

**STUDI TRANSPOR *MALACHITE GREEN*  
MENGUNAKAN METODE *POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM)*  
DENGAN *POLY-BISPHENOL A DIGLYCIDYL ETHER (POLY-BADGE) 1:1*  
SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Ayu Aulia Putri**



**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### STUDI TRANSPOR *MALACHITE GREEN* MENGUNAKAN METODE *POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM)* DENGAN *POLY-BISPHENOL A DIGLYCIDYL ETHER (POLY-BADGE) 1:1* SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA

Oleh

AYU AULIA PUTRI

Penelitian mengenai studi transpor *malachite green* telah dilakukan menggunakan metode *Polymer Inclusion Membrane (PIM)* dengan *Poly-Bisphenol A Diglycidyl Ether (Poly-BADGE) 1:1* sebagai senyawa pembawa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui optimasi PIM dengan senyawa pembawa *Poly-BADGE 1:1* dengan mempelajari pengaruh pH *malachite green* pada fasa sumber, konsentrasi  $\text{HNO}_3$  pada fasa penerima, ketebalan membran, konsentrasi senyawa pembawa dan waktu transpor *malachite green*, serta mempelajari kompetisi transpor *malachite green* pada limbah buatan. Membran dipreparasi dengan melarutkan senyawa pembawa *Poly-BADGE 1:1*, polivinil klorida dan dibenzil eter ke dalam pelarut tetrahidrofuran (THF). Konsentrasi *malachite green* setelah transpor ditentukan dengan metode spektrofotometri UV-Vis dan absorbansinya di ukur pada panjang gelombang  $\lambda=613$  nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran PIM dengan senyawa pembawa *Poly-BADGE 1:1* mampu mentranspor *malachite green* secara efektif sebesar 93,28% pada kondisi optimum: pH fasa sumber 8, konsentrasi fasa penerima 1,00 M, ketebalan membran PIM  $T_{54}$ , konsentrasi senyawa pembawa 0,05 M, dan waktu transpor 24 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. Keberadaan logam kompetitor mengakibatkan adanya gangguan terhadap proses transpor *malachite green* dari fasa sumber ke fasa penerima.

**Kata Kunci:** *Malachite Green*, *Poly-BADGE 1:1*, *Polymer Inclusion Membrane (PIM)*

## ABSTRACT

### STUDY TRANSPORT OF MALACHITE GREEN USING THE POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM) METHOD WITH POLY-BISPHENOL A DIGLYCIDYL ETHER (POLY-BADGE) 1:1 AS A CARRIER COMPOUND

By

AYU AULIA PUTRI

Research on malachite green transport study has been conducted using Polymer Inclusion Membrane (PIM) method with Poly-Bisphenol A Diglycidyl Ether (Poly-BADGE) 1:1 as carrier compound. This study aims to determine the optimization of PIM with Poly-BADGE 1:1 carrier compound by studying the effect of malachite green pH in the source phase, HNO<sub>3</sub> concentration in the receiving phase, membrane thickness, carrier compound concentration and malachite green transport time, and studying malachite green transport competition in artificial waste. The membrane was prepared by dissolving the carrier compound Poly-BADGE 1:1, polyvinyl chloride and dibenzyl ether into tetrahydrofuran (THF) solvent. The concentration of malachite green after transport was determined by UV-Vis spectrophotometric method and the absorbance was measured at a wavelength of  $\lambda = 613$  nm. The results showed that PIM membrane with Poly-BADGE 1:1 carrier compound was able to effectively transport malachite green by 93.28% at the optimum conditions: source phase pH 8, receiving phase concentration 1.00 M, PIM membrane thickness T54, carrier compound concentration 0.05 M, and transport time 24 hours. PIM membranes before and after transport were characterized using FT-IR and SEM. The transport of malachite green with Pb(II) and Cu(II) metals resulted in a smaller concentration of malachite green transported compared to the transport of malachite green without metals. The presence of competing metals causes interference with the transport process of malachite green from the source phase to the receiving phase.

**Keywords:** Malachite Green, Poly-BADGE 1:1, Polymer Inclusion Membrane (PIM).

**STUDI TRANSPOR *MALACHITE GREEN*  
MENGUNAKAN METODE *POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM)*  
DENGAN *POLY-BISPHENOL A DIGLYCIDYL ETHER (POLY-BADGE) 1:1*  
SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA**

Oleh

*Ayu Aulia Putri*

**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  
MENGUNAKAN METODE POLYMER  
INCLUSION MEMBRANE (PIM) DENGAN  
POLY-BISPHENOL A DIGLYCIDYL ETHER  
(POLY-BADGE) 1:1 SEBAGAI SENYAWA  
PEMBAWA**

Nama Mahasiswa : *Ayu Aulia Putri*

Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011013

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**MENYETUJUI**  
1. Komisi Pembimbing

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

**Rinawati, Ph.D.**  
NIP. 197104142000032001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA UNILA

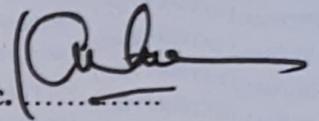
**Mulyono, M.Si., Ph.D.**  
NIP. 197406112000031002

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

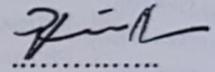
Ketua

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



Sekretaris

: **Rinawati, Ph.D.**



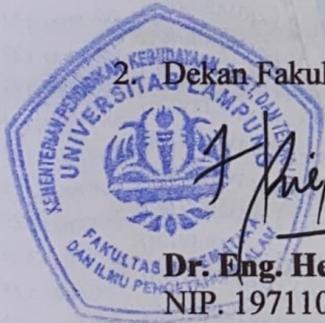
Penguji

Bukan Pembimbing

: **Dr. Ilim, M.S.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **01 Agustus 2023**

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ayu Aulia Putri  
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011013  
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 Poly-Bisphenol A Diglycidyl Ether (Poly-BADGE) 1:1 Sebagai Senyawa Pembawa*” adalah hasil pekerjaan saya sendiri, dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau di terbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, serta dapat diterima sebagai persyaratan penyelesaian studi pada Universitas atau Institut lainnya.

Bandar Lampung, 16 Juli 2023

Yang Menyatakan



Ayu Aulia Putri

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Ayu Aulia Putri, lahir di Kota Metro pada tanggal 1 Februari 2001, sebagai anak satu dari dua bersaudara, putri dari pasangan Bapak Sadeli dan Ibu Indarwati. Penulis saat ini bertempat tinggal di Desa Margodadi, Kecamatan Metro Selatan, Kota Metro, Lampung.

Penulis menyelesaikan pendidikan mulai dari TK Islam Terpadu Bina Insan Cisait Serang lulus pada tahun 2007, lalu melanjutkan ke SD Negeri Graha Cisait lulus pada tahun 2013, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 3 Metro lulus pada tahun 2016, dan selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 4 Metro 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 Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa di Jurusan Kimia, penulis telah aktif berorganisasi. Organisasi yang pernah penulis diikuti adalah menjadi staf Ahli BEM FMIPA Unila sebagai anggota Dinas Advokasi dan Kesejahteraan Mahasiswa (ADKESMA) pada tahun 2020, menjadi anggota ROIS FMIPA Unila pada tahun 2020, dan menjadi anggota muda PIK R Raya Unila pada tahun 2020.

Pada tahun 2020 penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi Kimia FMIPA Unila. Penulis

pernah mengikuti kegiatan sosial seperti Karya Wisata Ilmiah (KWI) BEM-FMIPA Unila di Desa Tambah Dadi Kecamatan Purbolinggo pada tahun 2019. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Bajarsari, Kecamatan Metro Utara, Kota Metro pada tahun 2022. Pada tahun 2023 penulis dapat menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Universitas Lampung dengan judul “Studi Transpor *Malachite Green* Menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) dengan *Poly-Bisphenol A Diglycidyl Ether* (Poly-BADGE) 1:1 Sebagai Senyawa Pembawa”.

## **MOTTO**

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan,  
sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan"

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

*"Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum,  
sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri"*

**(Q.S Ar Rad 11)**

"Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatiku tidak akan  
pernah menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan pernah  
melewatkanku"

**(Umar Bin Khattab)**

*"Masa-masa sulit juga harus dijalani sebagai bagian dari  
proses pendewasaan"*

**(Dr. Agung Abadi Kiswando, M.Sc.)**

"Segala sesuatu yang telah diawali, maka harus diakhiri"

**(Penulis)**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.*

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

*Kedua orang tuaku,  
Bapak Sadeli dan Ibu Indarwati yang telah menyayangi, merawat,  
mendidik, mengajarkan kebaikan, dan selalu mendo'akan keberhasilanku  
dalam setiap sujud, sehingga putrimu dapat menyelesaikan studi ini,  
serta mengucapkan terimakasih atas segalanya.*

*Adikku Ajeng Maylani serta keluarga besarku yang selalu memberikan  
semangat dan do'a yang terbaik.*

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

*Sahabat dan seluruh teman-temanku yang telah memberikan semangat,  
kebahagiaan dan peelaaran hidup.*

*Almamater Tercinta Universitas Lampung*

## SANWACANA

*Alhamdulillahirrobbil'alamiin.* Puji syukur kehadirat 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 *Poly-Bisphenol A Diglycidyl Ether (Poly-BADGE) 1:1* 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 hadir di kehidupan penulis, *Jazakumullahu Khairan Katsiran Wa Jazakumullah Ahsanal Jaza*, Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah *Subhanalahu Wata'ala* atas limpahan rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orangtuaku, Bapak Sadeli dan Ibu Indarwati yang selalu menjadi kekuatan untuk terus berjuang meraih ridho Allah SWT, sukses, dan selalu menjadi alasan terhebat agar terus bangkit dan berjuang dari kemalasan. *Pak, mah* terima kasih atas segala cinta, kasih sayang, dan pengorbanan yang telah diberikan untukku, segala upaya pun tak dapat membalas segala

jasa-jasamu. Tunggu aku sampai aku bisa sukses. Semoga Allah SWT hadiahkan *Jannah*-Nya untukmu, *Aamiin yaa Robbal'alam*.

