

**STUDI TRANSPOR *MALACHITE GREEN* MENGGUNAKAN METODE  
*POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM)* DENGAN *COPOLY-*  
*EUGENOL ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT (Co-EEGDMA) 2%*  
SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA**

(Skripsi)

Oleh

**AHDA BAYANI AWALIYAH**



**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 ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT (Co-EEGDMA) 2%* SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA

Oleh

AHDA BAYANI AWALIYAH

Penelitian mengenai studi transpor *malachite green* menggunakan metode *Polymer Inclusion Membrane (PIM)* dengan *Copoly-Eugenol Etilen Glikol Dimetakrilat (Co-EEGDMA) 2%* sebagai senyawa pembawa telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui optimasi PIM dengan senyawa pembawa Co-EEGDMA 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. Preparasi membran dilakukan dengan mencampurkan Co-EEGDMA 2%, polivinil klorida (PVC), dan dibenzil eter (DBE) ke dalam pelarut tetrahidrofuran (THF). Konsentrasi *malachite green* setelah transpor ditentukan dengan spektrofotometer UV-Vis dan absorbansinya diukur pada panjang gelombang 613 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran PIM dengan senyawa pembawa Co-EEGDMA 2% mampu mentranspor *malachite green* secara efektif sebesar 91,53% pada kondisi optimum: pH fasa sumber 9, konsentrasi fasa penerima 0,50 M, ketebalan membran PIM T<sub>54</sub>, komposisi senyawa Co-EEGDMA 2% 4x10<sup>-2</sup> M dan waktu transpor 18 jam. Membran PIM sebelum dan setelah transpor dikarakterisasi menggunakan FT-IR dan SEM. Transpor *malachite green* dengan logam Pb(II) dan Cu(II) menghasilkan konsentrasi *malachite green* yang tetranspor lebih kecil dibandingkan transpor *malachite green* tanpa logam (kontrol). Keberadaan logam kompetitor mengakibatkan adanya gangguan terhadap proses transpor *malachite green* dari fasa sumber ke fasa penerima.

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

## ABSTRACT

### STUDY TRANSPORT OF MALACHITE GREEN USING POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM) METHOD WITH COPOLY-EUGENOL ETHYLENE GLYCOL DIMETHACRYLATE (Co-EEGDMA) 2% AS A CARRIER

By

AHDA BAYANI AWALIYAH

Research on malachite green transport using the Polymer Inclusion Membrane (PIM) method with Copoly-Eugenol Ethylene Glycol Dimethacrylate (Co-EEGDMA) 2% as a carrier compound has been carried out. This study aims to determine the optimization of PIM with 2% Co-EEGDMA carrier compound by studying the effect of malachite green pH on the source phase, HNO<sub>3</sub> concentration on the receiving phase, membrane thickness, carrier compound concentration, and malachite green transport time, as well as studying malachite green transport competition. on man-made waste. Membrane preparation was carried out by mixing 2% Co-EEGDMA, polyvinyl chloride (PVC), and dibenzyl ether (DBE) into tetrahydrofuran (THF) solvent. The concentration of malachite green after transport was determined with a UV-Vis spectrophotometer and the absorbance was measured at a wavelength of 613 nm. The results showed that the PIM membrane with Co-EEGDMA 2% carrier compound was able to effectively transport malachite green 91.53% under optimum conditions: source phase pH 9, receiving phase concentration 0.50 M, PIM membrane thickness  $T_{54}$ , carrier compound concentration  $4 \times 10^{-2}$  M, and transport time 18 hours. PIM membranes before and after transport were characterized using FT-IR and SEM. Transport of malachite green with Pb(II) and Cu(II) metals resulted in a smaller concentration of malachite green than the transport of malachite green without metal (control). The presence of competitor metals results in disruption of the malachite green transport process from the source phase to the receiving phase.

**Keywords** : Co-EEGDMA, malachite green, PIM.

**STUDI TRANSPOR MALACHITE GREEN MENGGUNAKAN METODE  
POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM) DENGAN COPOLY-  
EUGENOL ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT (Co-EEGDMA) 2%  
SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA**

**Oleh**

*Ahda Bayani Awaliyah*

**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 : **Studi Transpor *Malachite Green* Menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) dengan *Copoly-Eugenol Etilen Dimetakrilat* (Co-EEGDMA) 2% sebagai Senyawa Pembawa**

Nama Mahasiswa : ***Ahda Bayani Awafryah***

Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011097

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

**Dr. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si.**  
NIP. 197707132009122002

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA UNILA

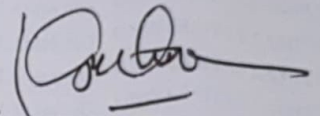
**Mulyono, Ph.D.**  
NIP. 197406112000031002

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

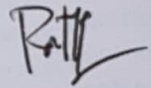
Ketua

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



Sekretaris

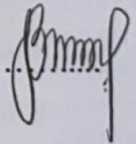
: **Dr. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si.** .....



Penguji

Bukan Pembimbing

: **Prof. Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.** .....



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 31 Juli 2023**



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ahda Bayani Awaliyah  
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011097  
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 Etilen Dimetakrilat (Co-EEGDMA) 2% sebagai Senyawa Pembawa**” adalah hasil pekerjaan saya sendiri, dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan 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, 31 Juli 2023

Yang Menyatakan



Ahda Bayani Awaliyah

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Ahda Bayani Awaliyah, lahir di Tangerang pada tanggal 4 Juni 2001, sebagai anak pertama dari dua bersaudara, putri dari pasangan Bapak Abdul Hasanudin dan Ibu Evi Apriani Wijayanti. Penulis saat ini bertempat tinggal di Jl.KH.Hasyim Ashari No.2, Kelurahan Neroktog, Kecamatan Pinang, Kota Tangerang, Banten.

Penulis menyelesaikan pendidikan mulai dari SD Negeri Pinang 3 Kota Tangerang lulus pada tahun 2013, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 13 Kota Tangerang lulus pada tahun 2016, dan selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 7 Kota Tangerang lulus pada tahun 2019. Pada tahun 2019 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menempuh pendidikan di Jurusan Kimia, penulis pernah mengikuti organisasi di lingkup kampus sebagai salah satu wadah untuk mengembangkan kemampuan diri. Organisasi yang pernah penulis ikuti adalah Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) sebagai Kader Muda Himaki (KAMI) tahun 2019, Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) sebagai anggota Bidang Sosial Masyarakat (SOSMAS) pada periode 2020-2021. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Carita Kabupaten Pandeglang Banten pada Januari-Februari 2022. Pada Juni-Juli 2022 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) dengan judul Pengawasan Mutu Sampel PK (*Palm Kernel*) pada Proses



Produksi KCP (*Kernel Crushing Plant*) di PT. Sumber IndahPerkasa Tarahan, Lampung Selatan. Akhirnya pada tahun 2023 penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan judul “Studi Transpor *Malachite Green* Menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) Dengan *Copoly-Eugenol Etilen Dimetakrilat* (Co-EEGDMA) 2% Sebagai Senyawa Pembawa”.

## **MOTTO**

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

**"Dan Dia mendapatimu sebagai seorang yang bingung lalu Dia memberikan petunjuk, dan Dia mendapatimu sebagai seorang kekurangan lalu Dia memberikan kecukupan"  
(Q.S Ad-Duha: 7-8)**

Jangan terlalu keras pada dirimu sendiri, karena hasil akhir dari semua urusan di dunia ini sudah ditetapkan oleh Allah. Jika sesuatu ditakdirkan untuk menjauh darimu, maka ia tak akan pernah mendatangimu. Namun jika ia ditakdirkan bersamamu, maka kau tak akan bisa lari darinya  
(Umar Bin Khattab)

*"Don't downgrade your dreams to match your reality, upgrade your faith to match your vision"  
(Penulis)*

*"Never have I dealt with anything more difficult than my own soul, which sometimes helps me and sometimes opposes me"  
(Imam Al-Ghazali)*

*"Even I'm not by your side, just know that my prayers will be"  
(Ayah dan ibu)*

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*“Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang”*

*Shalawat beriring salam tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW yang menjadi cahaya bagi segala perbuatan manusia*

*Atas rahmat Allah SWT dengan mengucap*

*Alhamdulillahirabbil'amin dan dengan segala kerendahan hati, Ku persembahkan karya kecilku ini sebagai tanda cinta dan baktiku serta tanggungjawabku kepada :*

*Kedua orang tuaku,*

*Ayah Abdul Hasanudin dan Ibu Evi Apriani Wijayanti yang telah menyayangi, merawat, mendidik, mengajarkan kebaikan, dan selalu mendoakan keberhasilanku dalam setiap sujud, sehingga putrimu dapat menyelesaikan perkuliahan ini, dengan ini kaka mengucapkan terimakasih atas segala air mata, keringat, materi, doa, dan segala sesuatu yang sudah kalian berikan. Untuk adikku tersayang Hafizh Lazuardhi yang dalam diam selalu aku doakan untuk mendapat dan dikelilingi segala hal yang baik di dunia ini.*

*Untuk seluruh keluarga besarku yang telah memberikan doa, perhatian, hiburan, serta dukungan dalam segala hal.*

*Dengan segala rasa hormat kepada Bapak Dr. Agung Abadi Kiswando, M.Sc., Ibu Dr. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si., dan Ibu Prof. Dr. Kamisah Delilawati Pandiangan, M.Si. serta seluruh Dosen Pengajar yang telah membimbing dan mendidikku sampai menyelesaikan pendidikan Sarjana.*

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

*Taklupa untuk semua orang baik yang sudah ku temui, semoga senantiasa selalu dalam lindungan Allah SWT.*

*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 Etilen Glikol Dimetakrilat (Co-EEGDMA) 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, Ayah Abdul Hasanudin dan Ibu Evi Apriani Wijayanti yang selalu menjadi alasan penulis untuk tetap kuat dan terus berjuang, terimakasih telah menjadi sandaran terkuat dari kerasnya dunia. Ayah dan Ibu terima kasih banyak atas segala cinta, atas seluruh kasih sayang yang tak pernah usai, atas segala keinginan kaka yang selalu terkabul, atas segala doa yang selalu menyertai kaka disetiap langkah kaka, dan juga atas segala pengorbanan yang telah diberikan untuk kaka, segala upaya pun tak dapat

membalas segala jasa-jasa kalian. Sehat selalu dan hiduplah lebih lama lagi Ayah dan ibu harus selalu ada dalam setiap perjalanan dan pencapaian kaka. Terimakasih karena sudah menjadi orangtua kaka *I love you more than anything*. 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 masuk dan belajar hingga dapat 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, nasihat, semangat, kesabaran, serta segala sesuatu yang terbaik, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini. Semoga Allah SWT catat sebagai amal *jariyah* disisi-Nya dan dilimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya dalam kehidupan bapak.
5. Ibu Dr. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si. selaku pembimbing II yang telah memberikan perhatian dengan penuh kelembutan, pengertian, kesabaran, dan keikhlasan selama memberikan bimbingan penelitian untuk penulis. Sehingga saya dapat menunaikan 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. Ibu Prof. Dr. Kamisah Delilawati Pandiangan, M.Si. selaku Pembahas dalam penelitian atas segala ilmu, masukan, saran, 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 ibu.
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 terima kasih saya kepada Ibumaya, cing ani, om andri, om apung, tante nana, om agus, dan tante nina, 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. Sahabat terbaikku selama menjalani proses pendidikan, Als x Nab (Rijah, Jihan, Rara, Ulfa, Cella) terimakasih untuk persaudaraan dan kebersamaan selama ini, 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. Semoga Allah SWT meridhoi langkah kita selanjutnya untuk mencapai cita cita Aamiin, ayo berproses menjadi lebih baik dan tetap bertemu nantinya.
12. Rekan kerja dan juga sahabatku selama penelitian Dwiky, Ulfa, dan Ayu terima kasih untuk segala bantuan yang selama ini diberikan, terimakasih karena sudah menemani penelitian ini, terimakasih karena sudah berproses dan menyelesaikan ini bersama. Semoga Allah SWT memberikan balasan kebaikan pula.
13. Untuk sahabat-sahabat terbaikku (Geep, Dhea, Linda, Sapira, Taca) terimakasih banyak karena sudah banyak mendoakan, mendukung, membantu, dan mengalah selama perjalanan hidupku, dan karena sudah ada didunia ini sebagai sahabat baikku atas segala kesalahan dan kesalahpahaman yang penulis lakukan mohon dimaafkan, segala dukungan yang kalian berikan sangat berarti untuk kestabilan mental penulis. Sekali lagi terimakasih karena sudah menjadi bagian dari hidupku selama 8 tahun ini mari berteman lebih lama karena *I owe you that much*.
14. Sahabat-sahabat ku yang sangat susah untuk ditemui karena kuliahnya jauh-jauh sekali (Ameng, Jumi, Echa, Pau, Nicky) semoga setelah segala urusan perkuliahan kita masing-masing ini selesai lebih banyak waktu luang untuk kita bisa bertemu.
15. Teman seperantauan Melati, Bellia, Dienus, Zul karena sudah menjadi tempat berkeluh kesah dan bercerita.
16. Terimakasih untuk seluruh anggota *Membrane Research* karena sudah kebersamai penelitian ini.



