ini memiliki kelemahan karena memerlukan bahan kimia yang mahal, proses pemisahan bahan kimia dengan air limbah zat warna menghasilkan limbah baru yang berasal dari sisa bahan yang telah digunakan, proses kimia tidak ramah lingkungan, dan proses biologi yang rumit (Pang and Abdullah, 2013). Metode PIM dianggap efektif untuk menangani limbah *malachite green* seperti yang dilakukan oleh Ling and Suah, (2017), karena berhasil mengekstrak *malachite green* dari limbah.

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

Ada beberapa jenis utama membran cair, yaitu membran cair curah (BLM), membran cair emulsi (ELM), membran cair terdukung (SLM), dan membran inklusi polimer (PIM) (Ling and Suah, 2017). PIM adalah membran cair

lembaran datar (LM) yang dibuat dari campuran basis polimer, senyawa pembawa, *plasticizer* dan pelarut solusi (Soo *et al.*, 2021). PIM merupakan sebuah metode hemat energi dengan rendah pengoperasian biaya dan mode operasi sederhana (Rynkowska *et al.*, 2018). 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 dibenzileter (DBE) pada membran berfungsi untuk membuat sistem membran menjadi lebih stabil (Kislik, 2009).

Metode ini mendapat perhatian yang tinggi karena stabilitasnya yang tinggi dibandingkan dengan metode SLM. PIM memiliki masa pakai yang lebih lama dan stabilitas yang lebih besar sehubungan dengan hilangnya fase cair membran ke fase air daripada SLM (Rusly *et al.*, 2018). PIM telah terbukti efektif (dengan lebih dari 90% penghilangan) dalam ekstraksi dari sebuah lebar jangkauan dari komponen seperti logam (misalnya, kromium, seng, tembaga, perak, nikel, kobalt, air raksa, emas), pewarna (misalnya, *malachite green*, metilen biru, reaktif jeruk) dan ion bermuatan lainnya (misalnya, fenol, picloram) (Soo *et al.*, 2021).

Pembuatan membran di dalam metode PIM menggunakan komponen di atas membentuk lapisan yang tipis, stabil dan fleksibel. Hasilnya adalah membran *self-supporting* yang dapat digunakan untuk memisahkan larutan yang diinginkan dengan cara yang serupa dengan SLM (Nghiem *et al.*, 2006). Membran PIM meskipun memiliki permeabilitas dan selektivitas yang rendah, namun tetap memiliki stabilitas yang lebih baik dan memadai dibandingkan jenis membran cair lainnya. Metode ini berpotensi dan dapat diaplikasikan secara praktis di lapangan. Komponen penyusun membran yang hilang (*Liquid Membrane Loss*) saat transpor digunakan sebagai parameter ketahanan, kekuatan dan umur suatu membran (Kislik, 2009).

PIM mengandung senyawa pembawa yang efektif, mudah disiapkan, serbaguna, stabil, memiliki sifat kimia dan mekanik yang baik dibandingkan dengan SLM (Kim *et al.*, 2012). PIM dianggap mampu meningkatkan kestabilan dari metode SLM karena dua hal, yaitu polimer dasar yang diharapkan dapat mengatasi kebocoran senyawa pembawa, dan *plasticizer* yang berfungsi untuk membuat sistem membran lebih stabil. Oleh karena hal tersebut, PIM diharapkan mempunyai potensi lebih baik untuk pemisahan skala industri dibandingkan tipe membran cair lainnya. PIM telah digunakan oleh peneliti seperti Kiswandono *et al.*, (2012), Kaya *et al.*, (2016), Benosmane *et al.*, (2018), Ling and Suah, (2017), dan masih banyak lagi.

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

- Tahap pertama

Senyawa target yang telah menyebar pada fasa antar muka sumber membran, akan berikatan dengan senyawa pembawa membentuk kompleks. Setelah kompleks tersebut terbentuk, lalu diangkut melintasi fasa antar muka ini dan akan digantikan oleh molekul lain dari senyawa pembawa.

- Tahap kedua

Kompleks berdifusi melalui membran menuju ke fasa penerima

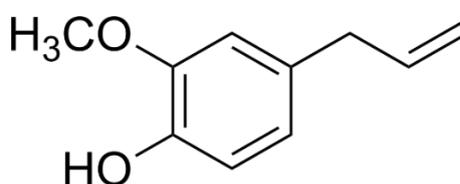
- Tahap ketiga

Pada fasa antarmuka membran penerima, kompleks terdisosiasi dan senyawa target dilepaskan ke fasa penerima. Kemudian di fasa penerima senyawa target ;

## 2.4 Eugenol dan *Copoly* Eugenol Divinil Benzena (Co-EDVB) 2%

Senyawa eugenol merupakan salah satu komponen kimia dalam minyak cengkeh yang memberikan bau dan aroma yang khas pada minyak cengkeh. Eugenol memiliki rumus molekul  $C_{10}H_{12}O_2$  memiliki warna bening hingga kuning pucat, kental seperti minyak dan mudah larut dalam pelarut organik. Eugenol bersifat

larut dalam alkohol, kloroform, dan eter. Eugenol memiliki gugus hidroksi, metoksi, dan alil. Adanya gugus hidroksi menyebabkan eugenol sebagai senyawa fenolik yang bersifat asam dan mudah dipisahkan dari senyawa non fenolik lainnya dengan cara ekstraksi cair–cair menggunakan pelarut aktif (Ketaren, 1985). Dengan adanya ketiga gugus fungsional tersebut, eugenol dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar untuk pembuatan senyawa lain dengan berbagai tujuan (Sastrohamidjojo, 2014). Struktur dari eugenol dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Struktur senyawa eugenol

Polimerisasi dengan bahan baku senyawa alam seperti eugenol merupakan suatu hal yang relatif baru dilakukan, maka pengembangan dan pemanfaatan monomer eugenol semakin diperluas. Dilihat dari sifat fisika dan kimia eugenol (Tabel 1), dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam sintesis polieugenol yang dapat digunakan sebagai senyawa pembawa dalam transpor membran cair. Syarat polimer yang dapat 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 (Kozlowski *and* Walkowiak, 2004).

Polieugenol dihasilkan sintesis dari senyawa eugenol melalui proses polimerisasi yang dapat dilakukan dengan minyak yang mengandung 5.85 g eugenol (volume menyesuaikan kadar masing-masing) dimasukkan ke dalam gelas piala 50 mL, kemudian ditambahkan 1 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 95% (pekat) yang ditambahkan setiap 30 menit sekali masing-masing sebanyak 0.25 mL. Setelah reaksi berlangsung selama 2 jam, polimerisasi dihentikan dengan menambahkan 1 mL metanol. Padatan yang terbentuk dicuci dengan petroleum eter, dinetralkan dengan akuades, dan dikeringkan dengan oven pada suhu 50°C. Padatan ditimbang, titik

lebur dan strukturnya ditentukan, serta dikarakterisasi menggunakan kromatografi lapis tipis dengan eluen etanol (Sudarlin dan Winarto, 2017). Namun, umumnya polieugenol dapat dihasilkan melalui sintesis langsung menggunakan katalis asam, tetapi polimer hasil sintesis ini belum efektif, karena kemampuan interaksi dengan senyawa target masih kurang. Hal ini disebabkan karena polimer ini memiliki berat molekul yang rendah, sehingga jumlah sisi aktifnya terbatas. Adapun spesifik sifat fisik dan kimia eugenol dapat dilihat pada Tabel 1.

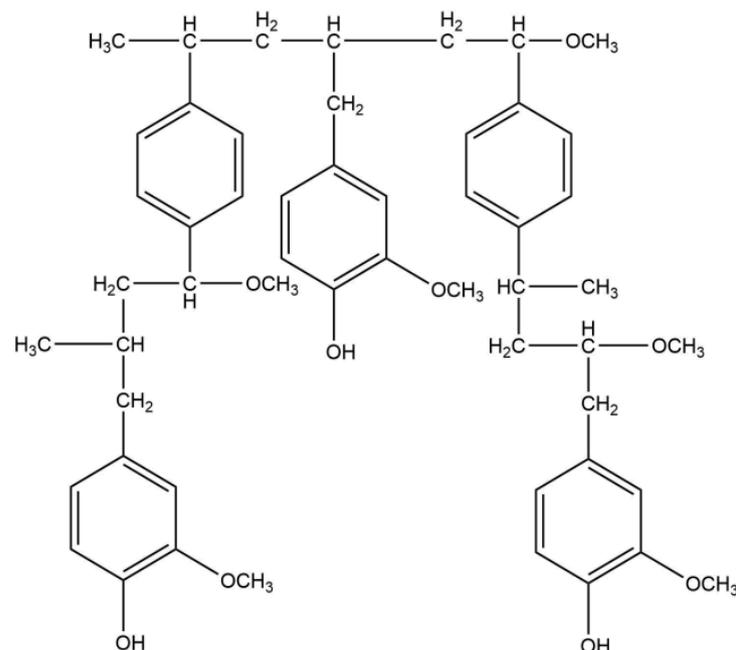
**Tabel 1.** Spesifik sifat fisik dan kimia eugenol