3. Bapak Prof. Dr. Drs. Hardoko Insan Qudus, M.S. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dari awal penulis belajar hingga menyelesaikan studi di jurusan kimia FMIPA Unila. Semoga Allah SWT catat sebagai amal *jariyah* disisi-Nya dan melimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya dalam kehidupan bapak.
4. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Sc. selaku Pembimbing I yang telah memberikan segala ilmu, motivasi, arahan, serta bimbingan terbaiknya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi. Semoga Allah SWT catat sebagai amal *jariyah* disisi-Nya dan dilimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya dalam kehidupan bapak.
5. Ibu Rinawati, Ph.D. selaku pembimbing II yang telah didedikasikan dengan penuh kelembutan, kesabaran, dan keikhlasan selama memberikan bimbingan penelitian. Sehingga penulis dapat menjalankan tanggung jawab terhadap diri sendiri dan orangtua. Semoga Allah SWT catat sebagai amal *jariyah* disisi-Nya dan dilimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya dalam kehidupan ibu.
6. Ibu Dr. Ilim, M.S. selaku Pembahas dalam penelitian atas segala ilmu, masukan, dan nasihat yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga Allah SWT melimpahkan *rohman* dan *rohim*-Nya serta Allah SWT permudah dalam segala urusan 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. Mba Yuni yang telah banyak bantu dalam hal apapun itu, terimakasih banyak, Semoga Allah SWT catat dengan amal *jariyah* disisi-Nya dan melimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya dalam kehidupan mba.

10. Teruntuk adikku Ajeng Maylani. Terimakasih telah menjadi tempat ku untuk bercerita atas segala keluh kesah yang aku alami, terimakasih atas segala bentuk support dan bantuan yang telah diberikan.
11. Keluarga besar ku tercinta yang telah memberikan dukungan serta semangat. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi setiap langkah kalian dan kelak Allah SWT pertemukan kita di *Jannah-Nya*. *Aamiin yaa Robbal'alam*.
12. Teruntuk Bimantara Suherly Putra. Terimakasih telah menemani masa studiku sedari SMA sampai saat ini. Semoga apa yang disemogakan dapat tersemogakan dan diberikan kemudahan.
13. Sahabat terbaikku Alvina, Adel, Fatia, Corry, Rara, Ikhsan, dan Dodi terimakasih support dan dukungan semangatnya kepada penulis, semoga langkahmu selalu Allah permudah.
14. Rekan kerja dan juga sahabatku selama penelitian Ulfa, Ahda dan Dwiky terima kasih untuk bantuan yang selama ini diberikan, semoga Allah SWT memberikan balasan kebaikan pula.
15. Teman-teman kuliah kerja nyata (KKN), hani, neta, kak tiara, alma, faras, reza, syahlan, dan kaka atar atas motivasi dan semangat yang diberikan.
16. Terimakasih untuk anggota *Membrane Research*, Kak Icha, Kak Nur, Mba Eva, Annur, Kak Nia, Kak Dedeh, Kak Kharisma, Kak Fauzan dan adik-adik *membrane* 2020 karena telah membersamai penelitian ini.
17. Teman-teman Kimia 2019 kelas A atas kerjasama dan kebersamaannya selama masa perkuliahan.
18. Teman-teman Kimia 2019 semoga Allah permudah langkah kalian dan mendapatkan kehidupan yang jauh lebih baik lagi dan tetap semangat.
19. Almamater tercinta, Universitas Lampung.
20. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyusun skripsi ini.
21. *Last but not least, i wanna thank me for believing in me, i wanna thank me for doing all this hard work, i wanna thank me for having no days off, i wanna thank me for, for never quitting.*

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, 16 Juli 2023  
Penulis

**Ayu Aulia Putri**

## 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>7</b>
2.1 <i>Malachite Green</i> .....	7
2.2 Eugenol dan <i>Bisphenol A Diglycidyl Ether</i> (BADGE) .....	9
2.3 Teknologi Membran.....	12
2.4 <i>Polymer Inclusion Membrane</i> (PIM) .....	14
2.5 Analisis dan Karakterisasi.....	16
2.5.1 <i>Scanning electron microscopy</i> (SEM).....	16
2.5.2 Spektrofotometri <i>fourier transform infra-red</i> (FT-IR).....	19
2.5.3 Spektrofotometri UV-Vis ( <i>Ultraviolet-Visible</i> ) .....	22
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>26</b>
3.1 Waktu dan Tempat .....	26
3.2 Alat dan Bahan .....	26
3.3 Metode Optimasi Transpor .....	27
3.3.1 Pembuatan membran <i>polymer inclusion membrane</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 .....	29

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 Membran <i>Polymer Inclusion Membrane</i> (PIM) .....	34
4.2 Panjang Gelombang Maksimum <i>Malachite Green</i> .....	39
4.3 Optimasi Transpor <i>Malachite Green</i> .....	40
4.3.1 Transpor <i>malachite green</i> dengan variasi pH fasa sumber .....	40
4.3.2 Transpor <i>malachite green</i> dengan variasi konsentrasi penerima (HNO <sub>3</sub> ) pada pH optimum fasa sumber.....	42
4.3.3 Transpor <i>malachite green</i> dengan variasi ketebalan membran pada ph fasa sumber dan konsentrasi HNO <sub>3</sub> optimum.....	44
4.3.4 Transpor <i>malachite green</i> dengan variasi konsentrasi senyawa pembawa pada pH fasa sumber, konsentrasi fasa penerima, dan ketebalan membran optimum.....	47
4.3.5 Transpor <i>malachite green</i> dengan variasi waktu pada pH fasa sumber, konsentrasi fasa penerima, dan konsentrasi senyawa pembawa optimum.....	49
4.3.6 Studi kompetisi transpor <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	51
4.4 <i>Liquid Membrane Loss</i> (LM Loss) .....	56
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>58</b>
5.1 Kesimpulan .....	58
5.2 Saran.....	59

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Sifat fisik dan kimia eugenol.....	9
2. Spektrum cahaya tampak dan warna-warna komplementer.....	23
3. Perbandingan komponen pembentuk membran (10:32:58).....	27
4. Variasi konsentrasi senyawa pembawa.....	30
5. Berat total komponen, berat membran dan ketebalan membran PIM sebelum transpor.....	35
6. Perbandingan bilangan gelombang hasil FT-IR membran PIM sebelum dan setelah transpor <i>malachite green</i> .....	37
7. Perbandingan bilangan gelombang membran setelah transpor <i>malachite green</i> .....	54
8. Perbandingan % <i>removal malachite green</i> dan %LM <i>Loss</i> pada variasi pH fasa sumber.....	56
9. Absorbansi larutan standar <i>malachite green</i> pada variasi pH fasa sumber.....	71
10. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi pH.....	72
11. Data $\bar{x}$ , SD dan %RSD konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi pH.....	73
12. Absorbansi larutan standar <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi fasa penerima.....	73
13. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi fasa penerima.....	74
14. Data $\bar{x}$ , SD dan %RSD konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi HNO <sub>3</sub> .....	75

15. Absorbansi larutan standar <i>malachite green</i> pada variasi ketebalan membran .....	76
16. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi ketebalan membran .....	77
17. Data $x$ , SD dan %RSD konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi ketebalan membran .....	77
18. Absorbansi larutan standar <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	78
19. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	79
20. Data $x$ , SD dan %RSD konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	80
21. Absorbansi larutan standar <i>malachite green</i> pada variasi waktu transpor.....	80
22. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi waktu transpor.....	81
23. Data $x$ , SD dan %RSD konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi waktu transpor.....	82
24. Absorbansi larutan standar <i>malachite green</i> pada variasi transpor <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	83
25. Absorbansi dan konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi transpor <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	84
26. Data $x$ , SD dan %RSD konsentrasi <i>malachite green</i> di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi transpor <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	85
27. Data transpor waktu .....	86
28. Massa membran sebelum transpor <i>malachite green</i> pada variasi pH fasa sumber.....	92
29. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada variasi pH fasa sumber.....	92
30. %LM Loss transpor <i>malachite green</i> pada variasi pH fasa sumber.....	93
31. Massa membran sebelum transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi $\text{HNO}_3$ fasa penerima .....	93

32. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi HNO <sub>3</sub> fasa penerima .....	94
33. %LM Loss transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi HNO <sub>3</sub> fasa penerima.....	94
34. Massa membran sebelum transpor <i>malachite green</i> pada variasi ketebalan membran .....	95
35. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada variasi ketebalan membran .....	95
36. %LM Loss transpor <i>malachite green</i> pada variasi ketebalan membran .....	96
37. Massa membran sebelum transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	96
38. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	97
39. %LM Loss transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	97
40. Massa membran sebelum transpor <i>malachite green</i> pada variasi waktu transpor .....	98
41. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada variasi waktu transpor .....	98
42. %LM Loss transpor <i>malachite green</i> pada variasi waktu transpor .....	99
43. Massa membran sebelum transpor <i>malachite green</i> pada variasi <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	99
44. Massa membran setelah transpor <i>malachite green</i> pada variasi <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	100
45. %LM Loss transpor <i>malachite green</i> pada variasi <i>malachite green</i> pada limbah buatan.....	100
46. Ketebalan membran PIM pada variasi pH fasa sumber .....	101
47. Ketebalan membran PIM pada variasi konsentrasi HNO <sub>3</sub> fasa penerima.....	101
48. Ketebalan membran PIM pada variasi ketebalan membran.....	101
49. Ketebalan membran PIM pada variasi konsentrasi senyawa pembawa.....	102
50. Ketebalan membran PIM pada variasi waktu transpor .....	102
51. Ketebalan membran PIM pada variasi <i>malachite green</i> pada limbah buatan	103

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur kimia <i>malachite green</i> .....	8
2. Struktur eugenol.....	10
3. Reaksi polimerisasi eugenol menjadi polieugenol.....	11
4. Prediksi struktur polimer taut silang polieugenol-BADGE.....	12
5. Perbedaan ketiga jenis membran cair, yaitu (a) BLM, (b) ELM dan (c) SLM (F: fase sumber, R: fase penerima dan E: fase membran) .....	14
6. Skema <i>scanning electron microscopy</i> (SEM).....	17
7. Morfologi hasil SEM dari serbuk <i>poly</i> -BADGE 2:1 (a) 700x (b) 2000x, <i>poly</i> - BADGE 4:1 (c) 700x, (d) 2000x dan <i>poly</i> -BADGE 6:1 (e) 700x, (f) 2000x .	19
8. Skema alat <i>fourier transform infra-red</i> (FT-IR).....	21
9. Spektrum IR membran <i>poly</i> -BADGE (a) setelah transpor (b) sebelum transpor fenol.....	22
10. Diagram alat spektrofotometer UV-Vis ( <i>Single Beam</i> ).....	24
11. Skema spektrofotometer UV-Vis ( <i>Double Beam</i> ).....	24
12. Set alat transpor 1) fasa sumber, 2) fasa penerima, 3) <i>spin bar</i> , dan 4) membran PIM .....	28
13. Diagram alir penelitian.....	33
14. (a) Alat cetak membran PIM dan (b) membran PIM yang telah berhasil dibuat dengan senyawa pembawa <i>poly</i> -BADGE 1:1 .....	34
15. Perbandingan spektra FT-IR (a) membran PIM sebelum transpor dan (b) membran PIM setelah transpor optimum (waktu transpor: 24 jam) .....	36
16. Morfologi permukaan membran PIM sebelum transpor pada perbesaran (a) 500x, (b) 3000x dan setelah transpor pada perbesaran (c) 500x, (d) 3000x.....	38

17. Panjang gelombang maksimum <i>malachite green</i> .....	39
18. Pengaruh pH <i>malachite green</i> pada fasa sumber terhadap konsentrasi <i>malachite green</i> yang tertransport (%Cs: konsentrasi <i>malachite green</i> pada fasa sumber, %removal: % <i>malachite green</i> yang hilang dari fasa sumber).....	41
19. Pengaruh konsentrasi HNO <sub>3</sub> pada fasa penerima terhadap konsentrasi <i>malachite green</i> yang tertransport (%Cs: konsentrasi <i>malachite green</i> pada fasa sumber, %removal: % <i>malachite green</i> yang hilang pada fasa sumber) .....	43
20. 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> yang hilang pada fasa sumber).....	45
21. Pengaruh konsentrasi senyawa pembawa pada membran PIM pada terhadap konsentrasi <i>malachite green</i> yang tertransport (%Cs: konsentrasi <i>malachite green</i> pada fasa sumber, %removal: % <i>malachite green</i> yang hilang pada fasa sumber).....	48
22. Pengaruh waktu transport terhadap konsentrasi <i>malachite green</i> yang tertransport (%Cs: konsentrasi <i>malachite green</i> pada fasa sumber, %removal: % <i>malachite green</i> yang hilang pada fasa sumber).....	50
23. Perbandingan kompetisi konsentrasi <i>malachite green</i> , logam Pb(II) dan logam Cu(II) pada transport <i>malachite green</i> .....	52
24. Perbandingan spektra IR membran setelah transport (a) <i>malachite green</i> (kontrol) (b) <i>malachite green</i> dan logam Pb(II) (c) <i>malachite green</i> dan logam Cu(II) dan (d) <i>malachite green</i> dan logam Pb(II) + Cu(II) .....	53
25. Morfologi permukaan membran setelah transport <i>malachite green</i> pada limbah buatan (3000x) .....	55
26. Spektrum EDS dari membran setelah transport <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	55
27. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi pH fasa sumber .....	71
28. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi fasa penerima .....	74
29. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi ketebalan membran .....	76
30. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi senyawa pembawa .....	78
31. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi waktu transport .....	81

32. Kurva kalibrasi <i>malachite green</i> pada variasi transpor <i>malachite green</i> pada limbah buatan .....	83
33. (a) Alat cetak membran (b) membran PIM sebelum transpor.....	104
34. Transpor <i>malachite green</i> pada variasi pH fasa sumber (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor .....	104
35. Transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi HNO <sub>3</sub> (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor .....	105
36. Transpor <i>malachite green</i> pada variasi ketebalan membran (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor .....	105
37. Transpor <i>malachite green</i> pada variasi konsentrasi senyawa pembawa (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor .....	106
38. Transpor <i>malachite green</i> pada variasi waktu transpor (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor .....	106
39. Transpor <i>malachite green</i> pada variasi logam buatan (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor .....	107
40. Membran PIM setelah transpor .....	107

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini perkembangan industri yang begitu pesat memberikan dampak positif dan dampak negatif bagi kehidupan masyarakat di suatu negara. Selain dapat memajukan negara karena devisa negara yang terus bertambah, perkembangan industri juga menjadi salah satu penghasil terbesar zat pencemar lingkungan (Dewi dkk., 2016). Zat pencemar yang dihasilkan dapat berasal dari limbah, baik limbah cair, padat, maupun gas yang berasal dari industri makanan, kesehatan, dan industri tekstil. Sebagai contoh limbah tekstil dengan nilai BOD (*Biological Oxygen Demand*) yang tinggi jika tidak diolah secara tepat maka dapat menyebabkan penipisan oksigen ketika dibuang langsung ke dalam sumber air (Renata, 2014).

Kebanyakan industri tekstil menggunakan pewarna sintetis dengan alasan murah, tahan lama, mudah diperoleh dan mudah dalam penggunaannya, namun limbah yang dihasilkan mengandung pewarna sintetis tersebut dan juga sulit terdegradasi. Limbah tekstil tersebut biasanya mengandung zat warna senyawa organik yang jika dialirkan ke badan perairan akan mengurangi kadar oksigen perairan karena oksigen tersebut justru digunakan sebagai pengoksidasi senyawa organik zat warna tersebut (Dewi dkk., 2016). Limbah yang ingin dibuang ke sungai harus memenuhi syarat baku mutu yang telah ditetapkan, karena sungai merupakan salah satu sumber air bersih bagi kehidupan masyarakat, sehingga diharapkan tidak tercemar dan dapat digunakan untuk keperluan lainnya. Salah satu masalah yang paling mengganggu dari limbah industri tekstil adalah kandungan zat warna yang mengandung benzena. Dalam industri tekstil, zat warna merupakan salah

satu bahan baku utama. Selain mencemari lingkungan, zat warna juga dapat membahayakan keanekaragaman hayati dan mengganggu kesehatan, misalnya iritasi kulit, iritasi mata dan kanker. Bahkan zat warna juga dapat menyebabkan terjadinya mutasi (Sukmawati dan Utami, 2014). Warna dari suatu pewarna merupakan salah satu pencemar yang terdapat dalam air limbah karena pewarna selalu ditinggalkan sebagai limbah industri dan akibatnya sebagian besar dibuang ke sumber air permukaan. Setelah air tercemar oleh pewarna, penghilangannya dengan metode pengolahan air limbah konvensional sangat sulit karena banyak pewarna yang stabil terhadap cahaya dan zat pengoksidasi dan tahan terhadap biooksidasi aerobik. Selain itu, pewarna bahkan dalam konsentrasi rendah mudah dideteksi dan dapat mempengaruhi kehidupan air dan jaring makanan (Ling and Suah, 2017).