17. Keluarga ku Kimia 2019 kelas C atas segala drama, hiburan, kenangan, canda, tawa, amarah, dan keluh kesahnya kalian hebat bisa ngelewatin semuanya.
18. Keluarga besar Kimia angkatan 2019, segala kenangan manis yang sudah terbangun selama ini semoga kelak menjadi bagian cerita bahagia dalam kehidupan kita
19. Rekan-rekan Himaki, 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.
20. Rekan Kuliah Kerja Nyata Desa Carita (Fajar, Ulai, Alfi, There, Ka Ratu, Darni, dan Arfi) atas semua hal yang sangat berkesan dan tidak terlupakan selama 40 hari.
21. Sekumpulan orang-orang hebat yang pernah penulis temui yang tidak bisa disebut satu per satu, terima kasih sudah pernah kebersamaan selama proses pembelajaran kemarin, ayo tetap berproses menjadi lebih baik untuk hidup yang lebih bahagia.
22. Almamater tercinta, Universitas Lampung.
23. Teuntuk diri sendiri karena telah mampu berusaha keras dan sudah berjuang hingga titik ini. Mampu mengendalikan diri dengan baik dari berbagai tekanan dan rintangan, dan tidak pernah memutuskan untuk menyerah sesulit apapun proses pendewasaan ini. Karya ini merupakan pencapaian yang patut dibanggakan untuk diri sendiri. *You've been great walking this far even while crying.*
24. *To my future lover, I have been broken so many times not in love, but in the many circumstances I've encountered in live. I hope you understand me when I'm a hard rock that is hard to figure out, or still take care of me when I wouldn't want to be taken care of and suddenly become too independent and too tough. Wherever you are right now, there's a person like me waiting for you. I have a good eye, so worry less because I will instantly see your hue and I will step in right on timing's cue.*

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, 31 Juli 2023

Penulis

**Ahda Bayani Awaliyah**

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	5
1.3 Manfaat Penelitian.....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 <i>Malachite Green</i> .....	6
2.2 Teknik <i>Polymer Inclusion Membrane</i> (PIM) .....	8
2.3 <i>Plasticizier</i> .....	11
2.4 Eugenol.....	12
2.5 <i>Copoly</i> (Eugenol-EGDMA).....	13
2.6 Karakterisasi .....	16
2.6.1 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	16
2.6.2 Spektrofotometri <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FT-IR).....	20
2.6.3 Spektrofotometer UV-Vis.....	23
<b>III. METODOLOGI 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</i> (PIM) .....	27
3.3.2. Pembuatan Larutan Induk <i>Malachite Green</i> , Pembuatan Limbah Buatan, dan Pengukuran Konsentrasi <i>Malachite Green</i> .....	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 Penelitian .....	33
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>34</b>
4.1 Pembuatan Membran PIM.....	34
4.2 Pembuatan Larutan Induk <i>Malachite Green</i> , Pembuatan Limbah Buatan, dan Pengukuran Konsentrasi <i>Malachite Green</i> .....	39
4.3. Optimasi Transpor <i>Malachite Green</i> .....	40
4.3.1 Variasi pH <i>Malachite Green</i> pada Fasa Sumber .....	41
4.3.2 Variasi Konsentrasi HNO <sub>3</sub> pada Fasa Penerima.....	43
4.3.3 Variasi Ketebalan Membran .....	45
4.3.4 Variasi Konsentrasi Senyawa Pembawa.....	48
4.3.5 Variasi Waktu Transpor.....	50
4.3.6 Studi Kompetisi Transpor <i>Malachite Green</i> pada Limbah Buatan ....	53
4.4 <i>Liquid Membrane Loss (LM Loss)</i> .....	58
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>60</b>
5.1 Kesimpulan.....	60
5.2 Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>62</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>68</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Karakterisasi zat warna <i>malachite green</i> .....	8
2. Sifat fisik dan kimia eugenol.....	13
3. Rendemen dan sifat fisiko-kimia serbuk Co-EEGDMA.....	15
4. Bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan .....	22
5. Perbandingan komponen pembentuk membran (10:32:58) .....	27
6. Variasi konsentrasi senyawa pembawa.....	30
7. Berat total komponen, berat membran yang telah jadi, dan ketebalan membran PIM.....	35
8. Perbandingan gugus fungsi membran PIM Co-EEGDMA sebelum dan sesudah transpor .....	37
9. Perbandingan senyawa pembawa Co-EEGDMA.....	50
10. Perbandingan bilangan gelombang membran setelah transpor <i>malachite malachite green</i> .....	58
11. Perbandingan % <i>removal malachite green</i> dan %LM <i>Loss</i> pada .....	59
12. Absorbansi larutan standar <i>malachite green</i> pada variasi pH fasa sumber.....	75
13. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi pH fasa sumber.....	76
14. Data $\bar{x}$ , SD dan %RSD konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi pH.....	76
15. Absorbansi larutan standar <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi fasa penerima.....	77
16. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa .....	78
17. Data $\bar{x}$ , SD dan %RSD konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi HNO <sub>3</sub> .....	78
18. Absorbansi larutan standar <i>malachite green</i> pada variasi ketebalan .....	79
19. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa .....	80

20. Data x, SD dan %RSD konsentrasi malachite green di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi ketebalan membran .....	80
21. Absorbansi larutan standar malachite green pada variasi konsentrasi .....	81
22. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa .....	82
23. Data x, SD dan %RSD konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	82
24. Absorbansi larutan standar <i>malachite green</i> pada variasi waktu transpor.....	83
25. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa .....	84
26. Data x, SD dan %RSD konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi waktu transpor.....	84
27. Absorbansi larutan standar <i>malachite green</i> pada variasi transpor.....	85
28. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa .....	86
29. Data x, SD dan %RSD konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada limbah buatan.....	87
30. Data Transpor Waktu .....	88
31. Massa membran sebelum transpor <i>malachite green</i> pada variasi pH fasa sumber.....	94
32. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada variasi pH fasa sumber.....	94
33. %LM loss transpor <i>malachite green</i> pada variasi pH fasa sumber .....	95
34. Massa membran sebelum transpor <i>malachite green</i> pada variasi .....	95
35. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada variasi .....	95
36. %LM loss transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi HNO <sub>3</sub> fasa penerima.....	96
37. Massa membran sebelum transpor <i>malachite green</i> pada variasi.....	96
38. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada variasi .....	96
39. %LM loss transpor <i>malachite green</i> pada variasi ketebalan membran.....	97
40. Massa membran sebelum transpor <i>malachite green</i> pada variasi.....	97
41. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada variasi .....	97
42. %LM loss transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi senyawa .....	98
43. Massa membran sebelum transpor <i>malachite green</i> pada variasi waktu transpor.....	98
44. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada variasi waktu .....	98
45. %LM loss transpor <i>malachite green</i> pada variasi waktu transpor .....	99

46. Massa membran sebelum transpor malachite green pada kompetisi dengan limbah buatan.....	99
47. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada kompetisi dengan limbah buatan.....	99
48. %LM <i>loss</i> transpor <i>malachite green</i> pada variasi <i>malachite green</i> pada limbah buatan.....	100
49. Ketebalan membran PIM pada variasi pH fasa sumber.....	101
50. Ketebalan membran PIM pada variasi konsentrasi HNO <sub>3</sub> fasa penerima.....	101
51. Ketebalan membran PIM pada variasi ketebalan membran.....	101
52. Ketebalan membran PIM pada variasi konsentrasi senyawa pembawa.....	102
53. Ketebalan membran PIM pada variasi waktu transpor.....	102
54. Ketebalan membran PIM pada variasi <i>malachite green</i> pada limbah.....	102

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur <i>malachite green</i> .....	6
2. Struktur dan studi polimer pendukung PVC dan CTA .....	11
3. Struktur eugenol .....	12
4. Prediksi struktur senyawa pembawa Co-EEGDMA .....	15
5. Skema SEM.....	17
6. Hamburan elektron yang jatuh pada lembaran tipis.....	18
7. Hasil SEM membran PIM setelah transpor <i>malachite green</i> .....	19
8. Hasil SEM membran PIM Co-EEGDMA (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor.....	19
9. Skema peralatan FT-IR .....	21
10. Spektra IR dari Co-EEGDMA (a) 12%, (b) 6%, dan (c) 2% .....	22
11. Skema alat spektrofotometer UV-Vis .....	25
12. Diagram alir penelitian.....	33
13. a) Membran PIM dalam cetakan membran dan b) Membran PIM yang mengandung Co-EEGDMA 2% sebelum transpor .....	35
14. Spektra FT-IR (a) sesudah transpor (optimum) (b) sebelum transpor .....	36
15. Hasil SEM membran PIM (Co-EEGDMA 2%) : a. Sebelum transpor perbesaran 500x ; b. Sebelum transpor perbesaran 3000x ; c. Setelah transpor perbesaran 500x ; d. Setelah transpor perbesaran 3000x .....	38
16. Panjang gelombang maksimum <i>malachite green</i> .....	40
17. Pengaruh pH <i>malachite green</i> pada fasa sumber terhadap konsentrasi <i>malachite green</i> yang tertranspor (%Cs: konsentrasi <i>malachite green</i> pada fasa sumber, %Removal <i>malachite green</i> : konsentrasi <i>malachite green</i> pada fasa membran dan fasa penerima) .....	42



18. Pengaruh konsentrasi HNO <sub>3</sub> di fasa penerima terhadap konsentrasi <i>malachite green</i> yang tertransport (%Cs: konsentrasi <i>malachite green</i> pada fasa sumber, %Removal <i>malachite green</i> : konsentrasi <i>malachite green</i> pada fasa membran dan fasa penerima) .....	44
19. Pengaruh ketebalan membran PIM terhadap konsentrasi <i>malachite green</i> yang tertransport (%Cs: konsentrasi <i>malachite green</i> pada fasa sumber, %Removal <i>malachite green</i> : konsentrasi <i>malachite green</i> pada fasa membran dan fasa penerima).....	46
20. Pengaruh konsentrasi senyawa pembawa membran PIM terhadap konsentrasi <i>malachite green</i> yang tertransport (%Cs: konsentrasi <i>malachite green</i> pada fasa sumber, %Removal <i>malachite green</i> : konsentrasi <i>malachite green</i> pada fasa membran dan fasa penerima).....	49
21. Pengaruh waktu transport membran PIM terhadap konsentrasi <i>malachite green</i> yang tertransport (%Cs: konsentrasi <i>malachite green</i> pada fasa sumber, %Removal <i>malachite green</i> : konsentrasi <i>malachite green</i> pada fasa membran dan fasa penerima) .....	51
22. Perbandingan konsentrasi <i>malachite green</i> , logam Pb(II) dan logam Cu(II) yang terdapat pada fasa sumber, fasa penerima dan fasa penerima.....	54
23. Morfologi permukaan membran setelah transport <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	55
24. EDS spektrum dari membran setelah transport <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	56
25. Perbandingan Spektra FT-IR membran setelah transport (a) <i>Malachite green</i> kontrol (b) <i>Malachite green</i> dan logam Cu(II) (c) <i>Malachite green</i> dan logam Pb(II) (d) <i>Malachite green</i> dan logam Cu(II) serta Pb(II) .....	57
26. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi pH fasa sumber.....	75
27. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi fasa penerima .....	77
28. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi ketebalan membran .....	79
29. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	81
30. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi waktu transport .....	83
31. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi limbah buatan .....	85
32. (a) Alat cetak membran (b) membran PIM sebelum transport.....	103
33. Transport <i>malachite green</i> pada variasi pH fasa sumber (a) sebelum transport dan (b) setelah transport .....	103
34. Transport <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi HNO <sub>3</sub> (a) sebelum transport dan (b) setelah transport .....	104

35. Transpor malachite green pada variasi ketebalan membran (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor .....	104
36. Transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi senyawa pembawa (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor.....	104
37. Transpor <i>malachite green</i> pada variasi waktu transpor (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor .....	105
38. Transpor <i>malachite green</i> pada variasi logam buatan (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor .....	105
39. Membran hasil transpor <i>malachite green</i> variasi ketebalan.....	105

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu masalah utama yang dihadapi oleh banyak negara di dunia adalah meningkatnya kegiatan industri yang melepaskan limbah yang mengandung polutan seperti ion logam berat, pewarna organik, dan obat-obatan ke dalam lingkungan perairan, yang menyebabkan bahaya kesehatan yang signifikan bagi organisme hidup dan penurunan kualitas secara keseluruhan (Liu, 2007). Di antara polutan industri yang berbeda, bahan berwarna dan pewarna merupakan fokus dari banyak masalah lingkungan karena sifatnya di alam yang tidak dapat terurai dan mencemari. Sumber pewarna ini berasal dari berbagai industri manufaktur dan pengolahan pewarna seperti tekstil, kertas, plastik, kosmetik, kulit dan makanan karena industri tersebut menggunakan pewarna untuk mewarnai produk mereka (Soo *et al*, 2011). *Malachite green* merupakan salah satu pewarna kationik yang larut dalam air dan telah banyak digunakan untuk proses pewarnaan kulit, wol, sutra, kertas, serta dalam penyulingan (Dos Reis *et al*, 2011). Selain itu, *malachite green* juga digunakan sebagai fungisida, agen anti-protozoa tropis, dan antiseptik dalam industri akuakultur untuk mengendalikan parasit dan penyakit ikan (Banerjee *et al*, 2016). Namun, *malachite green* sangat berbahaya zat pewarna ini bersifat sitotoksik bagi sel mamalia, menimbulkan efek karsinogenik, mutagenik dan teratogenik pada kesehatan biota dan manusia (Yakout dan Shaker, 2016).