<b>Karakteristik</b>	<b>Eugenol</b>
Berat jenis (g/cm <sup>3</sup> )	1,06
Wujud polimer	Padat
Titik didih (°C)	256
Titik leleh (°C)	-9
Warna	Bening ke kuning pucat
Aroma	Aroma cengkeh
Kelarutan	Larut dalam kloroform, etanl dan metanol

(Sumber :Sudarlin dan Winarto, 2017)

Sebagai alternatif untuk meningkatkan sisi aktif dapat dilakukan dengan cara kopolimerisasi melalui ikatan rangkap dua (senyawa-senyawa diena). DVB mempunyai titik didih 195°C, tidak larut dalam air dan larut dalam etanol dan eter, mempunyai titik nyala 76°C, digunakan dalam industri plastik untuk mengikat silang dan modifikasi material serta membantu proses kopolimerisasi, meningkatkan resistansi terhadap tekanan retak, bahan kimia, pnas distorsi, kekerasan dan kekuatan. DVB merupakan salah satu contoh senyawa diena yang dapat digunakan dengan asumsi bahwa peningkatkan jumlah sisi aktif suatu polimer dengan meningkatkan berat molekul DVB. Semakin banyak agen pertautan silang (*crosslinking agent*) menyebabkan berat molekul semakin tinggi serta meningkatkan fraksi gel dan viskositas polimer. DVB dapat sebagai penetrasi sebelum terjadi ikatan silang pada proses pembuatan membran sehingga

memberikan kompatibilitas yang lebih baik pada membran yang dibuat. Ikatan silang membuat sifat mekanik dari membran lebih padat dan tidak rapuh (Anisa dkk., 2016). Ikatan rangkap dua pada DVB mempunyai sifat yang reaktif sehingga proses sintesis dapat dengan mudah dilakukan pada suhu kamar menggunakan katalis asam lunak. Eugenol yang memiliki ikatan rangkap dua, yang jika ditambahkan monomer diena sebagai agen pertautansilang akan menghasilkan suatu kopolimer yang tertautsilang. Polimerisasi antara eugenol dengan divinil benzena (DVB) menghasilkan *copoly*-eugenol divinil benzena (Co-EDVB) (Kiswando et al., 2022). Co-EDVB diharapkan dapat meningkatkan jumlah sisi aktif pada polimer yang digunakan sebagai senyawa pembawa pada proses transpor *malachite green*.



**Gambar 3.** Prediksi struktur Co-EDVB

Polimerisasi senyawa diena terjadi pada bagian gugus alil. Polimerisasi antara eugenol dengan divinil benzena menghasilkan Co-EDVB terlihat pada Gambar 3. Co-EDVB diharapkan dapat meningkatkan jumlah sisi aktif pada polimer yang digunakan sebagai senyawa pembawa pada proses transpor *malachite green*. Muatan positif yang ada pada ion nitrogen tersier yang ada di *malachite green* siap bergerak menuju Co-EDVB bermuatan negatif yang ada di PIM untuk

membentuk kompleks pasangan ion netral (Ling *and* Suah, 2017). Oleh karena itu, bentuk kationik pewarna diekstraksi melintasi membran hidrofobik dengan nilai efisiensi ekstraksi yang tinggi. Pewarna kationik membentuk kompleks pasangan ion netral dengan senyawa pembawa anionik. Senyawa pembawa yang sangat 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 (Mamat *and* See, 2017). Selain itu, Co-EDVB juga diasumsikan dapat melakukan transpor *malachite green* dilihat dari ikatan hidrogen yang terbentuk antara unsur N pada *malachite green* dengan –OH pada Co-EDVB.

Sintesis Co-EDVB dapat dilakukan dengan bahan dasar berupa eugenol, divinil benzena dan  $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  sebagai katalis. Reaksi pembentukan polimer ditandai dengan pembentukan gel berwarna ungu kemerahan pada saat katalis ditambahkan. Penambahan katalis dilakukan sebanyak empat kali secara bertahap setiap 1,5 jam (0,25 mL setiap penambahan). Secara fisik polimer yang dihasilkan berupa serbuk berwarna coklat muda. Reaksi kopolimerisasi ini dilakukan dengan menggunakan massa DVB 10% terhadap berat eugenol. Kopolimerisasi ini merupakan reaksi kopolimerisasi adisi kationik, karena gugus vinil dari DVB mengalami adisi. Reaksi kopolimerisasi ini terjadi melalui 3 tahap yaitu tahap inisiasi, propagasi, dan terminasi. Tahap inisiasi merupakan tahap terjadinya pembentukan ion karbokation dari DVB. Penambahan katalis  $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  secara bertahap agar proses pembentukan ion karbokation terjadi secara berkelanjutan. Tahap propagasi merupakan tahap dimana ion karbokation akan berikatan dengan eugenol membentuk Co-EDVB 2%. Terakhir, tahap terminasi merupakan tahap dimana pemutusan pertumbuhan rantai polimer Co-EDVB 2% dengan cara penambahan metanol (Handayani *et al.*, 2004).

## 2.5 Mekanisme Transpor dan Senyawa Pembawa untuk Membran

Adapun contoh penggunaan metode PIM dengan beberapa polimer dasar, *plasticizer*, pelarut, dan senyawa pembawa terlihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Aplikasi metode PIM di beberapa *plasticizer*, pelarut, dan senyawa pembawa

Polimer Dasar	<i>Plasticizer</i>	Pelarut	Senyawa Pembawa	<i>Recovery/ Ekstraksi</i>	Referensi
CTA	2-NPOE	DCM	Ester derivative of calix[4]arene	MB	(Minhas <i>et al.</i> , 2021)
PVDF-co-HFP	PVC	THF	Aliquat 336	<i>Reactive Orange</i>	(Ravi <i>et al.</i> , 2021)
PVC	B <sub>2</sub> EHP	THF	2,6-diaminopyridi	Cu(II) Zn(II)	(Bozejewicz <i>et al.</i> , 2021)
PVC	DOP	THF	B <sub>2</sub> EHP	MG MB	(Amin <i>et al.</i> , 2019)
CTA	NPOE	DCM	Aliquat 336	Pidoram	(Mwakalesi and Potter, 2020)
PVC	DBE	THF	Co-EDVB	Fenol	(Kiswandono <i>et al.</i> , 2012)

Mekanisme transpor di PIM tergantung pada faktor-faktor seperti komposisi membran, homogenitas dan morfologi permukaan (Almeida *et al.*, 2017). Suatu transpor melalui membran merupakan proses difusi antara fasa sumber, membran dan fasa penerima. Meng *et al.*, (2015) membagi mekanisme transpor menjadi tiga tahap, yaitu difusi antara senyawa target dengan senyawa pembawa pada membran, pembentukan kompleks senyawa atau interaksi senyawa target dengan senyawa pembawa dan pelepasan senyawa target ke fasa penerima. Proses transpor membran meliputi dua tahap yaitu tahap pertama, senyawa target yang telah berdifusi pada fasa sumber bereaksi dengan senyawa pembawa membentuk kompleks yang selanjutnya ditranspor melewati membran cair menuju fasa penerima. Selanjutnya kompleks antara senyawa target dan senyawa pembawa terpisah dan senyawa target terlepas menuju fasa penerima, sehingga

reaksi ini dapat terjadi secara terus menerus. Contoh beberapa senyawa pembawa untuk transpor yaitu Co-EDVB (Kiswando *et al.*, 2014), 5,17-Di-tert-butyl-11,23-bis[(1,4-dioxo-8-azaspiro[4,5]decanyl)methyl]-25,26,27,28-tetra-hydroxy calix[4]arene (Kaya *et al.*, 2016), thiazoethyl methyl eugenoxycetic acid (TMEAA) (Djunaidi *et al.*, 2018), dan lainnya. Selain itu, PIM juga digunakan untuk mengesktrak pewarna kation *malachite green* (Soo *et al.*, 2021).