*Malachite green* merupakan salah satu pewarna yang umum digunakan dalam produksi bahan tekstil dan produk kertas. Pewarna juga digunakan secara luas untuk mewarnai wol, kulit, dan kapas dan untuk mengobati infeksi jamur dan protozoa karena efektivitas, ketersediaan dan biaya yang relatif rendah dibandingkan dengan agen anti-jamur lainnya. Namun, karena risiko yang ditimbulkan *malachite green* kepada konsumen termasuk efeknya pada sistem kekebalan tubuh, sistem reproduksi dan sifat genotoksik dan karsinogeniknya, *malachite green* telah menjadi senyawa yang sangat kontroversial. Selain itu, air permukaan dan air tanah tercemar zat warna akibat limbah zat warna yang tidak diolah dari industri. Kehadiran *malachite green* dalam air menyebabkan efek kesehatan yang serius seperti mutagenesis, teratogenesis, kromosom, toksisitas pernapasan, patah tulang, dan karsinogenesis yang sangat bergantung pada waktu paparan, suhu dan konsentrasi pewarna (Ling and Suah, 2017).

Membran merupakan suatu lapisan tipis antara dua fasa fluida yang bersifat sebagai penghalang terhadap spesi tertentu dan membatasi transpor dari berbagai spesi berdasarkan sifat fisik dan kimianya (Pratomo, 2003). Salah satu teknologi membran adalah membran cair. Membran cair sangat menarik dalam hal pemisahan dan efektif pada berbagai aplikasi (Bartsch and Way, 1996).

Berdasarkan beberapa teknologi membran, membran cair telah memperoleh peran penting untuk digunakan dalam pemisahan, pemurnian atau aplikasi analitik lainnya seperti biomedis, elektroda selektif ion, pengolahan limbah dan hidrometalurgi. Penerapan membran cair dalam proses pemisahan telah meningkat secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Pentingnya teknologi pemisahan membran pada dasarnya terletak pada kenyataan bahwa teknologi pemisahan membran berpotensi hemat energi dan membran sangat permeabel dan sangat selektif. Sistem pemisahan baru-baru ini mendapat banyak perhatian karena biayanya yang lebih rendah dan fleksibilitas yang lebih besar (Ling and Suah, 2017).

Ada beberapa jenis utama membran cair, yaitu membran cair curah atau *Bulk Liquid Membrane* (BLM), membran cair emulsi atau *Emulsion Liquid Membrane* (ELM), membran cair terdukung (SLM), dan membran inklusi polimer atau *Polymer Liquid Membrane* (PIM). Proses ekstraksi SLM dapat selektif menghilangkan analit yang dipilih dalam satu langkah dan karenanya, memiliki potensi besar untuk aplikasi skala besar. Juga, ini adalah alternatif untuk ekstraksi pelarut konvensional karena selektivitasnya yang tinggi, kesederhanaan operasional, persediaan pelarut yang rendah, konsumsi energi yang rendah dan pembuangan limbah nol (Ling and Suah, 2017).

Menurut Ling and Suah (2017), dalam beberapa tahun terakhir, *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) telah terbukti memiliki sifat yang membuatnya sangat menarik untuk diterapkan pada berbagai masalah pemisahan. Metode ini mendapat perhatian yang tinggi karena stabilitasnya yang tinggi dibandingkan dengan metode SLM. *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) adalah teknologi pemisahan yang relatif baru di mana bahan polimer biasanya digunakan sebagai matriks dan ekstraktan sebagai pembawa, dan beberapa jenis *plasticizer* atau agen pembentuk pori ditambahkan dalam PIM pada beberapa waktu. Sistem PIM mengintegrasikan proses ekstraksi dan pengupasan ke dalam satu perangkat tanpa melibatkan pengencer senyawa organik volatil (VOC). Selain itu, konsumsi ekstraktan juga dapat dikurangi dengan ini metode (Huang *et al.*, 2020).

Salah satu bahan alam yang potensial untuk dikembangkan menjadi suatu jenis polimer yaitu eugenol. Eugenol merupakan komponen penyusun utama minyak daun cengkeh. Eugenol merupakan zat yang berwujud cair pada suhu kamar, berwarna kuning pucat atau tidak berwarna (Sastrohamidjojo, 1981). Keberadaan eugenol di Indonesia yang cukup melimpah menjadi salah satu alasan mengapa eugenol layak untuk dikembangkan. Oleh karena itu, pengembangan dan pemanfaatan polieugenol perlu diperluas untuk meningkatkan nilai ekonomis dari senyawa eugenol. Eugenol dapat digunakan sebagai bahan awal sintesis menjadi polieugenol dan senyawa turunannya melalui taut silang (*cross linked*) karena mengandung tiga gugus fungsional yaitu gugus alil, eter, dan fenol (Kiswandono, 2014).

Polieugenol dapat disintesis dari eugenol. Eugenol mempunyai beberapa gugus fungsional (gugus alil, metoksi, dan hidroksi), maka eugenol dapat diubah menjadi senyawa lain yang lebih bermanfaat. Polieugenol merupakan salah satu pengembangan dari eugenol selain isoeugenol (Sastrohamidjojo, 1981). Pada umumnya polieugenol dapat dihasilkan melalui sintesis langsung menggunakan katalis, seperti asam sulfat. Tetapi polimer hasil sintesis ini belum menghasilkan hasil yang efektif karena memiliki kemampuan interaksi dengan senyawa target yang rendah. Hal ini dimungkinkan karena polimer hasil sintesis ini memiliki berat molekul yang rendah (Kiswandono, 2014).

Salah satu cara untuk meningkatkan berat molekul hasil polimer yaitu dengan melakukan polimerisasi yang melibatkan senyawa diena dan senyawa epoksida hal ini dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh struktur tertaut silang dalam hasil akhirnya. Reaksi polimerisasi eugenol ataupun polieugenol dengan suatu agen taut silang (*crosslinking agent*) akan menyebabkan berat molekul hasil polimer menjadi besar (Handayani dkk., 2004), sehingga akan mempengaruhi kemampuan membran dalam interaksi dengan senyawa target. Polimer hasil sintesis yang memiliki berat molekul besar, akan memiliki sisi aktif (gugus -OH dan cincin benzena) lebih banyak. Peningkatan sisi aktif pada polimer hasil sintesis ini diharapkan dapat meningkatkan kecepatan transpor sehingga proses

transpor lebih cepat dan efisien. Senyawa epoksida seperti *Bisphenol A Diglycidyl Ether* (BADGE). BADGE adalah suatu epoksida yang larut dalam air dan banyak digunakan sebagai senyawa perantara untuk tautsilang polimer

Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian ini akan dilakukan Studi Transpor *Malachite Green* menggunakan *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) dengan *Poly-Bisphenol A Diglycidyl Ether* (*Poly-BADGE*) 1:1 sebagai Senyawa Pembawa. Penelitian ini akan dilakukan studi transpor *malachite green* meliputi pembuatan membran PIM, pengukuran konsentrasi *malachite green* dalam sampel, variasi pH *malachite green* pada fasa sumber, variasi konsentrasi  $\text{HNO}_3$  pada fasa penerima, variasi ketebalan membran, variasi konsentrasi senyawa pembawa, variasi waktu transpor, dan studi kompetisi transpor *malachite green* pada limbah buatan.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan transpor *malachite green* menggunakan senyawa pembawa *Poly-Bisphenol A Diglycidyl Ether* (*Poly-BADGE*) 1:1 dengan metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM).
2. Melakukan studi uji kompetisi transpor *malachite green* dengan logam berat Pb(II) dan Cu(II) pada limbah buatan.
3. Melakukan karakterisasi membran PIM sebelum dan sesudah transpor menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Fourier Transform Infra-Red* (FT-IR).

## 1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah informasi baru tentang pemanfaatan *poly-BADGE* 1:1 sebagai senyawa pembawa dalam transpor *malachite green*.

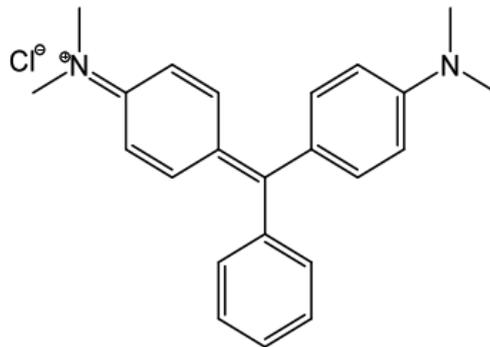
2. Memberikan kontribusi untuk mengurangi limbah zat warna khususnya *malachite green* di lingkungan perairan serta menambah nilai ekonomis dari eugenol.
3. Menambah wawasan baru dalam pemanfaatan polimer dalam bidang analisis kimia.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Malachite Green*

*Malachite green* merupakan zat warna sintetis yang sering digunakan pada industri tekstil untuk pewarnaan wool dan kain sutra, serta kertas pada industri kertas. Dalam industri tekstil, *malachite green* sering digunakan secara berlebihan, sehingga *malachite green* banyak dijumpai di sungai sebagai buangan limbah dari industri tekstil (Zhou *et al.*, 2013). *Malachite green* memiliki nama lain, yaitu 4-[(4-dimetilaminofenil)-fenil-metil]-N,N-dimeti-anilin, atau secara komersil disebut juga *Basic Green 4*, *Victoria green B*, *Aniline Green*, *Diamond Green B* (Bhernama, 2017).