Pigmen *malachite green* dapat terlihat dalam air bahkan serendah 1 ppm sehingga menghambat sinar matahari memasuki badan air yang secara harfiah akan membunuh kehidupan air. Oleh karena itu, perlakuan terhadap zat warna sangat

diperlukan untuk mengatasi berbagai permasalahan lingkungan yang ditimbulkannya. Kadar *malachite green* yang diperbolehkan diperaian adalah 0,01 ppm. Hasil tes laboratorium menunjukkan bahwa tikus yang memakan *malachite green* pada konsentrasi 100 ppm selama lebih dari 2 tahun menunjukkan adanya tanda-tanda tumor (Sukmawati dan Utami, 2014).

Mengingat bahaya yang dapat ditimbulkannya, maka diperlukan suatu pengolahan limbah untuk menurunkan kandungan senyawa *malachite green*. Polutan pewarna umumnya tahan terhadap degradasi biologis dan sejumlah proses kimia dan fisik seperti pengendapan kimia, koagulasi, elektrokoagulasi metode fisik seperti pengendapan, flokulasi atau adsorpsi menggunakan arang tulang dan arang aktif tidak mendegradasi polutan tetapi hanya memindahkannya dari fase cair ke fase padat, sehingga menyebabkan polusi sekunder atau membutuhkan regenerasi yang merupakan proses yang mahal dan memakan waktu. Metode kimia termasuk degradasi oksidatif oleh klorin, hidrogen peroksida dan ozon, degradasi reduktif oleh natrium hidrosulfit, fotokatalisis dan perawatan elektrokimia memerlukan bahan kimia dosis tinggi dan menghasilkan lumpur dalam jumlah besar. Berdasarkan uraian di atas, dicari alternatif lain yang dapat menangani limbah *malachite green* di perairan yaitu dengan menggunakan teknik pemisahan membran (Raval *et al.*, 2017).

Metode PIM merupakan salah satu metode membran cair yang mampu atau dapat meningkatkan kestabilan membran karena dua hal, yaitu adanya polimer dasar dan *plasticizer*. Polimer dasar misalnya *polyvinyl chloride* (PVC) pada membran diharapkan dapat mengatasi kebocoran dari senyawa pembawa. *Plasticizer* misalnya dibenzil eter (DBE) pada membran berfungsi untuk membuat sistem membran menjadi lebih stabil (Dzygiel and Wieczorek, 2010). Berbagai penelitian, mulai dari selektifitas dan kemampuan transpor sampai pemodelan matematika untuk transpor merupakan topik yang berkembang pada penelitian berbasis membran cair ini. Penelitian berbasis membran cair ini akan berkembang dimasa yang akan datang dan diminati oleh banyak peneliti. Beberapa peneliti bahkan telah mempublikasikan penelitian terbarunya pada jurnal internasional. Metode membran cair merupakan gabungan dari metode ekstraksi cair-cair

dengan tahap penerimaan dalam satu kali proses yang berkelanjutan. Senyawa yang terekstraksi merupakan larutan yang larut dalam air, stagnan atau mengalir di antara dua larutan cair yang berada di fasa sumber dan fasa penerima. Fasa sumber, fasa penerima dan fasa membran, pada banyak eksperimen merupakan larutan cair, khususnya pada fasa membran yang merupakan senyawa organik. Cairan organik ini biasanya berada di dalam pori-pori kecil suatu polimer pendukung. Kelebihan metode ini adalah sangat efektif dan menarik dalam proses pemisahan dan pemurnian pada skala industri maupun laboratorium. Penelitian menggunakan metode membran cair telah banyak dilakukan oleh para peneliti mulai dari pemisahan logam sampai dengan pemisahan limbah organik. Cairan organik ini biasanya berada di dalam pori-pori kecil suatu polimer pendukung. Kelebihan metode ini adalah sangat efektif dan menarik dalam proses pemisahan dan pemurnian pada skala industri maupun laboratorium (Yaftian *et al*, 1998).

Berdasarkan perkembangannya terdapat beberapa tipe membran cair diantaranya yaitu *bulk liquid membrane* (BLM), *emulsion liquid membrane* (ELM), *supported liquid membrane* (SLM), dan *polimer inclusion membrane* (PIM). Metode PIM dilaporkan menjadi salah satu pengembangan metode yang memiliki kestabilan yang lebih baik dibandingkan SLM maupun BLM (Kim *et al.*, 2002). Metode PIM dianggap mampu meningkatkan kestabilan dibandingkan SLM karena dua hal, yaitu adanya polimer dasar misalnya polivinil klorida (PVC) yang diharapkan dapat mengatasi kehilangan senyawa pembawa. Senyawa pembawa merupakan salah satu komponen dalam membran sehingga proses pemisahan dapat berjalan. Fungsi senyawa pembawa adalah memfasilitasi senyawa target melalui membran. Senyawa pembawa bereaksi dengan komponen yang ditargetkan pada fasa sumber, bergerak melintasi membran, dan melepaskan komponen ini di fasa penerima. Selain polimer dasar, membran PIM juga mengandung pemlastis (*plasticizer*) yang berfungsi membuat sistem membran lebih stabil. Pada metode membran cair, teknik pemisahan melibatkan senyawa pembawa sebagai senyawa yang akan memfasilitasi senyawa target (Kiswandono dkk., 2017).

Metode membran cair dengan PIM membutuhkan suatu senyawa pembawa sebagai bagian dari metode PIM. Pada penelitian ini digunakan eugenol sebagai bahan dasar senyawa pembawa. Eugenol memiliki gugus-gugus fungsi yang dapat dimodifikasi secara kimia, yaitu gugus metoksi (-OCH<sub>3</sub>), hidroksi (-OH), dan alil pada ujung rantai. Adanya gugus alil berupa rantai rangkap dua dapat menyebabkan senyawa eugenol dapat melakukan reaksi polimerisasi menjadi polieugenol. Ketersediaan gugus hidroksi memungkinkan terjadinya interaksi terhadap *malachite green* sehingga dapat mengekstrak *malachite green* dari fase sumber ke fase membran. Syarat polimer yang dapat digunakan sebagai senyawa pembawa pada fasa membran yaitu memiliki struktur yang memungkinkan terjadinya interaksi dengan senyawa yang akan ditranspor serta mempunyai berat molekul yang tinggi (Walkowiak *et al.*, 2002). Salah satu alternatif untuk meningkatkan sisi aktif pada membran bisa dilakukan dengan cara kopolimerisasi (Kiswandono, 2010). Etilen Glikol Dimetakrilat (EGDMA) dapat digunakan sebagai suatu bahan baku awal dari sintesis kimia untuk membentuk homopolimer dan kopolimer. EGDMA juga telah digunakan sebagai agen tautsilang membentuk suatu kopolimer yang dikenal sebagai *co-EEGDMA* (Sunarsih, 2019).

Metode PIM terbukti efektif dan menghemat biaya untuk ekstraksi *malachite green* dari air limbah perairan. Menurut penelitian yang dilakukan Ling and Suah (2017), presentase ekstraksi yang didapatkan mencapai efisiensi lebih dari 98%. Namun pembawa (B2EHP) dan *plasticizer* (DOP) yang digunakan pada penelitian tersebut relatif mahal dan belum adanya penelitian tentang potensi (Co-EEGDMA) 2% sebagai senyawa pembawa yang potensial. Berdasarkan uraian di atas pada penelitian ini telah dipelajari studi transpor *malachite green* menggunakan metode *polymer inclusion membrane* (PIM) dengan *copoly*-eugenol etilen glikol dimetakrilat (Co-EEGDMA) 2% sebagai senyawa pembawa meliputi pembuatan membran PIM, pengukuran konsentrasi *malachite green* dalam sampel, variasi pH *malachite green* pada fasa sumber, variasi konsentrasi HNO<sub>3</sub> pada fasa penerima, variasi ketebalan membran, variasi waktu transpor, dan studi kompetisi transpor *malachite green* pada limbah buatan. Penggunaan membran

PIM ini, diharapkan mampu membuat transpor *malachite green* berjalan dengan efektif dan membran memiliki kestabilan yang lebih baik.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan transpor *malachite green* menggunakan senyawa pembawa Co-EEGDMA 2% dengan metode PIM.
2. Melakukan uji kompetisi transpor antara *Malachite green* dengan logam berat Cu(II) dan Pb(II) pada limbah buatan.
3. Melakukan karakterisasi membran PIM menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) dan *fourier transform infrared* (FT-IR).

## 1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitiannya ini adalah sebagai berikut :

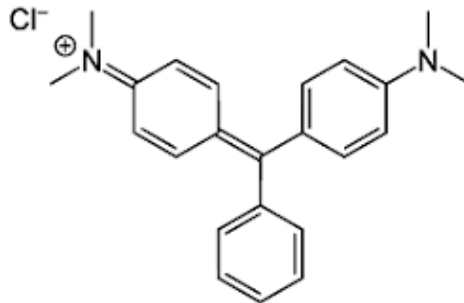
1. Menambah wawasan baru terkait pemanfaatan polimer tertautsilang Co-EEGDMA 2% sebagai senyawa pembawa dalam transpor *malachite green*.
2. Memberikan wacana baru dalam pemanfaatan polimer dalam bidang analisis kimia serta meningkatkan nilai ekonomis dari eugenol.
3. Meningkatkan aplikasi metode membran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



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Malachite Green*

*Malachite green* memiliki nama lain 4-[(4-dimetilaminofenil)-fenil-metil]-N,N-dimetil-anilin, merupakan senyawa kimia yang memiliki rumus molekul  $C_{23}H_{25}ClN_2$  dengan berat molekul sebesar 364,911 g/mol. *Malachite green* adalah senyawa organik yang digunakan sebagai zat warna kontroversial sebagai antimikroba dalam akuakultur. *Malachite green* diklasifikasikan dalam industri zat warna sebagai pewarna *triamethane* dan juga digunakan dalam industri pigmen secara tradisional digunakan sebagai pewarna bahan seperti sutra, kulit, dan kertas. *Malachite green* yang digunakan sebagai anti protozoa pada ikan akan tetapi bersifat racun akut dan kronis, karsinogenesis, dan mutagenesis.. Resiko yang terjadi berupa kerusakan sistem kekebalan tubuh, dan sistem reproduksi. Selain itu, *malachite green* juga menyebabkan bahaya kesehatan umum dan masalah potensial lingkungan (Bhernama, 2017). *Malachite green* memiliki struktur seperti Gambar 1.



**Gambar 1.** Struktur *malachite green*

Zat warna *malachite green* dapat menimbulkan efek berbahaya apabila tercampur dalam lingkungan perairan. Limbah cair zat warna *malachite green* sangat mengganggu ekosistem di perairan dan dapat menyebabkan kerusakan pada hati, insang, ginjal dan usus hewan laut (Sekhar *et al.*, 2009). *Malachite green* dapat menyebabkan iritasi sistem pencernaan pada manusia apabila mengkonsumsi ikan yang terkontaminasi oleh zat tersebut. Zat warna *malachite green* juga diketahui sangat beracun terhadap sel mamalia dan berpotensi menyebabkan tumor. Akan tetapi, meski sejumlah data memaparkan zat warna ini sangat toksik dan berbahaya, *malachite green* tetap saja digunakan dalam akuakultur dan industri-industri (Feng *et al.*, 2011).