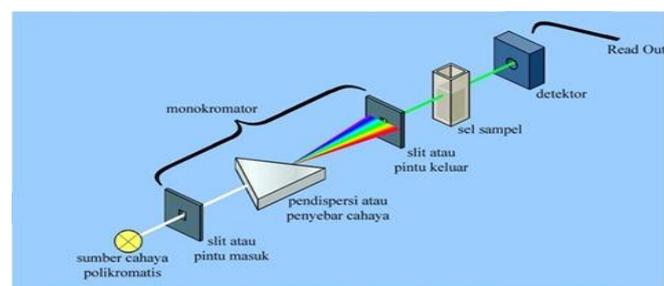
## 2.6 Analisis dan Karakterisasi

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

### 2.6.1 Spektrofotometri Ultra Violet-Visible (UV-Vis)

Spektrofotometri UV-Vis merupakan teknik analisis spektroskopi yang menggunakan sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm) dengan instrumen spektrofotometer. Spektrofotometri UV-Vis umumnya menggunakan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis sehingga lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif (Mulja *and* Suharman, 1995). Molekul hanya menyerap radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang yang khas (spesifik untuk molekul tersebut). Absorpsi cahaya ultraviolet (radiasi berenergi tinggi) mengakibatkan berpindahnya 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 *and* Fessenden, 1997).

Prinsip dari analisis spektroskopi sendiri yaitu cahaya dari spektrometer yang terdifraksi menggunakan difraktometer (cermin / prisma), sehingga cahaya terbagi menjadi dua dengan intensitas yang sama. Sebagian cahaya melalui pelarut dengan intensitas sebesar  $I_0$ , dan sebagian lagi melalui sampel dengan intensitas  $I$ . Kemudian hubungan antara  $I_0$  dengan  $I$ . Atau dapat dikatakan bagian cahaya yang diteruskan disebut transmisi ( $T$ ) dan bagian yang diserap oleh sampel disebut ( $A$ ). Hubungan antara  $A$  dan  $T$  dapat dirumuskan:  $A = -\log T$  (Kusnanto, 2012). Skema spektrofotometer UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Skema spektrofotometer UV-Vis (Skoog, 1996)

Sebelum pengukuran konsentrasi *malachite green* pada sampel, terlebih dahulu di tentukan panjang gelombang maksimum. Penentuan panjang gelombang maksimum *malachite green* dilakukan dengan cara mengambil larutan *malachite green* yang telah disiapkan ke dalam kuvet, lalu diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 350 nm sampai 700 nm. Sampel pada fasa sumber, fasa penerima dan larutan standar *malachite green* (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 ppm) masing-masing diambil sebanyak 5 mL. Sampel tersebut kemudian dimasukkan ke dalam kuvet, lalu diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

Bhernama, (2017) mengukur serapan *malachite green* maksimum dilakukan dengan mengukur absorbansi perunggu hijau pada panjang gelombang 1 200-800 nm. larutan *malachite green* dengan variasi konsentrasi 2, 4, 6, 8 dan 10 mg/L memberikan serapan maksimum pada konsentrasi 6 mg/L dengan absorbansi 618,07 nm dan nilai absorptivitas molar ( $\epsilon$ )  $110031,452021 \text{ mol L}^{-1} \text{ cm}^{-1}$

(Bhernama, 2017). Disisi lain, Ling *and* Suah, (2017) menghasilkan panjang gelombang maksimum 617.0 nm untuk *malachite green*. Absorbansi yang semakin tinggi menunjukkan bahwa panjang gelombang yang diperoleh semakin baik. Panjang gelombang ini yang akan digunakan untuk penentuan konsentrasi *malachite green* pada prosedur selanjutnya (Kiswando *et al.*, 2019).

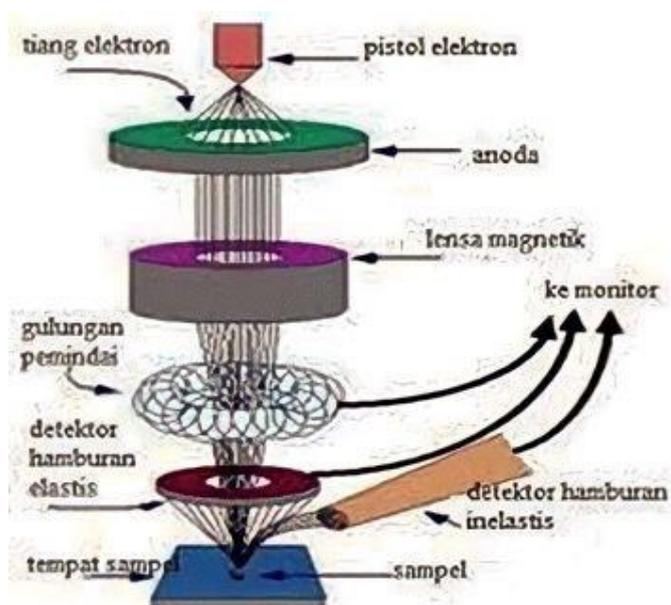
Penentuan *malachite green* dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang maksimum.

### 2.6.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

*Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. SEM memiliki prinsip memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) dipermukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan cara mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek (Anwar, 1989).

*Scanning* pada permukaan bahan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur *scanning* generator dan *scanning coils*. Elektron sekunder hasil interaksi antara elektron dengan permukaan spesimen ditangkap oleh detektor *Secondary Electron* (SE) yang kemudian diolah dan diperkuat oleh *amplifier* dan kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (CRT) (Osman *et al.*, 2014). Setiap jumlah sinar yang dihasilkan dari CRT dihubungkan dengan jumlah target, jika terkena berkas elektron berenergi tinggi dan menembus permukaan target, maka terjadi ionisasi atom dari cuplikan padatan. Elektron bebas ini tersebar keluar dari aliran sinar utama, sehingga tercipta lebih banyak elektron bebas, dengan demikian energinya habis lalu melepaskan diri dari target, dialirkan ke unit demagnifikasi dan dideteksi oleh detektor dan selanjutnya dicatat sebagai suatu foto (Goldstein *et al.*, 2018). Salah satu aspek penting dari PIM adalah struktur mikro dari bahan membran yang mengidentifikasi distribusi ekstrak dalam matriks polimer dan mempengaruhi transpor membran efisiensi. Hasil SEM secara konsisten menunjukkan pengaruh komposisi polimer pada morfologi membran (Nghiem *et al.*, 2006).

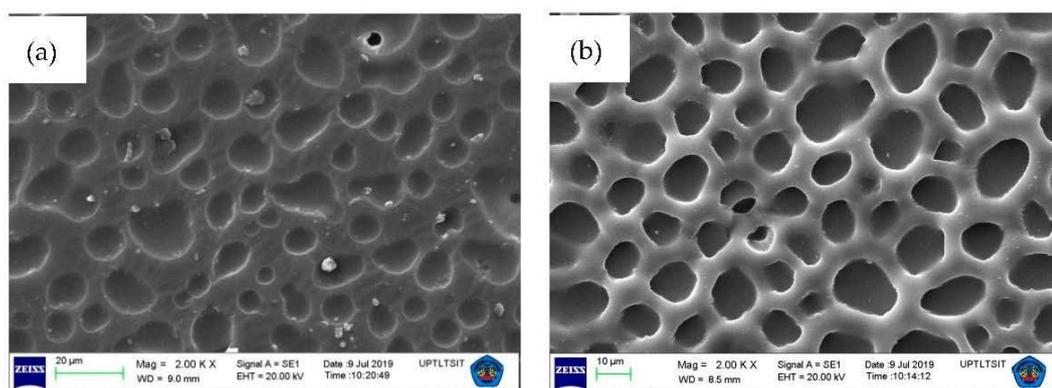
Prinsip kerja SEM ini adalah dengan menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas elektron yang dipantulkan dengan energi tinggi. Permukaan material yang disinari atau terkena berkas elektron akan memantulkan kembali berkas elektron atau dinamakan berkas elektron sekunder ke segala arah. Interaksi berkas elektron dengan spesimen akan menghasilkan pola difraksi elektron yang dapat memberikan informasi mengenai monografi ataupun topografi permukaan serta jenis unsur dan distribusinya. Tetapi dari semua berkas elektron yang dipantulkan terdapat satu berkas elektron yang 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 (Anwar, 1989). Suatu skema umum dari alat SEM dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Skema SEM (Siek, 2015).

Kiswandono *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa pH optimum yang diperoleh untuk mentranspor dengan menggunakan senyawa pembawa Co-EDVB 4% ke fasa penerima adalah 5,5, dengan konsentrasi 0,1 M fase penerima NaOH dan waktu transpor 72 jam. Selanjutnya, ditemukan bahwa penggunaan *plasticizer*

dan garam mempengaruhi kemampuan dan ketahanan membran. Umur hidup (*lifetime*) membran meningkat hingga 60 hari dengan penambahan 0,1 M  $\text{NaNO}_3$  atau garam  $\text{NaCl}$  pada fase sumber. Karakterisasi membran selanjutnya menggunakan SEM sebelumnya (Gambar 6a) dan setelah pengangkutan (Gambar 6b) untuk menunjukkan bahwa membran memiliki lubang yang disebabkan oleh erosi permukaan membran.



**Gambar 6.** Karakterisasi membran SEM PIM setelah pengangkutan dengan perbesaran 2000× (a) sebelum dan (b) setelah transpor (Kiswandono *et al.*, 2022).