*Malachite green* memiliki toksisitas yang tinggi pada sel mamalia, berperan sebagai agen yang memicu tumor, dapat mengganggu fertilitas, menyebabkan kerusakan pada hati, limpa, ginjal, menimbulkan luka pada kulit, mata, paru-paru, dan tulang (Singh *et al.*, 2013). *Malachite green* dapat menyebabkan iritasi sistem pencemaran pada manusia apabila mengkonsumsi ikan yang terkontaminasi oleh zat tersebut. Akan tetapi, meski sejumlah data memaparkan zat warna ini sangat toksik dan berbahaya, *malachite green* tetap saja digunakan dalam akuakultur dalam industri-industri (Suwandi dkk., 2011). Berikut merupakan struktur dari *malachite green* yang dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Struktur kimia *malachite green* (Robati *et al.*, 2016)

*Malachite green* selain digunakan sebagai zat warna organik juga berfungsi sebagai parasitisida antiprotozoa dan fungisida. *Malachite green* sebagai fungisida, dapat digunakan untuk mencegah perkembangan jamur oomycete pada ikan dan telur ikan, baik sebagai terapi pasca-infeksi dan profilaksis. *Malachite green* sebagai antiprotozoa digunakan untuk mengontrol protozoa, misalnya; *pronepros* pada kepiting Milton; *Ichthyophthirius* pada *Ictarulus punctatus* dan ikan hias; *Trichodina* pada belut, *Epinephalus* dan Turbot; *Trichodinella epizootica* pada filament insang ikan mas (Bhernama, 2017).

*Malachite green* yang digunakan sebagai antiprotozoa pada ikan memiliki bersifat racun akut dan kronis, karsinogenesis, mutagenesis. Selain daripada itu, *malachite green* juga menyebabkan bahaya kesehatan umum dan juga masalah potensial lingkungan mamalia. *Malachite green* juga memiliki sitotoksik yang sangat tinggi dan karsinogenik pada hati, tiroid dan organ lain binatang percobaan (Bhernama, 2017). Selain itu, *malachite green* dapat menimbulkan efek bahaya apabila tercampur dalam badan air. Limbah cair zat warna *malachite green* akan mengganggu ekosistem di perairan dan dapat menyebabkan kerusakan pada hati, insang, ginjal dan usus hewan laut (Srivastava *et al.*, 2004).

## 2.2 Eugenol dan *Bisphenol A Diglycidyl Ether* (BADGE)

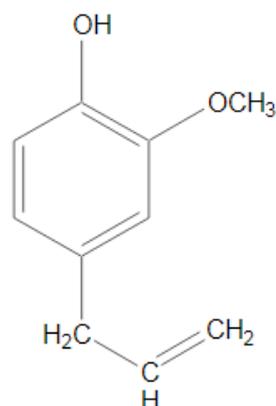
Eugenol merupakan komponen penyusun utama minyak daun cengkeh. Eugenol merupakan zat yang berwujud cair pada suhu kamar, berwarna kuning pucat atau tidak berwarna, dengan titik didih 225 °C, titik leleh -9,2 sampai 9,1 °C, indeks bias 1,541 dan berat jenis 1,066 g/ml. Eugenol memiliki nama-nama lain seperti 2-metoksi-4-(2-propenil)fenol, 4-alil-2-metoksifenol, alilguikol, asam eugenat dan asam kariofilat. Eugenol memiliki rumus molekul  $C_{10}H_{12}O_2$  dengan komposisi C = 74,44%; H = 7,37% dan O = 17,49% serta memiliki massa molekul relatif 164,20 g/mol (Sastrohamidjojo, 1981). Adapun sifat fisik dan kimia eugenol dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Sifat fisik dan kimia eugenol

Karakteristik	Nilai
Berat jenis (g/cm <sup>3</sup> )	1,06
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	Larut 1:2 dalam alkohol 70 % tidak larut dalam air, larut dalam eter, kloroform dan asam asetat

(Sumber: Guenther, 1990).

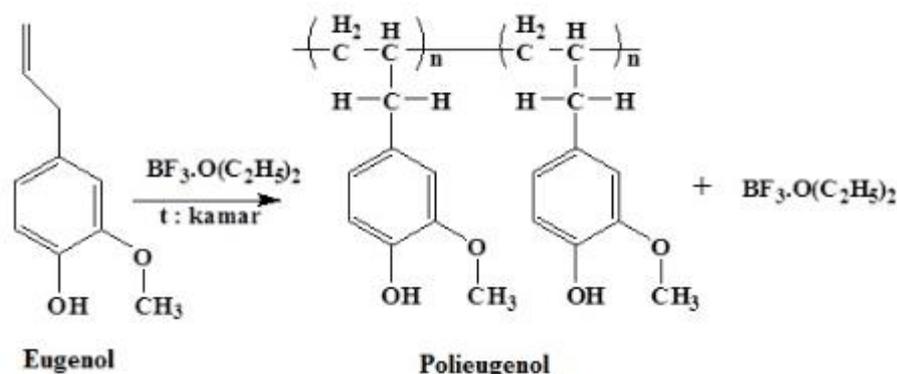
Eugenol bersifat asam, pada suhu kamar berwujud cairan, tidak berwarna atau agak kekuningan dan menjadi agak gelap jika dibiarkan di udara terbuka, mudah terbakar dan berbau tajam. Jika terkena kulit seperti terbakar, mempunyai rasa pedas dan sedikit larut dalam air serta larut baik dalam alkohol, kloroform dan eter (Howard *and* Meylan, 1997). Adapun struktur eugenol dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Struktur eugenol

Pada truktur tersebut eugenol memiliki gugus hidroksi, metoksi dan alil. Adanya ketiga gugus tersebut memungkinkan eugenol sebagai bahan dasar sintesis berbagai senyawa lain, misalnya sintesis vanilin untuk memenuhi kebutuhan bahan makanan, kosmetik dan cat. Eugenol dapat diperoleh melalui isolasi minyak daun cengkeh dengan cara ekstraksi menggunakan NaOH, dengan ditambahkan larutan basa, maka eugenol akan membentuk garam eugenolat yang dapat dipisahkan dari komponen lain. Pengambilan kembali eugenol dapat dilakukan dengan penambahan larutan asam yang akan mengubah garam natrium eugenolat menjadi eugenol (Sastrohamidjojo, 1981).

Polimerisasi dengan bahan baku senyawa alam seperti eugenol merupakan suatu hal yang relatif baru dilakukan. Eugenol dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam sintesis polieugenol dan polieugenol dapat digunakan sebagai senyawa pembawa dalam transpor membran cair. Proses polimerisasi eugenol merupakan proses polimerisasi adisi kationik. Hal ini dikarenakan gugus vinil dari polieugenol mengalami reaksi adisi. Reaksi polimerisasi menggunakan katalis  $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  terjadi melalui tahapan inisiasi, propagasi, dan terminasi (Kiswando, 2014). Berikut reaksi polimerisasi eugenol menjadi polieugenol dapat dilihat pada Gambar 3.

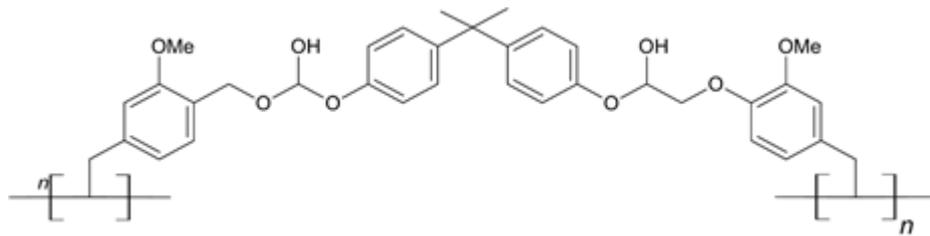


**Gambar 3.** Reaksi polimerisasi eugenol menjadi polieugenol (Kiswandono, 2014)

Pada umumnya polieugenol dapat dihasilkan melalui sintesis langsung menggunakan katalis asam, tetapi polimer hasil sintesis ini belum efektif, karena kemampuan interaksi dengan senyawa target masih kurang. Hal ini disebabkan karena polimer ini memiliki berat molekul yang rendah, sehingga jumlah sisi aktifnya terbatas. Sebagai alternatif untuk meningkatkan sisi aktif dapat dilakukan dengan menggunakan cara tautsilang menggunakan senyawa-senyawa epoksida. Salah satu senyawa epoksida yang dapat digunakan adalah senyawa *bisphenol a diglycidyl ether* (BADGE) (Kiswandono, 2014).