Selama pemrosesan tekstil, hingga 50% pewarna hilang setelah proses pencelupan karena interaksi yang buruk antara molekul pewarna dan serat kain dan sekitar 10-15% dari zat warna tersebut dibuang ke limbah air industri. Oleh karena itu, sejumlah besar pewarna datang ke aliran limbah dan mencemari perairan. Namun, air limbah yang mengandung pewarna sangat sulit untuk diolah, karena pewarna adalah molekul organik yang memiliki ketahanan terhadap pencernaan aerobik dan stabil terhadap cahaya, panas dan oksidator (Zhou *et al.*, 2019). Salah satu contohnya adalah pewarna *malachite green*, pewarna ini banyak digunakan dalam industri tekstil untuk pencelupan, dalam industri makanan sebagai pewarna makanan, aditif makanan, desinfektan medis dan obat cacing, juga digunakan dalam akuakultur dan peternakan sebagai agen terapi antijamur, anti-bakteri, anti-parasit (Subbareddy *et al.*, 2012).

Akumulasi zat warna *malachite green* dalam tubuh makhluk hidup dapat mempengaruhi sistem kekebalan tubuh, sistem reproduksi dan bersifat karsinogenik serta gemotoksik. Meskipun penggunaan pewarna ini telah dilarang di beberapa negara dan dilarang oleh *US Food and Drug Administration*, namun masih digunakan di banyak belahan dunia. Hal ini karena harganya murah, mudah ditemukan, dan efek yang dihasilkan menarik. Kadar *malachite green* yang diperbolehkan di perairan adalah 0,01 ppm (Sukmawati dan Utami, 2014). Hasil tes laboratorium menunjukkan bahwa tikus yang memakan *malachite green*

pada konsentrasi 100 ppm selama lebih dari 2 tahun menunjukkan adanya tanda-tanda tumor. Saat ini *malachite green* telah menjadi senyawa yang sangat kontroversial karena risiko yang ditimbulkannya bagi konsumen ikan yang diolah termasuk efeknya pada sistem kekebalan tubuh, sistem reproduksi dan sifat genotoksik dan karsinogeniknya. Ini dapat menyebabkan efek parah pada sistem saraf, sistem reproduksi, hati, otak, dan ginjal. *Malachite green* yang merupakan zat warna trifenilmetana mengalami biodegradasi karena adanya nitrogen di tulang belakangnya (Ali dan Muthuraman 2015). Penelitian yang dilakukan Ling and Suah (2017) mengenai degradasi *malachite green* menggunakan metode *polymer inclusion membrane* (PIM) menunjukkan bahwa rata-rata persen efisiensi ekstraksi yang dicapai untuk *malachite green* adalah sebesar >98% dan >96%. Adapun sifat fisiokimia zat warna *malachite green* dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Karakterisasi zat warna *malachite green*

Parameter	Nilai
Rumus molekul	$C_{23}H_{25}ClN$
Berat molekul	364,9 g/mol
pH	5
Nama IUPAC	4-{{4-(Dimetilamino)fenil}(fenil)metilidena}-N, N -dimetilsiklohexa-2,5-dien-1-iminium klorida
$\lambda_{max}$	617 nm
Warna	Hijau

## 2.2 Teknik *Polymer Inclusion Membrane* (PIM)

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

teknik membran cair, senyawa pembawa berfungsi sebagai fasilitator yang terdapat pada fasa membran memainkan peranan penting dan merupakan hal penentu dalam kinerja pemisahan (Huidong *et al.*, 2009). Proses transpor senyawa target diawali dengan difusi senyawa target pada fasa sumber melewati pembatas *layer* (lapisan), kemudian terjadi penyerapan senyawa target pada fasa antarmuka sumber-membran. Senyawa target tertransport ke fasa membran dan melewati fasa membran kemudian terjadi desorpsi pada fasa antarmuka membran-penerima, akhirnya senyawa target terdifusi kembali di fasa penerima (Raut *et al.*, 2012).

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

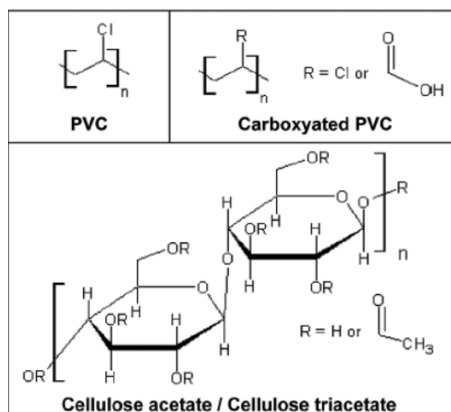
- Tahap pertama, yaitu senyawa target yang telah menyebar pada fasa antarmuka fasa sumber-membran, akan berikatan dengan senyawa pembawa membentuk kompleks. Setelah kompleks terbentuk, lalu diangkut melintasi fasa antarmuka ini dan akan digantikan oleh molekul lain dari senyawa pembawa.
- Tahap kedua,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

Faktor-faktor yang berkaitan dengan pengaruh dan kemampuan dari membran PIM dalam transpor suatu analit. Faktor-faktor tersebut antara lain komposisi penyusun membran, sifat polimer dasar atau pendukung, senyawa pembawa dan *plasticizer*, morfologi membran, dan sifat kimia dari larutan berair dalam membuat fasa sumber dan fasa penerima (Huidong *et al.*, 2009).

Pembuatan membran pada metode PIM menggunakan larutan yang mengandung senyawa pembawa atau ekstrak, pemlastis, dan polimer dasar seperti selulosa triasetat (CTA) atau PVC membentuk lapisan yang tipis, stabil, dan fleksibel. Hasilnya adalah membran *self-supporting* yang dapat digunakan

untuk memisahkan larutan yang diinginkan dengan cara yang mirip dengan SLM (Nghiem *et al.*, 2006). Walaupun membran PIM memiliki permeabilitas dan selektivitas yang rendah tetapi tetap memiliki stabilitas yang lebih baik dan memadai atas berbagai jenis membran cair, termasuk pada membran SLM sehingga metode ini berpotensi dan dapat diaplikasikan secara praktis di lapangan. PIM dianggap mampu meningkatkan kestabilan dari metode SLM karena dua hal, yaitu polimer dasar (PVC) 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. Penelitian menggunakan metode PIM telah dilakukan untuk transpor ion logam Pb(II), Cd(II), dan Zn(II), hasilnya metode PIM efektif untuk mentranspor ion logam dan terbukti efektif untuk transpor Cd baik dalam media garam maupun asam (Pont *et al.*, 2008).

Pembuatan membran pada metode PIM menggunakan larutan yang mengandung senyawa pembawa atau ekstrak, pemlastis dan polimer dasar seperti selulosa triasetat (CTA) atau PVC membentuk lapisan yang tipis, stabil dan fleksibel. Hasilnya adalah membran *self-supporting* yang dapat digunakan untuk memisahkan larutan yang diinginkan dengan cara yang mirip dengan SLM (Nghiem *et al.*, 2006). Membran PIM walaupun memiliki permeabilitas dan selektivitas yang rendah tetapi tetap memiliki stabilitas yang lebih baik dan memadai atas berbagai jenis membran cair, termasuk pada membran SLM sehingga metode ini berpotensi dan dapat diaplikasikan secara praktis di lapangan. Pada Gambar 2 menunjukkan struktur dan gugus-gugus aktif pada polimer pendukung PVC dan CTA. Pada penelitian Ling *and* Suah (2017) yang menggunakan metode PIM untuk ekstraksi *malachite green*, menunjukkan bahwa proses ekstraksi berhasil dilakukan. Metode ini menggunakan PIM yang terdiri dari PVC sebagai polimer dasar, B<sub>2</sub>EHP sebagai senyawa pembawa dan DOP sebagai *plasticizer*. Persentase ekstraksi yang didapatkan mencapai efisiensi lebih dari 98%.



**Gambar 2.** Struktur dan studi polimer pendukung PVC dan CTA (Pereira *et al.*, 2009).

### 2.3 Plasticizer

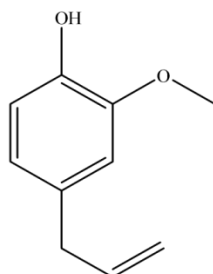
Pada pembuatan membran, *plasticizer* sering digunakan untuk meningkatkan fleksibilitas membran. Peran dari *plasticizer* adalah untuk menembus antar molekul polimer, menetralkan senyawa polar dari polimer dengan senyawa polar dari *plasticizer* itu sendiri, untuk meningkatkan jarak antara molekul polimer dan mengurangi kekuatan gaya antarmolekul. Sebagian besar *plasticizer* banyak tersedia secara komersial. Beberapa di antaranya telah diuji dalam aplikasi pembuatan membran PIM. *Plasticizer* umumnya adalah senyawa organik yang mengandung gugus alkil hidrofobik dengan satu atau beberapa senyawa polar yang sangat *solvating*. PVC dan CTA tergolong polimer termoplastik yang mengandung rantai polimer linier tanpa adanya tautan silang (*crosslink*) antara kedua polimer tersebut. Kekuatan mekanik film tipis membran ditentukan dari kombinasi antara gaya antar molekul dan proses belitan (*entanglement*). Adanya interaksi polar yang kuat di antara gaya-gaya ini akan menghasilkan struktur polimer yang kaku (*rigid*) (Pereira *et al.*, 2009).

*Plasticizer* dengan konsentrasi yang rendah dapat menyebabkan membran menjadi lebih kaku dan rapuh akibat fenomena yang biasa disebut sebagai efek “*anti-plasticizing*”. Konsentrasi *plasticizer* minimum bervariasi tergantung pada kedua *plasticizer* dan polimer dasar. Untuk PVC, konsentrasi ini dapat berada

dalam jangkauan hingga 20% (b/b). Konsentrasi *plasticizer* yang berlebihan bermasalah karena kelebihan *plasticizer* itu bisa bermigrasi atau memancarkan ke antarmuka membran atau air dan membentuk film pada permukaan membran, yang akan menciptakan penghalang tambahan untuk transpor pada membran. *Plasticizer* yang berlebihan secara signifikan dapat mengurangi kekuatan mekanik pada film tipis, sehingga tidak dapat digunakan dalam situasi praktis (Nghiem *et al.*, 2006).

## 2.4 Eugenol

Eugenol merupakan salah satu komponen kimia dalam minyak daun cengkeh yang dihasilkan melalui destilasi uap. Eugenol murni merupakan cairan tidak berwarna, berbau keras, dan mempunyai rasa pedas. Kandungan eugenol dalam daun cengkeh adalah 80-85% (Sastrohamidjojo, 1981). 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 (Sastrohamidjojo, 2014). Eugenol bersifat larut dalam alkohol, kloroform, dan eter. Rumus molekul eugenol adalah  $C_{10}H_{12}O_2$  dengan berat molekul sebesar 164,2 g/mol dan titik didih 253 °C. Eugenol memiliki nama lain yaitu 4-alil-2-metoksi fenol, 1-hidroksi 2-metoksi 4-alil benzena atau 4-alil guaikol (Ketaren, 1985). Eugenol dapat dijadikan bahan awal sintesis polimer karena memiliki tiga gugus fungsional yaitu gugus alil, eter, dan hidroksi (Anwar, 2007). Struktur eugenol terlihat dalam Gambar 3.



**Gambar 3.** Struktur eugenol



Pada struktur eugenol yang terdapat pada gambar 3 dapat dilihat bahwa eugenol mempunyai gugus hidroksi, metoksi dan alil sehingga memungkinkan untuk digunakan sebagai dasar sintesis senyawa lain. Adanya gugus hidroksi pada eugenol dapat dimanfaatkan dalam reaksi esterifikasi dan alkilasi seperti metileugenol dan metileugenil format dengan rendemen masing masing 70% dan 60,69%. (Sohilait *et al.*, 2005). Adapun sifat fisik dan kimia Eugenol dapat disajikan pada Tabel 2

**Tabel 2.** Sifat fisik dan kimia eugenol (Walkowiak *et al.*, 2002).

Parameter	Nilai
Berat jenis (g/cm <sup>3</sup> )	1,06
Berat molekul (g/mol)	164,2 g/mol
Indeks bias (25 °C)	1,53-1,54
Titik didih (°C)	256
Titik leleh (°C)	-9
Warna	Bening ke kuning pucat
Aroma	Aroma cengkeh
Kelarutan	Tidak larut dalam air

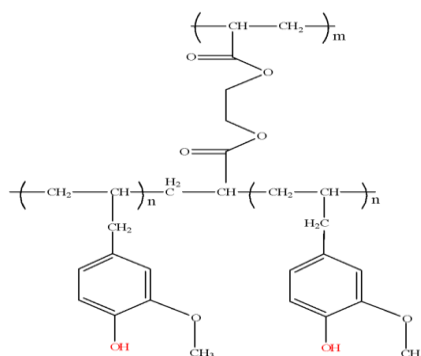
Eugenol (C<sub>10</sub>H<sub>12</sub>O<sub>2</sub>) merupakan turunan dari guaiakolat yang mendapat tambahan rantai alil, dikenal dengan nama IUPAC 2-metoksi-4-(2-propenil) fenol. Eugenol dapat dikelompokkan dalam keluarga alilbenzena dari senyawa fenol. Warnanya bening hingga kuning pucat, kental seperti minyak. Eugenol sedikit larut dalam air namun mudah larut pada pelarut organik (alkohol, eter dan kloroform). Eugenol mudah berubah menjadi kecoklatan apabila dibiarkan di udara terbuka (Towaha, 2012).