SEM-EDX merupakan dua perangkat analisis yang digabungkan menjadi satu panel analisis sehingga mempermudah proses analitis dan efisien.

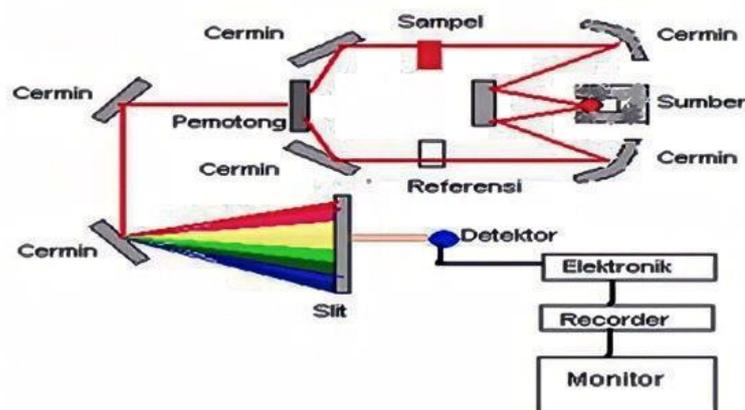
Karakterisasi menggunakan SEM-EDX bergantung dari interaksi dari beberapa eksitasi sinar-X dengan spesimen (Osman *et al.*, 2014). Metode SEM-EDX memiliki keunggulan untuk mengetahui morfologi atau struktur mikro permukaan sampel dan dilengkapi dengan detektor disperse energi dapat digunakan untuk mengetahui komposisi elemen-elemen pada sampel yang dianalisis (Kosasih dan Zainuri, 2012). Kemampuan untuk mengkarakterisasi sejalan dengan sebagian besar prinsip dasar yang menyatakan bahwa setiap elemen memiliki struktur atom yang unik, dan merupakan ciri khas dari struktur atom suatu unsur sehingga memungkinkan sinar-X untuk mengidentifikasinya (Sudradjat dan Bayuseno, 2014).

*Energy Dispersive X-Ray* (EDX) menunjukkan sinar X karakteristik yang diemisikan sebagai bentuk tumbukan elektron pada atom-atom bahan pada

sampel. Analisis dari radiasi sinar X karakteristik dapat menghasilkan informasi kualitatif dan kuantitatif tentang komposisi dari lokasi-lokasi pada sampel. Umumnya, alat ini digunakan untuk berbagai aplikasi termasuk interpretasi keberadaan mineral dan distribusinya (Julinawati *et al.*, 2015). Identifikasi dengan alat SEM-EDX dapat memberikan hasil yang lebih cepat dan akurat, juga metode ini sederhana dengan waktu penelitian yang singkat (Srivastava dan Jain, 2012). Dalam pengukuran SEM-EDX, setiap sampel dianalisis dengan menggunakan analisis area. Sinar elektron yang dihasilkan area *gun* dialihkan hingga mengenai sampel. Aliran sinar elektron ini selanjutnya difokuskan menggunakan elektron optik *columb* sebelum sinar elektron tersebut membentuk atau mengenai sampel. Setelah sinar elektron mengenai sampel, akan terjadi beberapa interaksi-interaksi pada sampel yang disinari. Interaksi –interaksi yang terjadi tersebut selanjutnya akan terdeteksi dan diubah kedalam sebuah gambar oleh analisis SEM dan dalam bentuk grafik oleh analisis EDX (Yurugi *et al.*, 2013).

### **2.6.3 *Fourier Transform Infra-Red (FT-IR)***

FT-IR digunakan untuk melakukan analisa kualitatif yaitu untuk mengetahui ikatan kimia yang dapat ditentukan dari spektra vibrasi gugus fungsi yang dihasilkan oleh suatu senyawa pada bilangan gelombang tertentu. Selain itu digunakan juga untuk analisa kuantitatif yaitu melakukan perhitungan tertentu dengan menggunakan intensitas. Karakterisasi menggunakan FT-IR dapat dilakukan dengan menganalisis spektra yang dihasilkan sesuai dengan puncak-puncak yang dibentuk oleh suatu gugus fungsi, karena senyawa tersebut dapat menyerap radiasi elektromagnetik pada daerah inframerah dengan panjang gelombang antara 2,5 – 50  $\mu\text{m}$ . Suatu skema umum dari alat FT-IR dapat dilihat pada Gambar 7.

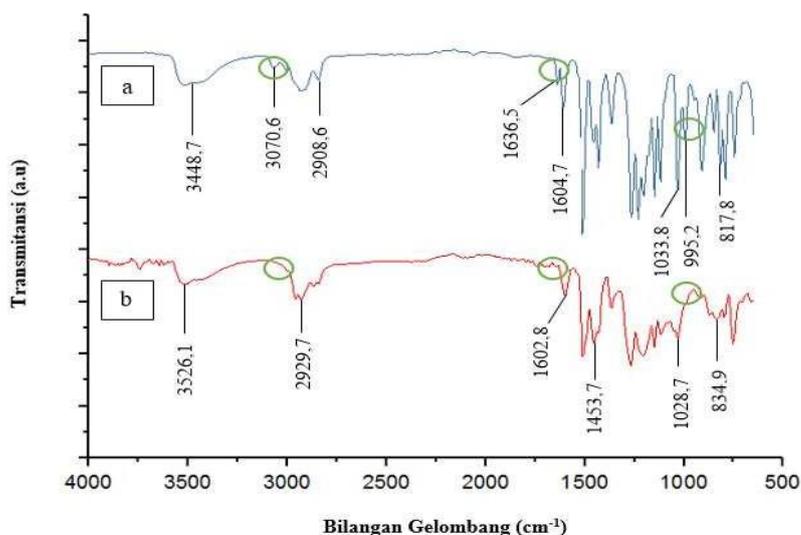


**Gambar 7.** Skema FT-IR (Gunawan dan Citra, 2010)

Prinsip dasar dari analisis FT-IR adalah penyerapan radiasi elektromagnetik oleh gugus-gugus fungsi tertentu dengan energi vibrasi dalam bentuk spektrum. Besarnya bilangan gelombang yang akan muncul bergantung pada kekuatan ikatan dan massa atom yang melakukan ikatan kimia. Saat sampel dilewati sinar inframerah, maka sejumlah frekuensi akan diserap dan sebagian lainnya ditransmisikan, selanjutnya diterjemahkan kedalam sebuah kurva spektrum inframerah. Instrumen FT-IR menggunakan sistem yang disebut dengan interferometer untuk mengumpulkan spektrum. Interferometer terdiri atas sumber radiasi, pemisah berkas, dua buah cermin, laser, dan detektor.

FT-IR digunakan untuk menentukan gugus fungsi dari sampel yang dibuat dan PIM oleh perbandingan itu dianalisis hasil dan itu yang ada fungsional kelompok standar seperti sebagai alkana (-CH dan -CH<sub>2</sub> obligasi), alkil halida (-CF, -CF<sub>2</sub> dan -CF<sub>3</sub> obligasi), aromatik kelompok, ester, alkohol (-P-OH), karbonil kelompok (C=O), hidroksil kelompok (-OH) dan ikatan karbon-karbon (ikatan CC dan CCC) (Jakriya *et al.*, 2018). Kiswando dkk (2022), menunjukkan hasil FT-IR antara eugenol dan Co-EDVB 10%. Senyawa eugenol memiliki gugus-gugus yang khas yaitu senyawa aromatis tersubstitusi 1, 2, 4 yang ditunjukkan oleh pita serapan pada bilangan gelombang 817,82 cm<sup>-1</sup>. Serapan pada bilangan gelombang 995,27 cm<sup>-1</sup> menunjukkan ikatan C-H gugus tak jenuh vinil (CH=CH<sub>2</sub>), pita serapan 1033,85 cm<sup>-1</sup> menunjukkan adanya regangan gugus eter (-C-O-C-) dan serapan pada 3448,72 cm<sup>-1</sup> menunjukkan adanya gugus -

OH. Selain itu terdapat serapan pada  $1636,5 \text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan regangan gugus alil untuk  $\text{C}=\text{C}$  dan regangan  $\text{Csp}^3\text{-H}$  pada bilangan gelombang  $2908,65 \text{ cm}^{-1}$ . Perbedaan yang jelas antara hasil FTIR eugenol (Gambar 8a) dan Co-EDVB 10% (Gambar 8b) menunjukkan polimerisasi Co-EDVB 10% telah berhasil dilakukan. Hasil pengujian titik leleh polimer ini dapat dilihat pada Tabel 3.