*Bisphenol a diglycidyl ether* (BADGE) adalah senyawa yang mengandung epoksida yang larut dalam air dan dapat digunakan sebagai bahan awal untuk memproduksi polimer dengan sejumlah situs aktif yang diperpanjang (Oshita *et al.*, 2007). Polieugenol memiliki gugus hidroksi yang dapat dimodifikasi melalui pembentukan ikatan taut silang dengan BADGE. Taut silang polieugenol dengan senyawa diglisidil eter umumnya melibatkan gugus hidroksi yang bereaksi dengan gugus epoksida. BADGE memiliki sifat seperti senyawa epoksida, yaitu dapat berfungsi sebagai basa Bronsted dan Lewis karena memiliki pasangan elektron bebas pada atom oksigen. Kekakuan pada cincin yang mengandung tiga atom dan dengan adanya polaritas ikatan C-O mengakibatkan gugus epoksida pada BADGE mudah bereaksi dengan asam, basa, nukleofil dan elektrofil. Gugus epoksi, pada kondisi alkali (pH >10) mudah bereaksi dengan gugus hidroksi sehingga menghasilkan produk dengan ikatan eter yang stabil. Nilai pH tersebut dapat

dilakukan dengan penambahan natrium hidroksida (NaOH), sehingga fungsi NaOH tersebut adalah untuk membuka struktur epoksida. Oleh karena itu dalam penelitian ini diharapkan gugus hidroksi pada struktur polieugenol dapat berikatan dengan BAGDE melalui cincin epoksi yang telah terbuka (Kiswando, 2014). Perkiraan struktur polimer hasil tautsilang antara polieugenol-BADGE dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Prediksi struktur polimer taut silang polieugenol-BADGE (Kiswando, 2014)

### 2.3 Teknologi Membran

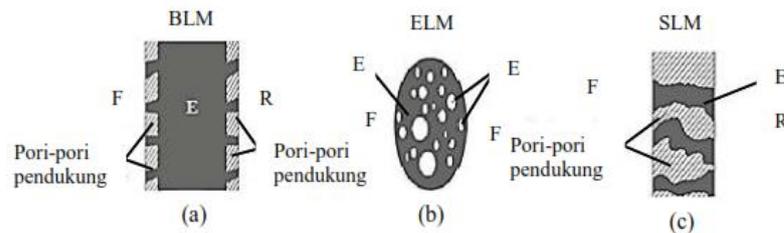
Membran merupakan suatu lapisan tipis antara dua fasa fluida yang bersifat sebagai penghalang terhadap spesi tertentu dan membatasi transpor dari berbagai spesi berdasarkan sifat fisik dan kimianya (Pratomo, 2003). Membran juga dapat didefinisikan sebagai sebuah lapisan semipermeabel yang tipis dan berfungsi sebagai penghalang di antara dua fasa. Jika senyawa dari campuran berpindah melewati membran lebih cepat dari campuran senyawa lainnya, maka dengan penggunaan membran ini akan menyempurnakan sebuah proses pemisahan (Kislik, 2010).

Membran memiliki berbagai jenis dan fungsi serta dapat digunakan dalam proses pemisahan dan penghilangan senyawa organik serta pemulihan ion logam (Shipra, 2009). Teknologi membran bersifat efisien, sederhana, memiliki selektivitas yang tinggi serta aman bagi lingkungan. Pemisahan dengan membran tergolong hal yang baru dan cepat berkembang. Membran tidak hanya penting dalam proses biologi, namun telah berkembang dan digunakan dalam dunia industri, seperti dalam proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi (Kislik, 2010). Salah satu teknologi

membran adalah membran cair. Membran cair sangat menarik dalam hal pemisahan dan efektif pada berbagai aplikasi. Beberapa jenis membran cair telah digunakan dalam teknik kimia, kimia anorganik, analitik, bioteknologi dan biomedikal. Pada membran cair, senyawa pembawa merupakan faktor penting. Prinsip pemisahan pada membran cair tidak ditentukan oleh membran itu sendiri, tetapi oleh sifat senyawa pembawa. Senyawa pembawa sebagai fasilitator yaitu hal penentu dalam pemisahan dari fasa sumber. Senyawa pembawa berada tetap di dalam membran dan dapat bergerak jika dilarutkan dalam cairan. Senyawa pembawa yang dapat digunakan dalam membran cair mempunyai kriteria yaitu, (1) mempunyai kemampuan ekstraksi yang tinggi melalui pembentukan kompleks yang stabil di dalam membran, (2) mempunyai selektifitas pemisahan yang tinggi, (3) memiliki kelarutan dan koefisien difusi yang baik (Bartsch *and* Way, 1996).

Prinsip pemisahan pada membran cair tidak ditentukan oleh membran itu sendiri, tetapi oleh sifat molekul pembawa yang spesifik. Molekul pembawa berada tetap di dalam membran dan dapat bergerak jika dilarutkan dalam cairan. Molekul pembawa juga harus menunjukkan afinitas yang sangat spesifik terhadap satu komponen pada fasa umpan sehingga diperoleh selektivitas yang tinggi. Selain itu permselectivity komponen sangat tergantung pada spesifikasi bahan senyawa pembawa tersebut. Komponen yang dapat dipisahkan dapat berupa gas atau cair serta ionik atau non ionik (Mulder, 1996).

Membran cair terbagi menjadi tiga, yaitu membran cair ruah (*Bulk Liquid Membranes*, BLM), membran cair emulsi (*Emulsion Liquid Membranes*, ELM) dan membran cair berpendukung (*Supported Liquid Membranes*, SLM) (Mulder, 1996). Ada lima jenis membran cair yaitu membran cair emulsi (ELM), membran cair berpendukung gel (*Gelled Supported Liquid Membrane*, GSLM), membran cair polimer (*Polymer Liquid Membrane*, PLM), membran cair ruah (BLM) dan membran cair berpendukung (SLM) (Kislik, 2010). Perbedaan ketiga jenis membran BLM, ELM dan SLM terlihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Perbedaan ketiga jenis membran cair, yaitu (a) BLM, (b) ELM dan (c) SLM (F: fase sumber, R: fase penerima dan E: fase membran) (Kislik, 2010)

Menurut (Ferraz *et al.*, 2007) mekanisme transpor senyawa melewati membran cair dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu:

1. Penyerapan pada permukaan fasa sumber.
2. Terjadinya reaksi kompleks dengan senyawa pembawa.
3. Difusi antara senyawa target atau kompleks senyawa target dengan senyawa pembawa melewati membran cair.
4. Penguraian kompleks pembawa pada permukaan fasa penerima.
5. Pelepasan senyawa target.

#### 2.4 Polymer Inclusion Membrane (PIM)

*Polymer Inclusion Membrane* (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). PIM telah diakui memiliki stabilitas yang baik karena tingkat kebocoran senyawa pembawa pada saat proses transpor sangat kecil (rendah) dibandingkan dengan membran cair SLM (Nghiem *et al.*, 2006).

Metode PIM (*Polymer Inclusion Membrane*) merupakan sistem membran terbaru yang telah dikembangkan beberapa tahun terakhir. Membran PIM biasanya terdiri dari ekstrak (senyawa pembawa), polimer dasar (umumnya PVC atau *cellulose*

*triacetate*-CTA) dan *plasticizer* (Fontàs *et al.*, 2007). Metode PIM memiliki kelebihan dari membran cair lain khususnya SLM dalam hal kestabilan yang sangat tinggi, senyawa pembawa yang hilang selama proses dapat diabaikan, lebih hemat senyawa pembawa yang digunakan, flux yang lebih tinggi dan lebih serbaguna. *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) dapat dibuat dari larutan yang mengandung suatu senyawa pembawa/*carrier*/ekstraktan, *plasticizer* dan polimer dasar seperti selulosa triasetat (CTA) atau *polyvinyl chloride* (PVC) membentuk film yang tipis, stabil dan fleksibel. Hasilnya adalah membran yang *self-supporting* yang dapat digunakan untuk memisahkan larutan yang diinginkan dengan cara yang mirip dengan SLM (Ulfa dkk., 2011).

Salah satu faktor yang berpengaruh dalam PIM adalah viskositas, semakin kecil viskositas semakin mudah cairan mengalir sehingga ada ketergantungan terhadap gaya intermolekuler antar molekul cairan. Semakin kuat gaya tarik intermolekuler biasanya akan memperbesar viskositas. Dapat dikatakan bahwa semakin pekat larutan atau semakin besar viskositas larutan maka semakin kuat gaya tarik intermolekulernya, sehingga mengakibatkan sulitnya ion logam dalam larutan untuk berdifusi, karena ikatan ion logam dengan matriksnya sangat kuat. Hal ini menyebabkan sulitnya kemampuan senyawa pembawa untuk memutus ikatan ion logam dengan matriksnya (Ulfa dkk., 2011).

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

1. Tahap pertama

Senyawa target yang telah menyebar pada fasa antarmuka 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.

2. Tahap Kedua

Kompleks berdifusi melalui membran menuju ke fasa penerima.

### 3. Tahap akhir

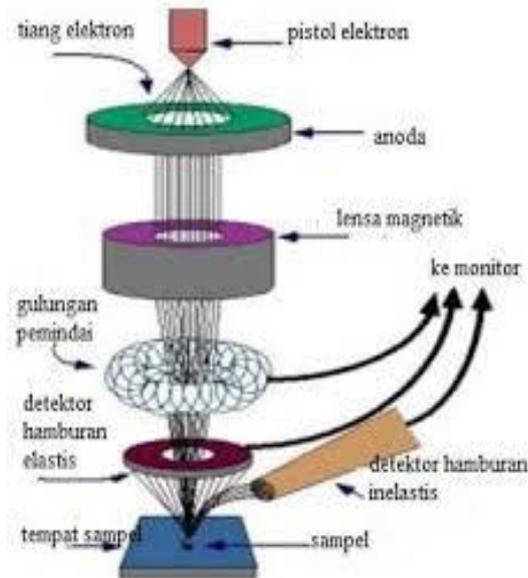
Pada fasa antarmuka membran-penerima, kompleks terdisosiasi dan senyawa target dilepaskan ke fasa penerima. Kemudian di fasa penerima senyawa target ditarik oleh anion untuk membentuk garam (Zheng *et al.*, 2009).