### 2.5 Copoly (Eugenol-EGDMA)

Polimerisasi dengan bahan baku senyawa alam seperti eugenol merupakan suatu hal yang relatif baru dilakukan, maka pengembangan dan pemanfaatan monomer eugenol semakin diperluas. Eugenol 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 (Walkowiak *et al.*, 2002). Senyawa pembawa mempunyai peranan yang sangat penting dalam membran tiruan ataupun membran biologi yang selektif untuk kation, anion, molekul organik, ataupun molekul anorganik (Cleij *et al.*, 1997). 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 (Hiratani *et al.*, 1992).

Kopolimerisasi ionik (anionik dan kationik) bersifat selektif yaitu kopolimerisasi anionik untuk monomer penarik elektron dan sebaliknya kopolimerisasi kationik untuk monomer pemberi elektron. Kopolimerisasi eugenol dengan EGDMA merupakan reaksi polimerisasi adisi kationik karena gugus vinil dari polieugenol mengalami reaksi adisi. Kopolimerisasi eugenol ini dapat meningkatkan jumlah sisi aktif pada polimer yakni cincin benzena dan gugus hidroksi sehingga menyebabkan berat molekul semakin tinggi sehingga dapat meningkatkan transpor. Polimerisasi eugenol tertautsilang EGDMA mengikuti prosedur atau metode yang telah dilakukan oleh Kiswandono *et al.*, (2012), yakni eugenol dan EGDMA dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer, kemudian ditambahkan katalis  $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  dan diaduk dengan pengaduk magnet. Adanya reaksi ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi merah. Kapasitas senyawa pembawa dapat ditingkatkan dengan polimerisasi, karena produk akan lebih tinggi berat molekul dan mengandung lebih banyak situs aktif daripada senyawa asli (Kiswandono *et al.*, 2019). prediksi struktur dari Co-EEGDMA dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Prediksi struktur senyawa pembawa Co-EEGDMA (Kiswandono, 2014)

Etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) adalah senyawa diena yang dapat mengalami polimerisasi adisi. Ikatan rangkap dua pada senyawa diena ini mempunyai sifat yang reaktif sehingga proses sintesis dapat dilakukan pada suhu kamar.

Polimerisasi dengan melibatkan senyawa diena dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh struktur tertaut silang dalam hasil akhirnya. Reaksi polimerisasi eugenol dengan suatu agen taut silang (*crosslinking agent*) akan menyebabkan berat molekul hasil polimer menjadi besar. Tulisan ini selanjutnya menyampaikan hasil penelitian tentang pembuatan senyawa pembawa kopoli (eugenol-etilen glikol dimetakrilat) atau Co-EEGDMA selanjutnya di uji kemampuannya untuk transpor *malachite green*. Karakterisasi Co-EEGDMA yang terbentuk dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Fourier Transform InfraRed* (FT-IR), dan H-NMR (Kiswandono *et al*, 2014). Tabel 3 memperlihatkan rendemen dan sifat fisiko-kimia serbuk Co-EEGDMA.

**Tabel 3.** Rendemen dan sifat fisiko-kimia serbuk Co-EEGDMA (Kiswandono dkk, 2010).

Agen Penaut Silang		Rendemen (%)	Warna	Titik Leleh (°C)	Kelarutan dalam Kloroform
%	Mol				
0	0,0000	88,93	Orange	80,3-82,7	Larut
2	0,0006	94,97	Coklat	88,9-93,2	Larut
6	0,0018	95,03	Coklat	87,5-89,3	Larut
12	0,0035	96,86	Coklat	84,4-87,3	Larut

Tabel 3 tersebut memperlihatkan bahwa, sintesis Co-EEGDMA 6% memiliki rendemen yang tinggi dibandingkan Co-EEGDMA lain. Tetapi, titik leleh tertinggi terdapat pada penambahan EGDMA 2%. Hal ini mengindikasikan bahwa proses polimerisasi dengan penaut silang EGDMA memberikan perpanjangan rantai dan kenaikan berat molekul. Puncaknya adalah pemakaian penaut silang EGDMA 2%. Agen penaut silang ini memberikan hasil yang optimal sehingga pertumbuhkan perpanjangan rantai polimer dan jumlah sisi aktif –OH yang tinggi dibandingkan penambahan EGDMA 6% dan 12%. Gugus–OH inilah yang mengakibatkan titik leleh polimer tersebut tinggi karena adanya ikatan hidrogen di antara polimer tersebut. Struktur senyawa EGDMA akan memungkinkan terbentuk suatu rantai polimer yang dapat memudahkan ikatan hidrogen di antara sisi aktifnya, sehingga dengan demikian Co-EGDMA 2% memiliki titik leleh yang tinggi dibandingkan dua Co-EEGDMA lainnya.

## 2.6 Karakterisasi

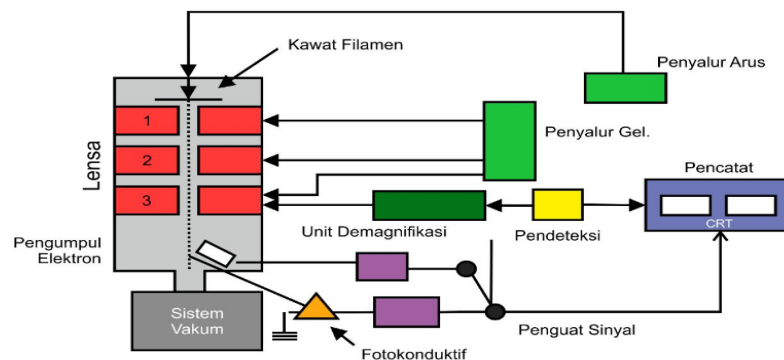
Pada penelitian ini, membran PIM dikarakterisasi dengan SEM, dan FT-IR serta hasil transpor *malachite green* dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis.

### 2.6.1 *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Metode analisis yang sangat penting dalam karakterisasi morfologi polimer adalah metode analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang berfungsi untuk analisis morfologi atau menggambarkan permukaan suatu objek atau material dengan perbesaran 10-3,000.000 kali, kedalaman medan (*depth of field*) 4–0,4 mm, dan resolusi sebesar 110 nm. SEM memiliki prinsip memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) dipermukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan cara mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek. SEM dilengkapi dengan mikroskop optik yang digunakan untuk mempelajari tekstur, topografi,

dan sifat permukaan bubuk atau padatan dan karena ketajaman fokus dari alat SEM sehingga gambar yang dihasilkan memiliki kualitas tiga dimensi.

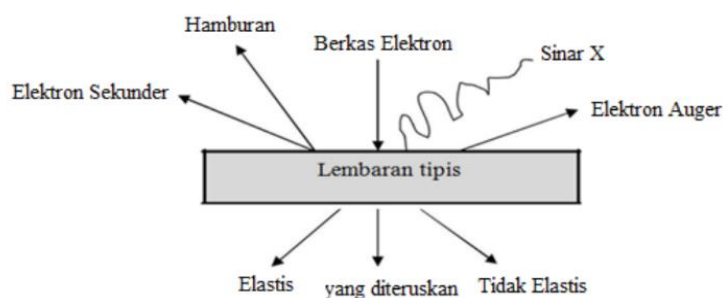
Prinsip analisis SEM adalah dengan menggunakan alat sinyal elektron sekunder. Berkas elektron diarahkan pada suatu permukaan spesimen yang telah dilapisi oleh suatu film konduktor. Pelapisan ini bertujuan agar polimer yang digunakan dapat menghasilkan arus listrik sehingga dapat berinteraksi dengan berkas elektron. Berkas elektron yang berinteraksi dengan spesimen dikumpulkan sehingga menghasilkan sinyal untuk mengatur intensitas elektron pada suatu tabung televisi yang diarahkan serentak dengan sinar dari mikroskop. Interaksi berkas elektron dengan spesimen akan menghasilkan pola difraksi elektron yang dapat memberikan informasi mengenai monografi ataupun topografi permukaan serta jenis unsur dan distribusinya (Wu *et al.*, 2007). 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 (Nur, 1989). Skema SEM dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Skema SEM (Ayyad, 2011)

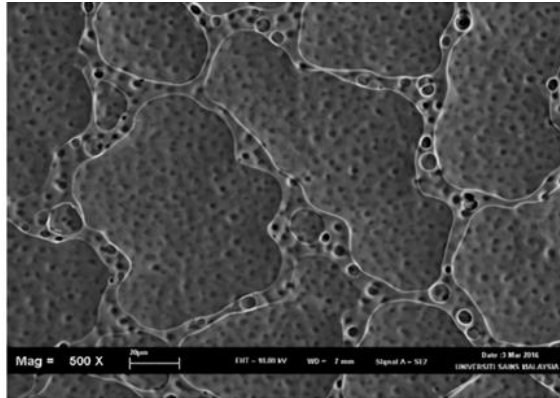
Struktur suatu material dapat diketahui dengan cara melihat interaksi yang terjadi jika suatu spesimen padat dikenai berkas elektron. Berkas elektron yang jatuh tersebut sebagian akan dihamburkan sedang sebagian lagi akan diserap dan

menembus spesimen. Bila spesimen cukup tipis, sebagian besar ditransmisikan dan beberapa elektron dihamburkan secara tidak elastis. Interaksi dengan atom dalam spesimen menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X dan elektron auger, yang semuanya dapat digunakan untuk mengkarakterisasi material. Berikut ini adalah gambaran mengenai mekanisme hamburan elektron-elektron apabila mengenai spesimen disajikan pada Gambar 6.



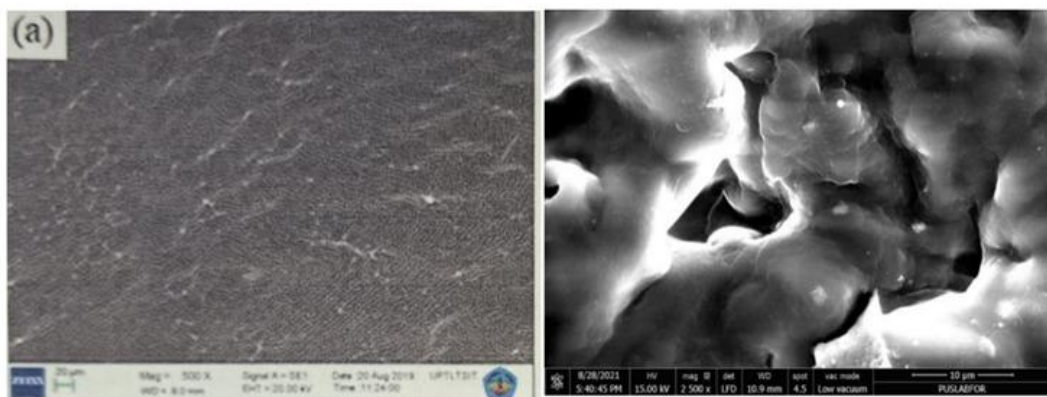
**Gambar 6.** Hamburan elektron yang jatuh pada lembaran tipis (Smallman, 2000).

Interaksi antara elektron dengan atom pada sampel akan menghasilkan pelepasan elektron dengan energi rendah, foton sinar-X, dan elektron auger, yang seluruhnya dapat digunakan untuk mengkarakterisasi material. Elektron sekunder adalah elektron yang dipancarkan dari permukaan kulit atom terluar yang dihasilkan dari interaksi berkas elektron jauh dengan padatan sehingga mengakibatkan terjadinya loncatan elektron yang terikat lemah dari pita konduksi. Elektron auger adalah elektron dari kulit orbit terluar yang dikeluarkan dari atom ketika elektron tersebut menyerap energi yang dilepaskan oleh elektron lain yang jatuh ke tingkat energi yang lebih rendah (Smallman, 2000). Data SEM memberikan informasi yang berguna terkait dengan sifat material, terutama morfologi permukaan material yang diselediki. Beberapa peneliti juga telah menggunakan SEM untuk tujuan tersebut (Malboubi *et al.*, 2011; Mohammadkhani *et al.*, 2011). Kemampuan transpor *malachite green* juga dapat dianalisis menggunakan SEM, dimana jika transpor *malachite green* sudah terjadi maka akan ada komponen membran cair yang hilang karena terjadinya *leaching*. Terjadinya kehilangan komponen membran pada transpor *malachite green* juga dapat diamati dengan memeriksa hasil analisis SEM pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Hasil SEM membran PIM setelah transpor *malachite green* (Ling and Suah, 2017).