**Gambar 8.** Spektra FTIR dari (a) eugenol dan (b) Co-EDVB 10% (Kiswandono dkk., 2022)

**Tabel 3.** Perbandingan gugus fungsi hasil FTIR eugenol dengan Co-EDVB 10%

Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )		Gugus Fungsi
Eugenol	Co-EDVB	
817,82	834,9	Aromatis tersubstitusi
995,27	Hilang	C–H Vinil
1033,85	1028,7	Regangan gugus eter ( $-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$ )
1604,77	1602,8	Regangan gugus $\text{C}=\text{C}$ aromatik
1636,5	Hilang	Regangan gugus alil ( $\text{C}=\text{C}$ )
2908,65	2929,7	Regangan $\text{Csp}^3\text{-H}$
3070,68	Hilang	Regangan $\text{Csp}^2\text{-H}$
3448,72	3526,1	Regangan gugus $-\text{OH}$

(Sumber: Kiswandono dkk., 2022).

Pembentukan Co-EDVB 10% ditandai dengan hilangnya serapan regangan gugus alil C=C ( $1636,5\text{ cm}^{-1}$ ), ikatan C-H vinil ( $-\text{CH}=\text{CH}_2$ ) ( $995,27\text{ cm}^{-1}$ ) dan regangan Csp<sup>2</sup>-H pada serapan  $3070,68\text{ cm}^{-1}$ . Selain itu, masih terdapat serapan pada  $2929,7\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya regangan Csp<sup>3</sup>-H dan adanya regangan gugus -OH ditunjukkan pada serapan  $3526,1\text{ cm}^{-1}$ .

Regangan gugus C=C aromatik pada benzena ditunjukkan pada serapan  $1602,8\text{ cm}^{-1}$  yang diperkuat dengan serapan  $1453,7\text{ cm}^{-1}$  dan gugus (-C-O-C-) eter pada bilangan gelombang  $1028,7\text{ cm}^{-1}$ . Selain dikarakterisasi menggunakan FTIR, pada sintesis Co-EDVB 10% juga dilakukan pengujian titik leleh terhadap serbuk kopoli(eugenol-DVB).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Januari 2023 sampai dengan Maret 2023 di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi senyawa pembawa Co-EDVB 2% dan membran PIM menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung. Analisis *malachite green* menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Botani, Jurusan Biologi, FMIPA Unila dan Analisis logam menggunakan *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah *magnetic stirrer*, *magnetic bar*, neraca digital analitik (Mettler Toledo AB54-S), pipet tetes, spatula, corong pisah, statif dan klem, *chamber* berdiameter 3,5 cm, mortal dan alu, pH meter (Hanna Instrument HI 83141), gelas ukur, gelas beaker, aluminium foil, tisu, batang pengaduk, spatula, labu bundar, labu ukur, cetakan membran 5 cm, tisu, *thickness gauge* (Ghatin), *Scanning Electron Microscopy– Energy*

*Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) (ZEISS EVO MA 10), *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) (Cary 630), dan Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu 1800).

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *malachite green*, Co-EDVB 2%, akuabides, *polyvinyl chloride* (PVC), dibenzileter (DBE), tetrahidrofuran (THF), HNO<sub>3</sub>, akuades, PbCO<sub>3</sub>, dan CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O.

### 3.3 Metode Optimasi Transpor

#### 3.3.1 Pembuatan Membran *Polymer Inclusion Membrane* (PIM)

Mencetak atau membuat membran PIM dengan berat total 0,2700; 0,5400 dan 1,0800 g dalam suatu cetakan yang telah dilengkapi dengan *spin bar* (Tabel 4). Komponen penyusun membran yaitu Co-EDVB 2% sebagai senyawa pembawa, PVC sebagai polimer dasar, dan DBE sebagai *plasticizer*. Tetrahidrofuran (THF) sebanyak 10 mL digunakan pada setiap membran PIM yang berfungsi sebagai pelarut untuk menghomogenkan campuran dalam cetakan, kemudian hasil cetakan didiamkan selama tiga hari untuk menguapkan pelarut secara alami.

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

Membran	Co-EDVB (g)	PVC (g)	DBE (g)	Berat Total (g)
T <sub>27</sub>	0,0270	0,0864	0,1556	0,2700
T <sub>54</sub>	0,0540	0,1728	0,3132	0,5400
T <sub>108</sub>	0,1080	0,3456	0,6264	1,0800

Setelah membran PIM dibuat, kemudian ditimbang terlebih dahulu sebelum digunakan untuk proses transpor *malachite green* yang dilakukan pada *chamber*. Fasa sumber berisi larutan *malachite green* 25 ppm dan fasa penerima berisi HNO<sub>3</sub> yang berperan sebagai senyawa pengikat. Karakterisasi membran sebelum

dan sesudah transpor dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

### **3.3.2 Pembuatan Larutan Induk *Malachite Green*, Pembuatan Limbah Buatan dan Pengukuran Konsentrasi *Malachite Green* dalam Fasa Sumber**

Pembuatan larutan induk *malachite green* 1000 ppm dibuat dengan cara melarutkan 1g *malachite green* dalam 1000 mL akuades.

Pembuatan limbah buatan, yaitu dengan memasukkan 0,0250 g *malachite green*, 0,0400 g  $\text{PbCO}_3$ , dan 0,0738 g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dalam labu ukur 250 mL, kemudian ditambahkan akuades sampai tanda tera. Larutan yang dihasilkan untuk konsentrasi 100 ppm, kemudian larutan diencerkan dalam 25 ppm dengan volume 250 mL yang akan digunakan pada penelitian ini.

Pengukuran konsentrasi *malachite green* pada fasa sumber, terlebih dahulu ditentukan panjang gelombang maksimum. Penentuan panjang gelombang maksimum *malachite green* dilakukan dengan cara mengambil larutan *malachite green* yang telah disiapkan ke dalam kuvet, lalu untuk mengetahui panjang gelombang maksimum, larutan *malachite green* 25 ppm diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400 nm sampai 800 nm.

Pada fasa sumber, fasa penerima dan larutan standar *malachite green* (2, 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 ppm) masing-masing diambil sebanyak 5 mL. Sampel tersebut kemudian dimasukkan ke dalam kuvet, lalu 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 yang sudah dicetak dan mengandung senyawa pembawa ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL  $\text{HNO}_3$  1 M sebagai fasa penerima dan masing-masing 50 mL *Malachite green* 25 ppm sebagai fasa sumber dengan pH yang telah divariasikan yaitu 5,0; 6,0; 7,0 8,0 dan 9,0. Pipa transpor ditutup dan diaduk selama 12 jam

dengan pengaduk magnet. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya sebanyak 5 mL. Konsentrasi *malachite green* yang terdapat didalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

### 3.3.4 Variasi Konsentrasi HNO<sub>3</sub> pada Fasa Penerima

Variasi konsentrasi HNO<sub>3</sub> pada fasa penerima adalah 0,50; 0,75; 1,00; 1,25 dan 1,50 M dilakukan dengan pengenceran dari HNO<sub>3</sub> pekat 13 M. Dipipet HNO<sub>3</sub> dengan variasi konsentrasi 0,50 M sebesar 9,6 mL, 0,75 M sebesar 14,4 mL, 1 M sebesar 19,2 mL, 1,25 M sebesar 24 mL, dan 1,5 M sebesar 28,8 mL dari larutan HNO<sub>3</sub> pekat 13 M, lalu dimasukkan masing-masing dalam labu ukur 250 mL, kemudian ditambahkan akuades sampai tanda tera. Membran PIM dengan ketebalan normal yang sudah dicetak dan mengandung senyawa pembawa ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL HNO<sub>3</sub> sebagai fasa penerima dan 50 mL *malachite green* 25 ppm dengan pH optimum sebagai fasa sumber. Pipa transpor ditutup dan diaduk selama 12 jam dengan pengaduk magnet. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya sebanyak 5 mL. Konsentrasi *malachite green* yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

### 3.3.5 Variasi Ketebalan Membran

Membran PIM dengan variasi ketebalan tipis (T<sub>27</sub>), normal (T<sub>54</sub>), dan tebal (T<sub>108</sub>) yang sudah dicetak dan mengandung senyawa pembawa ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL HNO<sub>3</sub> konsentrasi optimum sebagai fasa penerima dan 50 mL *malachite green* 25 ppm dengan pH optimum sebagai fasa sumber. Pipa transpor ditutup dan diaduk selama 12 jam dengan pengaduk magnet. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya sebanyak 5 mL. Konsentrasi *malachite green* yang terdapat di dalam

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

### 3.3.6 Variasi Konsentrasi Senyawa Pembawa

Membran PIM dengan ketebalan normal T<sub>54</sub> yang sudah dicetak dan mengandung variasi konsentrasi senyawa pembawa (Tabel 5) ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL HNO<sub>3</sub> sebagai fasa penerima optimum dan 50 mL *malachite green* 25 ppm sebagai fasa sumber optimum. Pipa transpor ditutup dan diaduk selama 12 jam dengan pengaduk magnet. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya sebanyak 5 mL. Konsentrasi *malachite green* yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

**Tabel 5.** Variasi konsentrasi senyawa pembawa

Membran	Co-EDVB (M)	PVC (g)	DBE (g)	(g)
1	0,01	0,1728	0,3132	0,0887
2	0,02	0,1728	0,3132	0,1774
3	0,03	0,1728	0,3132	0,2661
4	0,04	0,1728	0,3132	0,3548
5	0,05	0,1728	0,3132	0,4435

### 3.3.7 Variasi Waktu Transpor

Membran PIM dengan ketebalan optimum yang sudah dicetak dan mengandung senyawa pembawa ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL HNO<sub>3</sub> konsentrasi optimum sebagai fasa penerima dan 50 mL *Malachite green* 25 ppm dengan pH optimum sebagai fasa sumber. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan variasi waktu selama 6, 9, 12, 18, dan 24 jam

dengan pengaduk magnet. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya sebanyak 5 mL. Konsentrasi *malachite green* yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Setelah didapatkan hasil dan data transpor kemudian ditentukan kinetika transpor meliputi orde reaksi, 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).