## 2.5 Analisis dan Karakterisasi

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

### 2.5.1 *Scanning electron microscopy* (SEM)

*Scanning electron microscopy* (SEM) merupakan teknik karakterisasi material yang digunakan untuk melihat morfologi permukaan partikel sampai pada ukuran 1 nm (Charurvedi *and* Dave, 2012). SEM adalah suatu metode yang digunakan untuk meneliti bentuk maupun struktur mikro permukaan dari suatu objek yang tidak bisa dilihat oleh mata atau mikroskop optik dengan menggunakan mikroskop elektron (Jores *et al.*, 2004). Rentang pembesarannya yang besar dan gambarnya dalam 3 dimensi membuat hasil karakterisasi sampel dengan menggunakan SEM ini menjadi lebih mudah untuk diamati dan dianalisis (Mursal, 2018). Adapun skema dari *scanning electron microscopy* (SEM) dapat dilihat pada Gambar 6.



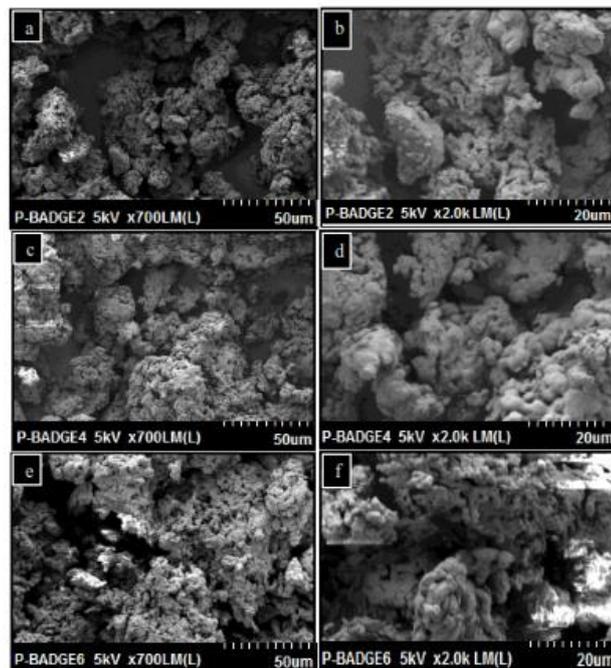
**Gambar 6.** Skema *scanning electron microscopy* (SEM) (Ayyad, 2011)

SEM menggunakan prinsip scanning yaitu berkas elektron diarahkan pada titik permukaan spesimen. Gerakan elektron diarahkan dari satu titik ke titik lain pada permukaan spesimen. Seberkas sinar elektron ditembakkan pada permukaan spesimen maka sebagian dari elektron itu akan dipantulkan kembali dan sebagian lagi diteruskan. Permukaan spesimen yang tidak merata, banyak lekukan, lipatan atau lubang-lubang, maka tiap bagian permukaan itu dapat memantulkan elektron dengan jumlah dan arah yang berbeda dan kemudian akan ditangkap oleh detector dan akan diteruskan ke sistem layar. Hasil yang diperoleh merupakan gambaran yang jelas dari permukaan spesimen dalam bentuk tiga dimensi. Penelitian morfologi permukaan dengan menggunakan SEM, pemakaiannya sangat terbatas tetapi memberikan informasi yang bermanfaat mengenai topologi permukaan dengan resolusi sekitar  $100 \text{ \AA}$  (Stevens, 2001).

Fungsi *scanning electron microscope* adalah untuk mengamati batas butir, distribusi, batas fase, bukti adanya deformasi mekanik dan komposisi kimia yang memiliki perbesaran 200.000 kali untuk mengamati ketebalan dari  $200 \text{ \AA}$  sampai  $0,5 \text{ \mu m}$  (Mursal, 2018). Untuk mengetahui komposisi kimia pada permukaan sampel, sebagian besar alat SEM dilengkapi dengan kemampuan *energy dispersive x-ray* (EDX). EDX dihasilkan dari sinar-X, yaitu dengan

menembakkan sinar-X pada posisi yang ingin diketahui komposisinya. Setelah ditembakkan pada posisi yang diinginkan maka akan muncul puncak - puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung. Dengan EDX juga bisa membuat *elemental mapping* (pemetaan elemen) dengan memberikan warna berbeda - beda dari masing - masing elemen di permukaan sampel. EDX bisa digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif dari persentase masing - masing elemen. SEM-EDX dapat memberikan informasi tentang topografi, morfologi, komposisi dari sampel yang dianalisis (Girão *et al*, 2017). Topografi adalah ciri-ciri permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dan sebagainya). Morfologi adalah bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada *Integrated Circuit* (IC) dan chip, dan sebagainya). Komposisi, yaitu data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek (titik lebur, kereaktifan, kekerasan, dan sebagainya) (Hanke, 2001).

Kiswando (2014) telah melakukan penelitian transfor fenol menggunakan metode PIM dengan *poly*-BADGE sebagai senyawa pembawa. Dari hasil penelitian memperlihatkan morfologi hasil SEM dari serbuk *poly*-BADGE 2:1, 4:1 dan 6:1. Perbedaan hasil morfologi permukaan *poly*-BADGE 2:1, 4:1 dan 6:1 dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Morfologi hasil SEM dari serbuk *poly*-BADGE 2:1 (a) 700x (b) 2000x, *poly*-BADGE 4:1 (c) 700x, (d) 2000x dan *poly*-BADGE 6:1 (e) 700x, (f) 2000x (Kiswando, 2014)

Gambar 7 menunjukkan bahwa ketiga serbuk polimer memiliki tekstur permukaan hampir sama yaitu terikat kuat, menggerombol dan nampak kenyal. Serbuk polimer yang terbentuk ini pada awalnya berbentuk padatan yang liat dan kenyal, sehingga susah untuk ditumbuk atau dihaluskan. Hal ini menandakan bahwa ikatan silang antar rantai polimer tersebut menyebabkan terjadinya jaringan yang kaku dan membentuk bahan yang keras. Bertambahnya jumlah mol polieugenol menyebabkan jumlah ikatan silang semakin banyak sehingga polimer semakin kaku dan mudah patah. Hal ini tergambarkan oleh hasil SEM tersebut. Bentuknya yang bergerombol memperlihatkan bahwa ketiga polimer tersebut memiliki kekuatan ikatan yang sangat kuat sehingga polimer tersebut susah untuk dipisahkan (dihaluskan).

### 2.5.2 Spektrofotometri *fourier transform infra-red* (FT-IR)

*Fourier Transform Infra-Red* 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 –  $10\text{ cm}^{-1}$ .

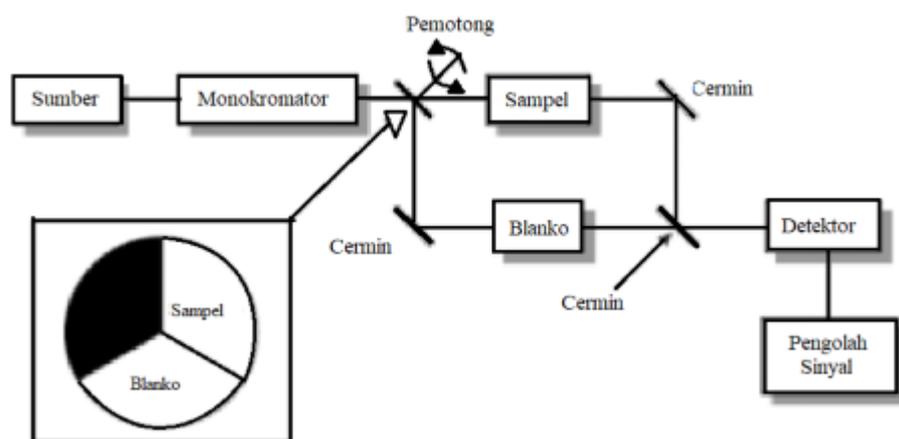
Metode spektroskopi inframerah merupakan suatu metode yang meliputi teknik serapan (*absorption*), teknik emisi (*emission*), teknik fluoresensi (*fluorescence*). Komponen medan listrik yang banyak berperan dalam spektroskopi umumnya hanya komponen medan listrik seperti dalam fenomena transmisi, pemantulan, pembiasan, dan penyerapan. Penyerapan gelombang elektromagnetik dapat menyebabkan terjadinya eksitasi tingkat-tingkat energi dalam molekul. Dapat berupa eksitasi elektronik, vibrasi, atau rotasi (Yudhapratama, 2010).

Prinsip kerja spektrofotometer inframerah adalah fotometri. Sinar dari sumber sinar inframerah merupakan kombinasi dari panjang gelombang yang berbedabeda. Sinar yang melalui interferometer akan difokuskan pada tempat sampel. Sinar yang ditransmisikan oleh sampel difokuskan ke detektor. Perubahan intensitas sinar menghasilkan suatu gelombang *interferens*. Gelombang ini diubah menjadi sinyal oleh detektor, diperkuat oleh penguat, lalu diubah menjadi sinyal digital. Pada sistem optik FT-IR, radiasi laser diinterferensikan dengan radiasi inframerah agar sinyal radiasi inframerah diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik. Teknik pengoperasian FT-IR berbeda dengan spektrofotometer infra merah. Pada FT-IR digunakan suatu *interferometer Michelson* sebagai pengganti monokromator yang terletak di depan monokromator. Interferometer ini akan memberikan sinyal ke detektor sesuai dengan intensitas frekuensi vibrasi molekul yang berupa interferogram (Khopkar, 2008).