Membran yang digunakan dalam penelitian Kiswandono dkk., (2013) adalah membran cair berpori. Kekuatan tarik membran berkurang dikarenakan hilangnya komponen-komponen membran selama proses pengangkutan berlangsung. *Plasticizer* menutup pori-pori pada membran. Ketika dilakukan transpor dimungkinkan akan ada komponen membran yang hilang (*leaching*). Komponen membran yang hilang itu akan mengakibatkan permukaan membran PIM berpori. Hal ini juga didukung oleh hasil pemindaian mikroskop elektron membran pada Gambar 8. Gambar ini menunjukkan bahwa hampir seluruh permukaan dan penampang membran berpori, artinya dalam proses pengangkutan terjadi kehilangan, sehingga penampang dan permukaan membran menjadi keropos setelah pengangkutan (Kiswandono dkk., 2013).



**Gambar 8.** Hasil SEM membran PIM Co-EEGDMA (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor (Erdianes, 2019).

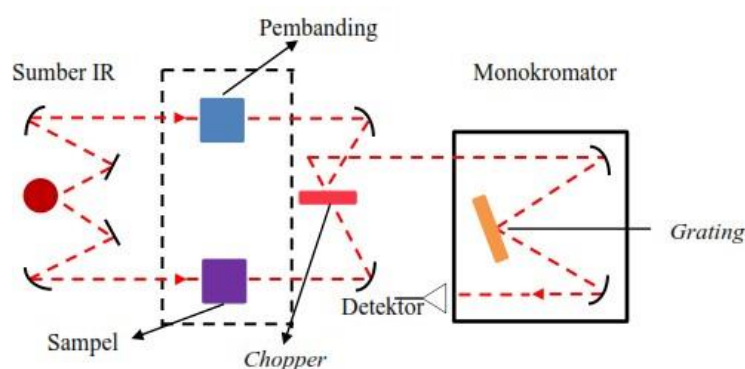
*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) adalah alat yang dapat digunakan untuk analisis kuantitatif dan kualitatif elemen yang didasarkan pada analisis spektral radiasi sinar-X karakteristik yang dipancarkan dari atom sampel pada iradiasi dengan berkas elektron yang difokuskan dari SEM (Julinawati dkk., 2015). SEM-EDX merupakan teknik untuk menganalisis elemental unsur kimia dari suatu spesimen. Alat ini bekerja ketika sinar energi tinggi yang bermuatan partikel seperti elektron difokuskan ke spesimen sehingga menimbulkan emisi sinar-X. Elektron dari *beam* yang dihasilkan dapat mengeksitasi elektron di kulit dalam terlepas, sehingga terjadi kekosongan elektron di mana elektron itu berada sebelumnya. Sebuah elektron dari luar kulit yang berenergi lebih tinggi dengan kulit yang berenergi lebih rendah akan diukur oleh detektor EDX. Energi dari sinar-X yang dihasilkan merupakan karakteristik struktur atom dari unsur yang terpancar, sehingga memungkinkan komposisi unsur dari suatu spesimen dapat diketahui

### **2.6.2 Spektrofotometri *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR)**

Spektrofotometri infra merah merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 0,75 – 1,000  $\mu\text{m}$  atau pada bilangan gelombang 13,000 – 10  $\text{cm}^{-1}$ . Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR) pada dasarnya adalah sama dengan spektrofotometer IR, perbedaannya terdapat pada sistim optik FT-IR digunakan radiasi *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER) yang berfungsi sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi infra merah agar sinyal radiasi infra merah yang diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik (Giwangkara, 2006). Prinsip kerja FT-IR berupa *infrared* yang melewati celah menuju sampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel, kemudian beberapa *infrared* diserap oleh sampel dan yang lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar *infrared* lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim kekomputer (Thermo, 2001). Analisis menggunakan spektrometer FT-IR



memiliki beberapa kelebihan, diantaranya yaitu dapat digunakan pada semua frekuensi dari sumber cahaya secara simultan, sehingga analisis dapat dilakukan lebih cepat dari pada menggunakan cara *scanning*, sensitivitas FT-IR lebih tinggi dari instrumentasi dispersi standar karena resolusinya lebih tinggi. Sensitivitas dari metoda spektrofotometri FT-IR lebih besar dibandingkan cara dispersi, disebabkan radiasi yang masuk ke sistim detektor lebih banyak karena tanpa harus melalui celah. Analisis menggunakan spektrofotometri FT-IR dapat mengidentifikasi gugus fungsi suatu material organik (Hamdila, 2012). Skema FT-IR dapat dilihat pada Gambar 9.



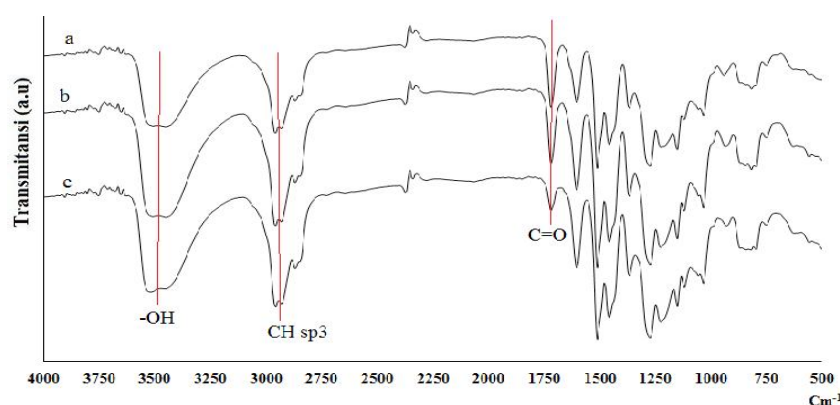
**Gambar 9.** Skema peralatan FT-IR (Thermo, 2001).

Tujuan karakterisasi dengan menggunakan FT-IR yaitu untuk mengetahui jenis-jenis vibrasi antar atom. Selain itu FT-IR juga digunakan untuk menganalisis senyawa organik dan anorganik serta analisis kualitatif dan analisa kuantitatif dengan melihat kekuatan absorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu (Hindryawati dan Alimuddin, 2010). Analisis kualitatif dilakukan dengan melihat bentuk puncak-puncak spektrumnya yang spesifik sesuai dengan gugus-gugus fungsional yang dimiliki oleh senyawa yang dianalisis. Sedangkan untuk analisis secara kuantitatif dilakukan menggunakan senyawa standar berdasarkan pada variasi konsentrasi lalu dibuat spektrumnya. Bilangan gelombang beberapa gugus fungsi lainnya pada FT-IR dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan (Dachriyanus, 2004).

Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Jenis Ikatan
3750-3000	Regangan O–H dan N–H
3000-2700	Regangan $-\text{CH}_3$ , $-\text{CH}_2$ , C–H dan C–H aldehyd
1900-1650	Regangan C=O (asam, aldehyd, keton, amida, ester dan anhidrida)
1675-1500	Regangan C=C (aromatik dan alifatik) dan C=N
1475-1300	C–H <i>bending</i>
1000-6500	C=C–H dan Ar–H <i>bending</i>

Membran dapat digunakan dalam proses pemisahan dan penghilangan senyawa organik serta pemulihan ion logam (Shipra, 2009). Eugenol memiliki beberapa gugus fungsional, yaitu alil ( $-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$ ), gugus hidroksi ( $-\text{OH}$ ) dan metoksi ( $-\text{OCH}_3$ ). Sedangkan pada divinil benzen hanya mengandung gugus fungsi vinil ( $-\text{CH}=\text{CH}_2$ ). Sisi aktif yang dimiliki oleh senyawa pembawa hasil sintesis ini salah satunya adalah gugus  $-\text{OH}$ . Oleh karena itu, karak-terisasi spektroskopi IR menjadi penting karena hasilnya akan memberikan informasi mengenai gugus-gugus fungsional dari masing-masing polimer). Serapan spektra pada ketiga polimer tersebut mempunyai pola yang hampir sama, oleh karena itu perbedaan ketiganya dapat dilihat atau dibedakan berdasarkan luas area spektra dan rasio intensitas masing-masing serapan. Spektra dari Co-EEGDMA 2, 6, dan 12% dapat dilihat pada Gambar 10.

**Gambar 10.** Spektra IR dari Co-EEGDMA (a) 12%, (b) 6%, dan (c) 2% (Kiswandono, 2014).

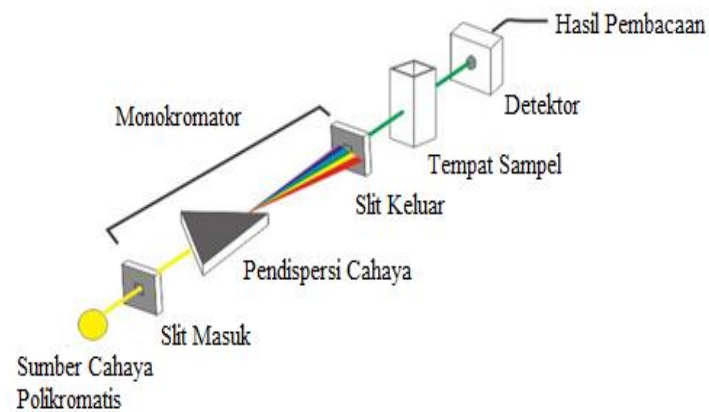
### 2.6.3 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis adalah pengukuran panjang gelombang, intensitas sinar ultraviolet, dan cahaya tampak yang diabsorpsi oleh sampel. Sinar ultraviolet dan cahaya tampak memiliki energi yang cukup untuk mempromosikan elektron pada kulit terluar ke tingkat energi yang lebih tinggi. Spektroskopi UV-Vis biasanya digunakan untuk molekul dan ion anorganik atau kompleks di dalam larutan. Spektrum UV-Vis mempunyai bentuk yang lebar dan hanya sedikit informasi tentang struktur yang bisa didapatkan dari spektrum ini sangat berguna untuk pengukuran secara kuantitatif. Sinar ultraviolet berada pada panjang gelombang 200-400 nm, sedangkan sinar tampak berada pada panjang gelombang 400-800 nm. Kebanyakan penerapan spektrofotometri UV-Vis pada senyawa organik didasarkan  $n-\pi^*$  ataupun  $\pi-\pi^*$  karena spektrofotometri UV-Vis memerlukan hadirnya gugus kromofor dalam molekul itu. Transisi ini terjadi dalam daerah spektrum (200-700 nm) yang nyaman untuk digunakan dalam eksperimen. Nilai yang keluar dari cahaya yang diteruskan dinyatakan dalam nilai absorbansi karena memiliki hubungan dengan konsentrasi sampel. Hukum Beer menyatakan nilai absorbansi cahaya berbanding lurus dengan konsentrasi dan ketebalan bahan atau medium (Skoog *et al.*, 2004).

Spektrofotometer UV-Vis yang komersial biasanya beroperasi dari sekitar 175 nm atau 200-1000 nm. Identifikasi kualitatif senyawa organik dalam daerah ini jauh lebih terbatas daripada dalam daerah inframerah. Ini karena pita serapan terlalu lebar dan kurang terinci. Tetapi, gugus-gugus fungsional tertentu seperti karbonil, nitro, sistem tergabung, benar-benar menunjukkan puncak yang karakteristik, dan sering dapat diperoleh informasi yang berguna mengenai ada tidaknya gugus semacam itu dalam molekul tersebut (Suhartati, 2017). Prinsip kerja spektrofotometer berdasarkan hukum Lambert Beer, yaitu bila cahaya monokromatik ( $I_0$ ) melalui suatu media (larutan), maka sebagian cahaya tersebut diserap ( $I_a$ ), sebagian dipantulkan ( $I_r$ ), dan sebagian lagi dipancarkan ( $I_t$ ) (Huda, 2001). Menurut Khopkar (2003), instrumen spektrofotometri UV-Vis adalah :

1. Sumber sinar polikromatis, berfungsi sebagai sumber sinar polikromatis dengan berbagai macam rentang panjang gelombang. Sumber yang biasa digunakan pada daerah UV adalah lampu deuterium atau disebut juga *heavy* hidrogen, sedangkan pada daerah Vis menggunakan lampu tungsten yang sering disebut lampu wolfram, spektrofotometer UV-Vis menggunakan *photodiode* yang telah dilengkapi monokromator.
2. Monokromator, merupakan alat yang memecah cahaya polikromatis menjadi cahaya tunggal (monokromatis) dengan komponen panjang gelombang tertentu. Monokromator berfungsi untuk mendapatkan radiasi monokromator dari sumber radiasi yang memancarkan radiasi polikromatis. Monokromator terdiri dari susunan : celah (slit) masuk – filter – kisi (*grating*) – celah (slit) keluar.
3. Wadah sampel (kuvet), merupakan wadah sampel yang akan dianalisis. Kuvet dari leburan silika (kuarsa) dipakai untuk analisis kualitatif dan kuantitatif pada daerah pengukuran 190-1100 nm, dan kuvet dari bahan gelas dipakai pada daerah pengukuran 380-1100 nm karena bahan dari gelas mengabsorpsi radiasi UV.
4. Detektor, menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel. Cahaya kemudian diubah menjadi sinyal listrik oleh amplifier dan dalam rekorder akan ditampilkan dalam bentuk angka-angka pada reader (komputer).
5. *Visual display/read out*, merupakan suatu sistem baca yang menangkap besarnya isyarat listrik yang berasal dari detektor. Menyatakan dalam bentuk% transmittan maupun absorbansi.