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

Keterangan:

%*Recovery* = % *malachite green* yang terdapat di dalam fasa penerima

$C_{0\ sumber}$  = Konsentrasi awal *malachite green* di dalam fasa sumber (ppm)

$C_{penerima}$  = Konsentrasi *malachite green* di dalam fasa penerima (ppm)

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

Keterangan:

%*Removal* = % *malachite green* yang terdapat di dalam fasa penerima

$C_{0\ sumber}$  = Konsentrasi awal *malachite green* di dalam fasa sumber (ppm)

$C_{sumber}$  = Konsentrasi *malachite green* di dalam fasa sumber (ppm)

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

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)

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

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<sub>p</sub> = Konsentrasi permeat (konsentrasi *malachite green* yang ada pada fase penerima)

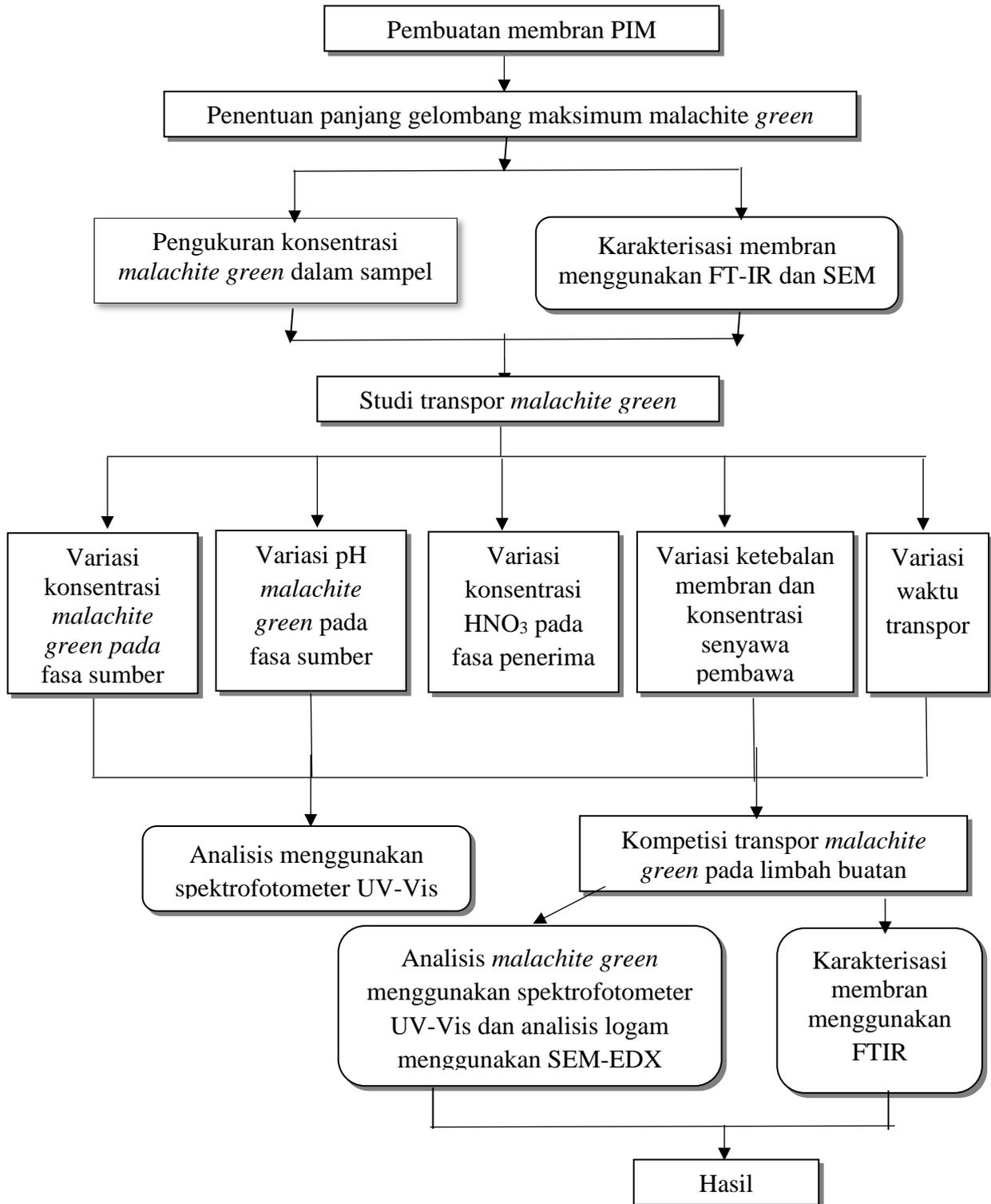
C<sub>t</sub> = Konsentrasi awal fase sumber saat t optimum.

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

Sampel limbah buatan dibuat dengan mencampurkan *malachite green*, PbCO<sub>3</sub>, dan CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O dengan konsentrasi masing-masing 25 ppm. Selanjutnya dilakukan transpor menggunakan membran PIM dengan ketebalan optimum yang sudah dicetak. Membran ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor. Kemudian dimasukkan 50 mL limbah buatan sebagai fasa sumber dan 50 mL HNO<sub>3</sub> 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 *malachite green* di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis, sementara analisis logam Cu(II) dan Pb(II) yang terdapat di dalam fasa penerima ditentukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX).

### 3.4 Diagram Alir

Diagram alir dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Diagram alir penelitian

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.5 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Transpor *malachite green* mencapai nilai optimum pada kondisi pH fasa sumber 7, konsentrasi fasa penerima 0,50 M dengan ketebalan membran T<sub>54</sub> selama waktu transpor 18 jam diperoleh jumlah *malachite green* yang tertranspor ke fasa penerima (%*removal*) sebesar 90,95%.
2. Keberadaan logam Cu(II) dan Pb(II) pada limbah buatan mengganggu proses transpor *malachite green* dari fasa sumber ke fasa penerima berdasarkan %*removal malachite green* 87,93% dibandingkan dengan konsentrasi *malachite green* dengan logam kompetitor Cu(II) dan Pb(II) pada limbah buatan yaitu sebesar 80,79% dan persentase logam Cu(II) sebesar 2,80% serta logam Pb(II) sebesar 14,24%.
3. Hasil karakterisasi SEM membran PIM setelah transpor *malachite green* memiliki permukaan yang tidak rata dan memiliki pori akibat komponen membran yang hilang (*leaching*) serta dibuktikan pula dengan uji FT-IR yang menunjukkan adanya pergeseran pita serapan dan penurunan intensitas.

## 5.1 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu perlu dilakukannya kajian lebih lanjut terkait transpor *malachite green* dengan beberapa senyawa pembawa dan variasi beberapa logam yang dapat dijadikan kompetitor lainnya untuk lebih mengoptimalkan *recovery malachite green* dalam persentase konsentrasi *malachite green* yang tertranspor ke fasa penerima (%Cp).

## DAFTAR PUSTAKA

- Almeida, M. I. G. S., Cattrall, R. W., and Kolev, S. D. 2012. Recent Trends in Extraction and Transport of Metal Ions using Polymer Inclusion Membranes (PIMs). *Journal of Membrane Science*, 9 (23) : 415–416.
- Almeida, M. I. G. S., Cattrall, R. W., and Kolev, S. D. 2017. Polymer Inclusion Membranes (PIMs) in Chemical Analysis. *Analytica Chimica Acta*, 7 : 1–14.
- Amin, N. H. M., Mehamod, F. S., and Suah, F. B. M. 2019. A Novel Approach in Simultaneous Extraction of Basic Dyes by using a Batch Reactor Consisting A Polymer Inclusion Membrane. *Alexandria Engineering Journal*, 58(3) : 929–935.
- Anisa, S., Erwin, dan Sunit, H. 2016. *Pembuatan dan Pengukuran Sifat Kelistrikan Membran Fuel Cell dengan Struktur Supramolekular dan Ikatan Silang*. Universitas Riau. Riau. 1-6.
- Anwar, N. M. 1989. *Teknik Spektroskopi dalam Analisis Biologis*. Bogor: Institut Pertanian Bogor Press. 27.
- Ashraf, M. W., 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.
- Benosmane, N., Boutemour, 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 TiO<sub>2</sub>-anatase dan ZnO. *Elkawanie*, 3(1) : 1–10.
- Bonggotgetsakul, Y. Y. N., Robert, Cattrall, R.W., and Kolev, S. 2013. A Method for the Coating of a Polymer Inclusion Membrane with a Monolayer of Silver Nanoparticles. *Journal of Membrane Science*, 428: 142-149.

- Bouraie, M. E. 2015. Removal Of The Malachite Green (MG) Dye From Textile Industrial Wastewater Using The Polyurethane Foam Functionalized With Salicylate. *Dispersion Science Technology Journal*, 36: 1228–1236.
- Bozejewicz, D., Witt, K., and Kaczorowska, M. A. 2021. The Comparison of the Removal of Copper (II) and Zinc (II) Ions From Aqueous Solution using 2,6-Diaminopyridine in a Polymer Inclusion Membrane and in a Classic Solvent Extraction. *Desalination and Water Treatment Journal*, 214: 194–202.
- Cho, Y., Cattrall, R. W., and Kolev, S. D. 2018. A Novel Polymer Inclusion Membrane Based Method for Continuous Clean-up of Thiocyanate from Gold Mine Tailings Water. *Hazardous Materials Journal*, 341: 297-303.
- Djunaidi, M. C., Wibawa, P. J., and Murti, R. H. 2018. Synthesis of a Novel Carrier Compound Thiazoethyl Methyl Eugenoxyacetate from Eugenol and Its Use in the Bulk Liquid Membrane Technique. *Indonesian Journal of Chemistry*, 18(1) : 121–126.
- Fan, J. . Fan, Y., Pei, Y., Wu, K., Wang, J., and Fan, M. 2008. Solvent Extraction of Selected Endocrine-Distrupting Phenols Using Ionic Liquid. *Separation and Purification Technology*, 61 : 324-331.
- Ferraz, G., Nichols, J. D., Hines, J. E., Stouffer, P. C., Bierregaard, R. O., and Lovejoy, T. E. 2007. A Large-Scale Deforestation Experiment: Effects of Patch Area and Isolation on Amazon Birds. *Science Journal*, 315: 238-241.
- Fessenden, R. J., and Fessenden, J. S. 1997. *Dasar - Dasar Kimia Organik Terjemahan Oleh S. Waun*. Bina Aksara. Jakarta. 707.
- Gardner, J.S., Peterson, Q.P., Walker, J.O., Jensen, B.D., Adhikary, B., Harrison, R.G., and Lamb, J.D. 2006. Anion Transport Through Polymer Inclusion Membranes Facilitated by Transition Metal Containing Carriers. *Journal Membrane Science*, 277(1-2) : 165-167.
- Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., and Joy, D. C. 2018. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, Springer. New York. 86.
- Gunawan, B., dan Azhari, C. D. 2010. *Karakterisasi Spektrofotometri IR dan Scanning Electron Microscopy (SEM) Sensor Gas dari Bahan Polimer Poly ethelyn Glycol (PEG)*. Univeristas Muria Kudus. Jawa Tengah. 1-17.

- Handayani, D. S., Kusumaningsih, T., Yuli, M. 2004. Synthesis of Co-Poly(Eugenol Sulfonate)-DVB from Eugenol as a Major Component of *Syzygium Aromaticum* Oils. *Biofarmasi Journal of Natural Product Biochemistry*, 2(2) : 53–57.
- Harimu, L., Matsjeh, S., Siswanta, D., and Santosa, S.J., 2012. Sintesis Polieugenol Oksiasetat sebagai Pengembangan untuk Pemisahan Ion Logam Berat Fe(III), Cr(III), Cu(II), Ni(II), Co(II), dan Pb(II) menggunakan Metode Ekstraksi Pelarut. *Indonesia Journal Chemistry*, 9(2): 261-266.
- Iman, H. I. N., Darsin, M., dan Sakura, R. R. 2019. Analisis Ketebalan Lapisan pada Pengecatan Baja Karbon Rendah menggunakan Metode Respons Permukaan. *Sintek Jurnal: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 13(2) : 65.
- Jakriya, S. P., Syed, A. M., Pillai, S. K., dan Rahim, D. B. 2018. High Performance Poly(vinylidene Hexafluoropropylene) based Electrospun Polyelectrolyte Mat for Lithium Ion Battery. *Material Express Journal*, 8(1) : 77-84.
- Julinawati, Marlina, Nasution, and Sheilatina. 2015. Applying SEM-EDX Techniques to Identifying the Types of Mineral of Jades (Giok) Takengon, Aceh. *Jurnal Natural Unsyiah*, 15(2) : 44–48.
- Kaya, A., Onac, C., Alpoguz, H. K., and Yilmaz, A. 2016. Removal of Cr(VI) Through Calixarene based Polymer Inclusion Membrane from Chrome Plating Bath Water. *Chemical Engineering Journal*, 283 : 141–149.
- Ketaren, S. 1985. *Pengantar Teknologi Minyak Atsiri*. Balai Pustaka. Jakarta. 218.
- Kim, H.K., Kim, C.W., Vo, M. T., Lee, H.H., Lee, J.Y., Yoon, N.A., Lee, C.Y., Moon, C.H., Min, Y.J., Park, J.W., and Cho, W. J. 2012. Expression of Proviral Integration Site for Moloney Murine Leukemia Virus 1 (PIM-1) is Post-Transcriptionally Regulated by Tristetraprolin in Cancer Cells Through SLM. *Journal of Biological Chemistry*, 287(34) : 18.
- Kislik, V. S. 2009. *Liquid Membranes: Principles and Application in Chemical Separations and Wastewater Treatment, Chapter 3: Supported Liquid Membranes and Their Modifications: Definition, Classification, Theory, Stability, Application and Perspective, First Edition*. Hebrew University of Yerusalem. Yerusalem. 34.
- Kiswando, A.A. 2010. Studi Transpor Fenol dengan Menggunakan Membran Cair Polieugenol. *Tesis*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta. 38-42.

- Kiswandono, A. A., Sutopo, H., Mudasir, Fatry, S., Sari, M. Y., & Muhammad, I. 2019. Copoly Eugenol Crosslinked Dialylphthalate 8 % as a Carrier in Phenol and Pb ( II ) Metal Transport. *Journal of Physics*, 13 : 38.
- Kiswandono, A. A., Siswanta, D., Aprilita, N. H., Santosa, S. J., and Hayashita, T. 2013. Extending the Life Time of Polymer Inclusion Membrane Containing Copoly(Eugenol-DVB) as Carrier for Phenol Transport. *Indonesian Journal of Chemistry*, 13(3) : 254–261.
- Kiswandono, A.A., Sonny, W., Dessy, T. E. N. S., Supriyanto, R., Qudus, H. I., Rinawati, 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., Nusantari, C. S., Rinawati, 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 Journal*, 12 : 295.
- Kiswandono, A. A., Siswanta, D., Aprilita, N. H., Santosa, S. J., and Hayashita, T. 2014. The Capability of Copoly (Eugenol-Divinylbenzene), Co-EDVB as a Carrier of Phenol Transport with Polymer Inclusion Membrane (PIM). *Journal of Environmentally Friendly Processes*, 2(2) : 57–68.
- Kiswandono, A. A., Siswanta, D., Aprilita, N. H., and Santosa, S. J. 2012. Transport of Phenol Through Inclusion Polymer Membrane (PIM) using Copoly(Eugenol-DVB) as Membrane Carriers. *Indonesian Journal of Chemistry*, 12(2) : 105–112.
- Kosasih, A. N., dan Zainuri, M. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Sifat Magnetik Serbuk Barium M-Heksaferrit dengan Doping Ion Zn pada Variasi Temperatur Rendah. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 1(1) : 52–54.
- Kozłowski, C., and Walkowiak, W. 2004. Transport of Cr(VI), Zn(II), and Cd(II) Ions Across Polymer Inclusion Membranes with Tridecyl(Pyridine) Oxide and Tri-N-Octylamine. *Separation Science and Technology Journal*, 39(13) : 3127–3141.
- Kusnanto, M. W., 2012. *Analisis Spektrofotometri UV-Vis "Penentuan Konsentrasi Permanganat (KMnO<sub>4</sub>)*. Universitas Muhammadiyah Purwokerto. Jawa Tengah. 31-39.