Cara kerja alat spektrofotometer UV-Vis yaitu sinar dari sumber radiasi diteruskan menuju monokromator. Cahaya dari monokromator diarahkan terpisah melalui sampel dengan sebuah cermin berotasi. Detektor menerima cahaya dari sampel secara bergantian secara berulang-ulang. Sinyal listrik dari detector diproses, diubah ke digital dan dilihat hasilnya, selanjutnya perhitungan dilakukan dengan komputer yang sudah terprogram (Harjadi, 1993). Skema alat spektroskopi UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Skema alat spektrofotometer UV-Vis (Khopkar, 2003).

Menurut penelitian Ling *and* Suah (2017), panjang gelombang maksimum yang digunakan untuk mengukur *malachite green* pada UV-Vis yaitu sebesar 617 nm. Sedangkan pada penelitian (Bhernama, 2017), pengukuran serapan maksimum *malachite green* dilakukan dengan mengukur absorban *malachite green* pada panjang gelombang 200-800 nm, dan didapatkan panjang gelombang maksimum sebesar 618,07 nm.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Januari 2023 sampai dengan Maret 2023 di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi senyawa pembawa Co-EEGDMA 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 alat *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah *magnetic stirrer*, *spin 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, batang pengaduk, spatula, labu bundar, labu ukur, cetakan membran 5 cm, *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-EEDGMA 2%, aluminium foil, tisu, akuades, akuabides, *polyvinyl chloride* (PVC), dibenzileter (DBE), tetrahidrofuran (THF), HNO<sub>3</sub>, Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, dan Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>

### 3.3 Metode Optimasi Transpor

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

Mencetak atau membuat membran PIM dengan berat total 0,27; 0,54 dan 1,08 g dalam suatu cetakan yang telah dilengkapi dengan *spin bar*. Komponen penyusun membran yaitu Co-EEGDMA 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.

Perbandingan komponen membran dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Perbandingan komponen pembentuk membran (10:32:58) (Nghiem *et al*, 2006).

Membran	Co-EEGDMA (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***

Pembuatan larutan induk *malachite green* 1000 ppm dibuat dengan cara melarutkan 1 g *malachite green* dalam 1000 mL akuades. Pembuatan limbah buatan, yaitu dengan memasukkan 0,0250 g *malachite green*, 0,0400 g  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  dan 0,0738 g  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  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 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, 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**

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. Variasi konsentrasi HNO<sub>3</sub> pada fasa penerima adalah 0,50; 0,75; 1,00; 1,25 dan 1,50 M. 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 T<sub>27</sub>, T<sub>54</sub>, dan 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 yang sudah dicetak dan mengandung variasi konsentrasi senyawa pembawa 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 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. Variasi konsentrasi senyawa pembawa dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Variasi konsentrasi senyawa pembawa

Membran	Co-EEGDMA (M)	PVC (g)	DBE (g)	Berat Total (g)
1	1x10 <sup>-2</sup>	0,1728	0,3132	0,5417
2	2x10 <sup>-2</sup>	0,1728	0,3132	0,5977
3	3x10 <sup>-2</sup>	0,1728	0,3132	0,6576
4	4x10 <sup>-2</sup>	0,1728	0,3132	0,7095
5	5x10 <sup>-2</sup>	0,1728	0,3132	0,7654

### 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 fase penerima

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

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

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

Keterangan :

%*Removal* = % *Malachite green* yang terdapat di dalam fase penerima

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

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

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

Keterangan:

$V_f$  = Volume fluida ( $m^3$ )

A = Luas permukaan membran (m)

t = Waktu (jam)

$[C]_t$  = Konsentrasi awal fase sumber

$[C]_0$  = Konsentrasi permeat (konsentrasi *malachite green* yang ada pada fase 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)

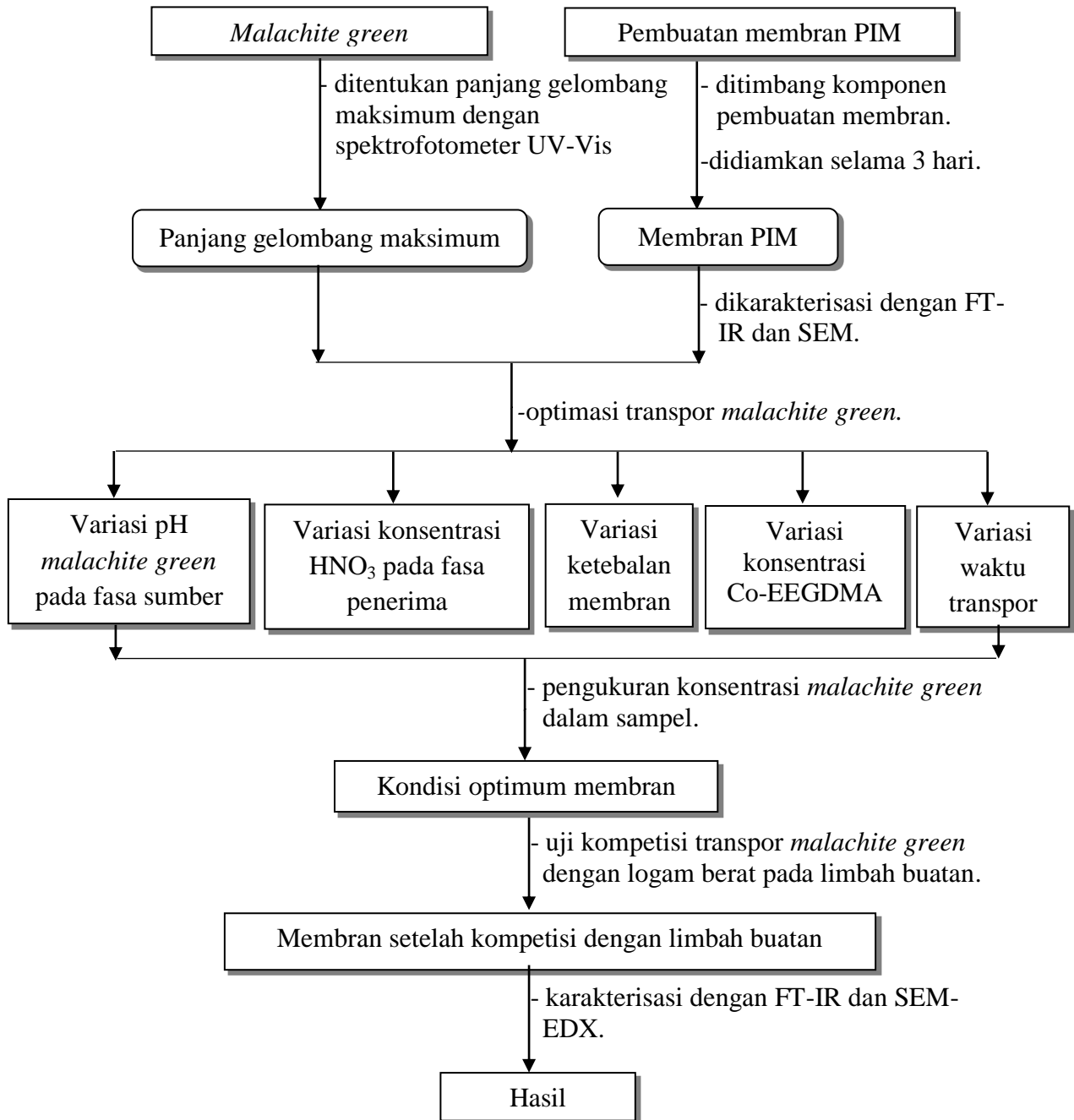
C<sub>t</sub> = Konsentrasi awal fase sumber saat t optimum

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

Sampel limbah buatan dibuat dengan mencampurkan *malachite green*, Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> dan Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 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 12 jam 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 Penelitian

Diagram alir dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 12.



**Gambar 12.** Diagram alir penelitian

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Transpor *malachite green* mencapai nilai optimum dengan kondisi pH fasa sumber 9, konsentrasi fasa penerima 0,5 M dengan ketebalan membran PIM T<sub>54</sub>, dengan komposisi senyawa Co-EEGDMA 2% sebesar  $4 \times 10^{-2}$  M, dan selama waktu transpor 18 jam dengan jumlah *malachite green* yang hilang dari fasa sumber (%removal *malachite green*) yaitu sebesar 90,84%.
2. Keberadaan logam kompetitor Pb(II) dan Cu(II) mengganggu proses transpor *malachite green* dari fasa sumber ke fasa penerima, dibuktikan dengan konsentrasi *malachite green* kontrol yang tertranspor ke fasa penerima lebih besar berdasarkan (%removal *malachite green*) yaitu sebesar 87,99% lebih besar dibandingkan konsentrasi *malachite green* dengan logam kompetitor Pb(II) dan Cu(II) berdasarkan (%removal *malachite green*) yaitu sebesar 84,31%. Kompetisi transpor *malachite green* dengan logam kompetitor didapatkan logam Pb(II) yang tertranspor ke fasa penerima sebesar 16,93% dan logam Cu(II) yang tertranspor ke fasa penerima sebesar 2,01%.
3. Hasil dari karakterisasi membran PIM setelah transpor memiliki pori dan permukaan yang tidak rata, hal ini disebabkan karena terdapat komponen membran yang hilang selama proses transpor (*leaching*). Hal ini dibuktikan dengan uji kualitatif FT-IR yang menunjukkan adanya pergeseran pita serapan dan penurunan intensitas.

## 5.2 Saran

Saran dari penelitian ini untuk penelitian selanjutnya adalah perlu dilakukan pengujian dan penelitian yang lebih lanjut mengenai transpor *malachite green* yang difokuskan kepada %*recovery malachite green* yang lebih tinggi sehingga zat warna ini bisa digunakan kembali. Selain itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai transpor *malachite green* dengan beberapa logam kompetitor selain logam Pb(II) dan Cu(II) menggunakan metode *polymer inclusion membrane* (PIM) dengan senyawa pembawa Co-EEGDMA.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, J., and Muthuraman. 2015. Effective Extraction and Recovery of Malachite Green from Wastewater Using Orthochloro Benzoic Acid. *International Journal of ChemTech Research*. 7(7): 3126-3133.
- Anwar, C. 2007. The Conversion of Eugenol Into More Valuable Substances. *Disertasi*. FMIPA UGM. Yogyakarta.
- Ashraf, M. W., Abdulibdeh, 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.
- Ayyad, O. D. H. 2011. Novel Strategies for The Synthesis of Metal Nanoparticles and Nanostructures. *Tesis*. Universitas de Barcelona. Barcelona.
- Banerjee, S., Sharma, G. C., Gautam, R. K., Chattopadhyaya, M. C., Upadhyay, S. N., and Sharma Y. C. 2016. Removal of Malachite Green, a Hazardous Dye from Aqueous Solutions Using Avena Sativa (Oat) Hull As a Potential Adsorbent. *Journal of Molecular Liquid*. 213(1): 162-172.
- Bhernama, B. G. 2017. Degradasi Zat Warna Malachite Green secara Ozonolisis dengan Penambahan Katalis TiO<sub>2</sub> Anatase dan ZnO. *Elkawnie*. 3(1): 1-10.
- Cleij, T. J., Jenneskens, L.W., and Kluijtmans S. G. S. J. M. 1997. Unprecedented Thermo-and Ion-Responsive Behavior of a Non-Ionic Water-Soluble Polysilane. *Advanced Materials*. 9(12): 961-964.
- Dachriyanus. 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik secara Spektroskopi*. Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas. Padang.
- Dos, R. L. G. T., Robaina, N. F., Pacheco, W. F., and Cassella, R. J. 2011. Separation of Malachite Green and Methyl Green Cationic Dyes from Aqueous Medium by Adsorption on Amberlite XAD-2 and XAD-4 Resins Using Sodium Dodecylsulfate as Carrier. *Chemical Engineering Journal*. 171(2): 532-540.



- Dzygiel, P., and Wieczorek, P. P. 2010. *Liquid Membranes: Principles and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment, Chapter 3: Supported Liquid Membranes and Their Modifications: Definition, Classification, Theory, Stability, Application and Perspectives, First edition*. Radarweg. Amsterdam
- Erdianes, L. 2019. Uji Stabilitas dan Kemampuan Membran PIM (Polymer Inclusion Membrane) yang Mengandung Kopolimer (Eugenol-Etilen Glikol Dimetakrilat) 4%. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Fan, J., Fan, Y., Pei, Y., Wu, K., Wang, J., and Fan, M. 2008. Solvent Extraction of Selected Endocrine-Disrupting Phenols Using Ionic Liquids. *Purification Technology*. 61(3): 324-331.
- Feng, J., Chen, Y., Pu, J., Yang, X., Zhang, C., Zhu, S., Zhao, Y., Yuan, Y., Yuan, H., and Liao, F. 2011. An Improved Malachite Green Assay of Phosphate: Mechanism and Application. *Analytical Biochemistry*. 409(1): 144-149.
- Gherasim, C. V., Bourceanu, G., Olariu, R. I., and Arsene, C. 2011. A Novel Polymer Inclusion Membrane Applied in Chromium (VI) Separation from Aqueous Solutions. *Journal of Hazardous Materials*. 197(1): 244-253.
- Giwangkara S, E. 2006. *Analisis Sidik Jari Minyak Bumi Menggunakan Spektrofotometer Infra Merah Transformasi Fourier (FT-IR)*. Sekolah Tinggi Energi dan Mineral. Jawa Tengah.
- Hamdila, J. D. 2012. Pengaruh Variasi Massa Terhadap Karakteristik Fungsionalitas dan Termal Komposit MgO-SiO<sub>2</sub> Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Katalis. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Harimu, L., Matsjeh, S., Siswanta, D., dan Santosa, S. J. 2012. Sintesis Polieugenol Oksiasetat Sebagai Pengemban untuk Pemisahan Ion Logam Berat Fe(III), Cr(III), Cu(II), Ni(II), Co(II), dan Pb(II) Menggunakan Metode Ekstraksi Pelarut. *Indonesia Journal Chemistry*. 9(2): 261-266.
- Harjadi, W. 1993. *Ilmu Kimia Analitik Dasar*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hindryawati, N., dan Alimuddin. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi dengan Menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH). *Jurnal Kimia Mulawarman*. 7(2): 75-77.
- Hiratani, K., Hirose, T., Kasuga, K., and Saito, K. 1992. N-98 Quinolyl-2-Pyridylmethyl Malonamide Derivates As a Novel Cu (II) Carrier. *Journal of Organic Chemistry*. 57(2): 7083-7087.
- Huda, N. 2001. Pemeriksaan Kinerja Spektrofotometer UV-Vis GBC 911A Menggunakan Pewarna Tartrazine CL 19140. *Sigma Epsilon*. 1(20): 15-20.

- Huidong, Z., Wang, B., Wu, Y., and Ren, Q. 2009. Instability Mechanisms of Supported Liquid Membrane for Fenol Transport. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 17(5): 750-755.
- Iqbal, M., and Datta, D. 2019. Competitive Removal of Malachite Green and Rhodamine-B Using Amberlite-XAD-4 Impregnated with Aliquat 336:Experimental and Modelling Studies. *Separation Science and Technology*. 55(3): 537-553.
- Julinawati, Marliana, Nasution, R., and Sheilatina. 2015. Applying SEM-EDX Techniques to Identifying the Types of Mineral of Jades (GIOK) Takengon, Aceh. *Jurnal Natural*. 15(2): 44-48.
- Kataren, S. 1985. *Pengantar Teknologi Minyak Atsiri*. Balai Pustaka. Jakarta.
- Khopkar, S. M. 2003. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press. Jakarta.
- Kim, J. S., Lee, S. H., Yu, S. H., Cho, M. H., Kim, D. W., Kwon, S. G., and Lee, E. H. 2002. Calix[6]Arene Bearing Carboxylic Acid and Amide Groups in Polymeric CTA Membrane. *Bulletin of the Korean Chemical Society*. 23(8): 1085-1088.
- Kislik, V. S. 2010. *Liquid Membranes: Principles and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment*. Elsevier. Inggris.
- Kiswandono, A. A. 2010. Studi Transpor Fenol dengan Menggunakan Membran Cair Polieugenol. *Tesis*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Kiswandono, A. A. 2014. Kajian Transpor Fenol Melalui Membran Berbasis Polieugenol Tertaut Silang Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane (PIM). *Disertasi*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Kiswandono, A. A., Hadi, S., Mudasir, Sinjia, F., Sari, M. Y., and Irfan, M. 2019. Copoly Eugenol Crosslinked Dialylphthalate 8% as a Carrier in Phenol and Pb(II) Metal Transport. *Journal of Physics: Conference Series*. 1338: 1-8.
- 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., 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., dan Aprilita, N. H. 2010. Studi Transpor Fenol dengan Menggunakan Membran Cair Polieugenol. *Makalah dipresentasikan pada Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia II*, FKIP Jurusan Kimia Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

- Kiswandono, A. A., Siswanta, D., Aprilita, N. H., and Santosa, S. J. 2012. Transport of Phenol Through Inclusion Polymer Membrane (PIM) Using Copoly(eugenol-DVB) as Membrane Carriers. *Indonesian Journal of Chemistry*. 12(2): 105-112.
- Kiswandono, A. A., Supriyanto., Nuryaman, A., Siswanta, D., Aprilita, N. H., dan Santosa, S. J. 2017. Sintesis dan Uji Kemampuan Senyawa Co-EEGDMA Sebagai Senyawa Pembawa pada Transport Fenol Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane. *Jurnal Penelitian Saintek*. 22(2): 114-125.
- Ling, Y. Y., and Suah, F. B. M. S. 2017. Extraction of Malachite green from Wastewater by Using Polymer Inclusion Membrane. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 5(1): 785-794.
- Liu, C. H., Wu, J. H., Chiu, H. C., Suen, S. Y., and Chu, K. H. 2007. Removal of Anionic Reactive Dyes from Water Using Anion Exchange Membranes as Adsorbers. *Water Research*. 41(7): 1491-1500.
- Malboubi. M., Gu. Y. and Jiang. K. 2011. Characterization of Surface Properties of Glass Micropipettes Using SEM Stereoscopic Technique. *Microelectron Engineering*. 88(8): 2666-2670.
- Mohammadkhani. A., Malboubi. M., Anthony. C. and Jiang. K. 2011. Characterization of Surface Properties of Ordered Nanostructures Using SEM Stereoscopic Technique. *Microelectron Engineering*. 88(8): 2687-2690.
- Nghiem, L. D., Mornane, P., Potter, I. D., Perera, J. M., Cattrall, R. W., and Kolev, S. D. 2006. Extraction and Transport of Metal Ions and Small Organic Compounds Using Polymer Inclusion Membranes (PIM). *Journal of Membrane Science*. 281(1-2): 7-41.
- Nur, M. A. 1989. *Teknik Spektroskopi dalam Analisis Biologis*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Pereira, N., John. A. S., Cattrall. R. W., Perera. J. M., and Kolev. S. D. 2009. Influence of The Composition of Polymer Inclusion Membranes on Their Homogeneity and Flexibility. *Desalination*. 236(1-3): 327-333.
- Pont, N., Salvado, V., and Fontas, C. 2008. Selective Transport and Removal of Cd from Chloride Solutions by Polymer Inclusion Membranes. *Journal Membrane Science*. 318(1-2): 340-345.
- Raut, D. R., Mohapatra, P. K. and Manchanda. V. K. 2012. A Highly Efficient Supported Liquid Membrane System for Selective Strontium Separation Leading to Radioactive Waste Remediation. *Journal of Membrane Science*. 390-391(1) 76-83.
- Raval, N. P., Shah, P. U. and Shah, N. K. 2017. Malachite Green a Cationic Dye and its Removal from Aqueous Solution by Adsorption. *Applied Water Science*. 7(1): 347-352.

- Sastrohamidjojo, H. 1981. A Study of Some Indonesian Essensial Oil. *Desertation Gadjah Mada University*. Yogyakarta.
- Sastrohamidjojo, H. 2014. Kimia Minyak Atsiri. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Sekhar, C. P., Kalidhasan, S., Rajesh, V., and Rajesh, N. 2009. Bio-Polymer Adsorbent for The Removal of Malachite Green from Aqueous Solution. *Chemosphere*. 77(6): 842-847.
- Shipra. 2009. To Study Selective Transport of Ag(I) Ion Using Polymer Inclusion Membranes Containing Thiuram Sulphide as a Carrier. *Thesis*. Thapar University. Patiala.
- Sohilait, H. J., Sastrohamidjojo, H., Mattsjeh, S., and Grossert, J. S. 2005. Synthesis of Analog L-alfa-Dopa from Eugenol. *Indonesia Journal Chemistry*. 5(3): 198-202.
- Skoog, Holler, Nieman. 2000. *Principles of Instrumental Analysis*. Saunders College Publishing. USA.
- Smallman, R. E. 2000. *Metalurgi Fisik Modern Edisi Keempat*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- 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.
- Subbareddy, Y., Jeseentharani, V., Jayakumar, C., Nagaraja, K. S., and Jeyaraj, B. 2012. Adsorptive Removal of Malachite Green (Oxalate) by Low Cost Adsorbent. *Journal of Environmental Research and Development*. 7(1): 275-284.
- Suhartati, T. 2017. *Dasar-Dasar Spektrofotometri Uv-Vis dan Spektrometri Massa untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Anugrah Utama Raharja CV. Bandar Lampung.
- 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*. 5(1): 19-25.
- Sunarsih, F. 2019. Sintesis Kopolimer Eugenol Etilen Glikol Dimetakrilat (Ko-EEGDMA) Sebagai Senyawa Pembawa pada Transpor Fenol Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane (PIM). *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Thermo, N. 2001. *Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry*. Thermo Electron Co. USA.

- Tifani, G. 2019. Studi Stabilitas dan Kemampuan Transpor Fenol Menggunakan Polymer Inclusion Membrane (PIM) Dengan Copoly-Eugenol Etilen Glikol Dimetakrilat (Co-EEGDMA) Sebagai Senyawa Pembawa. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Towaha, J. 2012. Manfaat Eugenol Cengkeh dalam Berbagai Industri di Indonesia. *Perspektif*. 11(2): 79-90.
- Walkowiak, W., Ulewicz, M., and Kozlowski, C. A. 2002. Application of Macrocyclic Compounds For Metal Ions Separation and Removal- A Review. *Ars Separatoria Acta*. 1(2): 87-98.
- Wu, C. F., Chen, Y. L., Chen, C. C., Yang, T. T., and Chang, P. E. 2007. Applying Open-path Fourier Transform Infrared Spectroscopy for Measuring Aerosols. *Journal of Environmental Science and Health-Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. 42(8): 1131-1140.
- Yaftian, M. R., Burgard, M., Dieleman, C. B., and Matt, D. 1998. Rare-Earth Metal-Ion Separation Using a Supported Liquid Membrane Mediated by A Narrow Rim Phosphorylated Calix[4]Arene. *Journal Membrane Science*. 144(1-2): 57-64.
- Yakout, A. A and Shaker, M. A. 2016. Dodecyl Sulphate Functionalized Magnetic Graphene Oxide Nanosorbent for The Investigation of Fast and Efficient Removal of Aqueous Malachite Green. *Journal of the Taiwan Institute Chemical Engineers*. 63(1): 81-88.
- Zhang, B., Gozzelino, G., and Baldi, G. 2001. Membrane Liquid Loss of Supported Liquid Membrane Based on n-decanol. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 193(1): 61-70.
- Zhou, X., Zhang, J., Pan, Z., and Li, D. 2018. Review of Methods for The Detection and Determination of Malachite green and Leuco-Malachite Green in Aquaculture. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 49(1): 1-20.
- Zheng, H. D., Wang, B. Y., Wu, T. 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.
- Zidi, C., Tayeb, R., Ali, M. B. S., and Dhahbi, M. 2010. Liquid-liquid Extraction and Transport Across Supported Liquid Membrane of Phenol Using Tributyl Phosphate. *Journal Membrane Science*. 360(2): 334-340.