- Kusumocahyo, S. P., Sumarua, K., Iwatsuho, T., and Shinbo, T. 2006. Quantitative Analysis of Transport Process of Cerium (III) Ion Through Polymer Inclusion Membrane Containing N,N,N,N-tetraoctyl-3-oxapentanediene (TODGA) as Carrier. *Journal of Membranes Sciences*, 1(2) : 73-81
- Ling, Y. Y., and Suah, F. B. 2017. Extraction Of Malachite Green From Wastewater by Using Polymer Inclusion Membrane. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(1) : 785–794.
- Mamat, N. A., and See, H. H. 2017. Simultaneous Electromembrane Extraction of Cationic and Anionic Herbicides Across Hollow Polymer Inclusion Membranes with a Bubbleless Electrode. *Journal of Chromatography A*, 15 : 9–16.
- Maslahat, M., dan Kiswandono, A. A. 2011. Studi Transpor Senyawa Fenol menggunakan Pelarut Diklorometana Jurusan Kimia , Fakultas Mipa , Universitas Nusa Bangsa Bogor. *Sains Natural Universitas Nusa Bangsa*, 1(2) : 145–155.
- Mazumder, N.A., and Ruma, R. 2022. Preparation of Fly Ash-Ag<sub>2</sub>O Nanoaggregates as Highly Capable Photocatalyst for Malachite Green Dye Degradation Under Solar Irradiation. *Materials Journal*, 65(5) : 2889-2893.
- Meng, X., Gao, C. G., Wang, L., Wang, X., Tang, W., and Chen, H. 2015. Transport of Phenol Through Polymer Inclusion Membrane with N,N-di(1-methylheptyl) Acetamide as Carriers From Aqueous Solution. *Journal of Membrane Science*, 493 : 615–621.
- Minhas, M. A., Rauf, A., Rauf, S., Minhas, F. T., Memon, N., Jabbar, A., Bhangar, M. I., and Malik, M. I. 2021. Selective and Efficient Extraction of Cationic Dyes from Industrial Effluents Through Polymer Inclusion Membrane. *Separation and Purification Technology*, 272 : 1188.
- Mulja, M., dan Suharman. 1995. *Analisis Instrumental*. Airlangga University Press. Surabaya. 27-40.
- Mwakalesi, A. J., and Potter, I. D. 2020. Removal of Picloram Herbicide from an Aqueous Environment using Polymer Inclusion Membranes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5) : 103936
- Nghiem, L. D, Mornane, P., Potter, I. D., Perera, J. M., Cattrall, R. W., and Kolev, S. D. 2006. Extraction and Transpor of Metal Ions and Small Organic Compounds using Polymer Inclusion Membranes (Pims). *Journal of Membrane Science*, 281: 8-37.

- Osman, E., Zidan, Y., & Kamal, N. (2014). Using the Microscopic and Spectroscopic Techniques to Identify and Characterize Archeological Artifacts. *International Journal of Conservation Science*, 5(4), 459–468.
- Pang, Y. L., and Abdullah, A. Z. 2013. Current Status of Textile Industry Wastewater Management and Research Progress in Malaysia. *Clean–Soil Air Water*, 41(8) : 751–764.
- Pathy, A., Krishnamoorthy, N., Chang, S. X., and Paramasivan, B. 2022. Malachite Green Removal using Algal Biochar and its Composites with Kombucha Scoby: an Integrated Biosorption and Phycoremediation Approach. *Surfaces and Interfaces*, 30(3) : 217-220.
- Qiu, X. jing, Tang, J., Tan, J., Hu, H. P., Ji, X. B., & Hu, J. G. 2021. Selective Recovery of Cu(II) Through Polymer Inclusion Membranes Mediated with 2-Aminomethylpyridine Derivatives. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 31(11), 3591–3601.
- Ravi, S., Shoparwe, N. F., Abdul-Halim, N. S., Makhtar, M. M. Z., and Shukor, H. 2021. Fabrication and Characterisation of Polyvinylidene Fluoride Co-Hexafluoropropylene Polymer Inclusion Membranes for Reactive Orange 16 Dye Removal. in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing Bristol. UK. 9 : 765.
- Rusly, M., Othman, N., and Rahman, H. 2018. Liquid Membrane Component Selection for Removal of Phenol from Simulted Aqueous Waste Solution. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 22(4) : 702-714.
- Rynkowska, E., Fatyeyeva, K., Kujawa, J., Dzieszkowaki, K., Wolan, A., and Kujawski, W. 2018. The Effect Of Reactive Ionic Liquid Or Plasticizer Incorporation On The Physicochemical And Transport Properties Of Cellulose Acetate Propionate-Based Membranes. *Polymers Journal*, 10(1). 86.
- Sastrohamidjojo, H. 2014. *Kimia Minyak Atsiri*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 248 .
- Setyowati, L., dan Anwar, C. 2008. *Pengaruh Penambahan Divinil Benzena (DVB) pada Kopolimerisasi Kationik Eugenol-DVB dan Sifat Pertukaran Kation Kopoligaramnya*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta. 23.
- Shivaji, S., Sinha, R., and Roy, D. 2004. Toxicological Effects of *Malachite Green*. *Aquatic Toxicology*, 66(3) : 319-329.

- Skoog, D. A., Donald M., West, F., James, H., Stanley, R., and Crouch. 1996. *Fundamentals of Analytical Chemistry 7<sup>th</sup> Edition*. Saunders College Publishing. Philadelphia. 40-45.
- Soo, J. A. L., Shoparwe, N. F., Otitoju, T. A., Mohamad, M., Tan, L. S., Li, S., and Makhtar, M. M. Z. 2021. Characterization and Kinetic Studies of Poly(Vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) Polymer Inclusion Membrane for the Malachite Green Extraction. *Membranes*, 11(9) : 1–24.
- Srivastava, A., and Jain, V. K. 2012. Applying SEM-EDX and XRD Techniques to Demonstrate the Overgrowth of Atmospheric Soot and Its Coalescence with Crystal Silicate Particles in Delhi. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2(1) : 89–93.
- Sudarlin dan Winarto, H. 2017. Polimerisasi Eugenol Minyak Daun Cengkeh Hasil Redistilasi, Ekstraksi, dan Fraksinasi Menggunakan Katalis Asam Sulfat Pekat. *Jurnal Kimia Valensi*, 3(1) : 50-58.
- Sudradjat, A., dan Bayuseno, A. P. 2014. Analisis Korosi dan Kerak Pipa Nickel Alloy N06025 pada Waste Heat Boiler. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 2(1) : 40–45.
- Sukmawati, P., dan Utami, B. 2014. Adsorpsi Zat Pewarna Tekstil Malachite Green Menggunakan Adsorben Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao*) Teraktivasi HNO<sub>3</sub>. *Prosiding Seminar Nasional Fisika Dan Pendidikan Fisika (SNFPF)*, 5(1) : 19–25.
- Vazquez M.I., Romero V., Fontàs C., Anticó E., and Benavente J. 2014. Polymer Inclusion Membranes (Pims) with the Ionic Liquid (IL) Aliquat 336 as Extractant: Effect of Base Polymer and IL Concentration on Their Physical–Chemical and Elastic Characteristics. *Journal of Membrane Science*, 455: 312-319.
- Venkateswaran, C., Palanivelu, and Kumar, T. M. 2006. Psycho-Oncology in India: Emerging Trends from Kerala. *Indian Journal of Palliative Care*, 12: 34-38.
- Wang, D., Cattrall, R. W., Li, J., Almeida, M. I. G. S., Stevens, G. W., and Kolev, S. D. 2017. A Poly(Vinylidene Fluoride-Co-Hexafluoropropylene) (PVDF-HFP)-Based Polymer Inclusion Membrane (PIM) Containing LIX84I for The Extraction and Transport of Cu(II) from its Ammonium Sulfate/Ammonia Solutions. *Journal of Membrane Science*, 542 : 272–279.

- Walkowiak, W., Ulewicz, M., and Kozłowski, C. A. 2002. Application of Macrocyclic Compounds For Metal Ions Separation and Removal – A Review. *Ars Separatoria Acta*, 1: 87–98.
- Yurugi, T., Ito, S., Numata, Y., & Sykes, K. 2013. Sem/Edx-Integrated Analysis System Semedx Series Improved Operability the Semedx Series Application Technologies. *Application Technologies Software Hardware*, 22 : 14–18.
- Zheng, H.D., Wang, B. Y., Wu, Y. X., and Ren, Q. L. 2009. Instability Mechanisms of Supported Liquid Membranes for Copper (II) Ion Extraction. *Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects*, 351: 38-45.
- 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.
- Zannah, M. 2020. *Isoterm Adsorpsi Metilen Biru oleh Biochar dari Kulit Singkong (Manihot Esculenta Crantz) yang Dimodifikasi menggunakan Magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta. 28.