Berdasarkan daerah inframerah bilangan gelombang terbagi menjadi 3, yaitu sebagai berikut:

- 1) Daerah inframerah dekat terdapat pada rentang bilangan gelombang  $12500 \text{ cm}^{-1}$  -  $4000 \text{ cm}^{-1}$ .
- 2) Daerah inframerah sedang terdapat pada rentang bilangan gelombang  $4000 \text{ cm}^{-1}$  -  $400 \text{ cm}^{-1}$  yang melakukan transisi energi vibrasi dari molekul untuk memberikan informasi mengenai gugus-gugus fungsi.
- 3) Daerah inframerah jauh memiliki rentang bilangan gelombang  $400 \text{ cm}^{-1}$  -  $10 \text{ cm}^{-1}$  yang bermanfaat untuk menganalisis molekul yang mengandung atomatom berat seperti senyawa anorganik (Griffith, 1975).

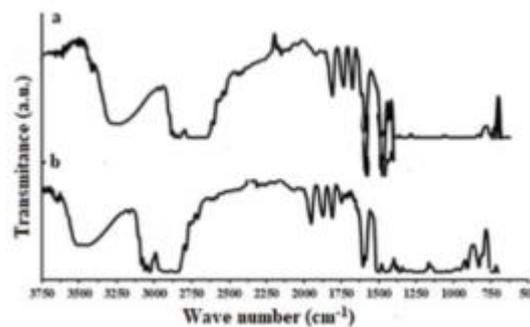
FT-IR dapat mengidentifikasi puncak struktural setiap senyawa organik yang memiliki kemampuan untuk menyerap sinar infra merah yang berbeda-beda oleh masing-masing kelompok fungsional. Misalnya, sebuah gugus karbonil, C=O, yang akan menyerap sinar inframerah pada bilangan gelombang  $1670\text{ cm}^{-1}$  dan  $780\text{ cm}^{-1}$  yang meregang sehingga menyebabkan ikatan karbonil (Silverstein, 2002). Skema alat *fourier transform infra-red* (FT-IR) dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Skema alat *fourier transform infra-red* (FT-IR) (Ayyad, 2011)

Pada skema alat FT-IR, sumber (*source*) akan memancarkan berkas radiasi sinar infra merah dengan berbagai panjang gelombang. Radiasi ini selanjutnya dilewatkan melalui monokromator untuk mendapatkan radiasi dengan panjang gelombang tertentu (*tunggal*), dan berkas sinar inilah yang dilewatkan melalui pembagi (*chopper*) yang berperan untuk membagi sinar menjadi dua berkas. Berkas pertama diteruskan ke sampel dan berkas kedua akan diteruskan ke sebuah cermin (*mirror*) yang selanjutnya memantulkan berkas ke blanko. Berkas sinar yang tidak diserap oleh sampel selanjutnya akan diteruskan ke sebuah cermin yang akan memantulkan berkas sinar yang tidak diserap oleh blanko melalui cermin bercahaya, sehingga kedua berkas menjadi satu. Berkas sinar inilah yang akhirnya diteruskan ke detektor dan selanjutnya masuk ke pengolahan data menghasilkan spektrum.

Untuk mengkonfirmasi identitas produk sintetis dan untuk mengevaluasi gugus fungsi suatu senyawa, perlu dilakukan analisis FT-IR. Membran PIM merupakan membran yang tidak dapat kering secara maksimal sehingga saat karakterisasi dengan IR. Membran PIM yang mengandung senyawa pembawa *poly*-BADGE sebelum dan setelah transpor fenol dikarakterisasi menggunakan spektrofotometri inframerah dapat dilihat pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Spektrum IR membran *poly*-BADGE (a) setelah transpor (b) sebelum transpor fenol (Kiswandono *et al.*, 2020)

Berdasarkan hasil penelitian Kiswandono *et al.*, (2020), menunjukkan bahwa membran *poly*-BADGE relatif tidak berubah. Sebelum membran digunakan untuk transpor fenol (Gambar 9b), terdapat beberapa puncak pada spektrum IR yang menunjukkan adanya -OH ( $3522\text{ cm}^{-1}$ ), gugus aromatik C-H ( $3062\text{--}3026\text{ cm}^{-1}$ ), gugus alkana C-H ( $2911\text{--}2844\text{ cm}^{-1}$ ), dan gugus aromatik C=C ( $1602\text{ cm}^{-1}$ ). Frekuensi gugus benzena 1,4 tersubstitusi pada  $829,76\text{ cm}^{-1}$  digunakan sebagai indikator adanya *poly*-BADGE sebagai salah satu penyusun membran. Setelah membran digunakan untuk transpor fenol, serapan pada frekuensi ini masih terlihat tetapi dengan intensitas yang rendah karena telah jenuh dengan air (Gambar 9a).

### 2.5.3 Spektrofotometri UV-Vis (*Ultraviolet-Visible*)

Spektrofotometri UV-Vis merupakan pengukuran energi cahaya dari suatu sistem kimia pada panjang gelombang tertentu. Sinar *ultraviolet* (UV) mempunyai panjang gelombang 200-400 nm, dan sinar tampak (*visible*) mempunyai panjang

gelombang sebesar 400-750 nm. Spektrofotometri digunakan untuk mengukur besarnya energi yang diabsorpsi atau diteruskan. Sinar radiasi monokromatik akan melewati larutan yang mengandung zat yang dapat menyerap sinar radiasi tersebut (Romadhani, 2016).

Prinsip kerja spektrofotometer adalah bila cahaya (monokromatik) jatuh pada suatu medium homogen, sebagian dari sinar masuk akan dipantulkan sebagian diserap dalam medium itu dan sisanya diteruskan. Nilai yang keluar dari cahaya yang diteruskan dinyatakan dalam nilai absorbansi karena memiliki hubungan dengan konsentrasi sampel (Ganjar dan Rohman, 2007). Spektrum cahaya tampak dan warna-warna komplementer dapat dilihat pada Tabel 2.

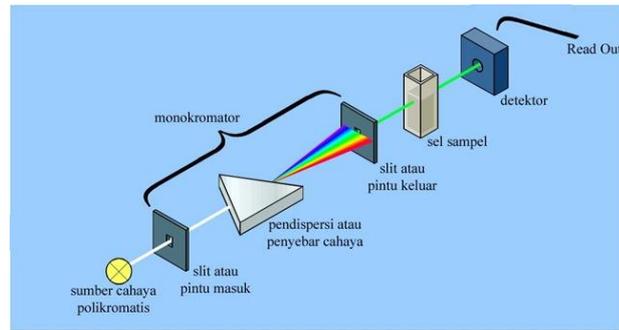
**Tabel 2.** Spektrum cahaya tampak dan warna-warna komplementer (Underwood and Day, 1986)

Panjang Gelombang (nm)	Warna	Warna Komplementer
400 – 435	Violet	Kuning – Hijau
435 – 480	Biru	Kuning
480 – 490	Hijau – Biru	Orange
490 – 500	Biru – Hijau	Merah
500 – 560	Hijau	Ungu
560 – 580	Kuning – Hijau	Violet
580 – 595	Kuning	Biru
595 – 610	Orange	Hijau – Biru
610 – 750	Merah	Biru – Hijau

Pada umumnya terdapat dua tipe instrumen spektrofotometer, yaitu :

1) *Single-beam*

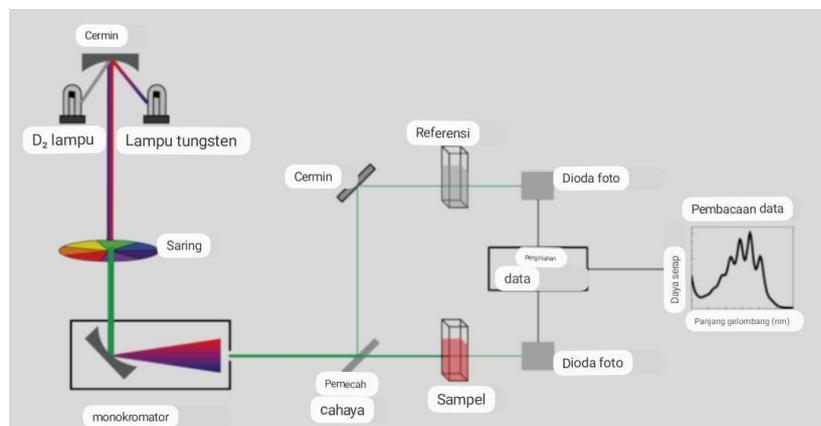
*Single-beam* instrument dapat digunakan untuk kuantitatif dengan mengukur absorbansi pada panjang gelombang tunggal. *Single-beam* instrument mempunyai beberapa keuntungan yaitu sederhana, harganya murah, dan mengurangi biaya yang ada merupakan keuntungan yang nyata. Beberapa instrumen menghasilkan *single-beam* instrument untuk pengukuran sinar ultra violet dan sinar tampak. Panjang gelombang paling rendah adalah 190 sampai 210 nm dan paling tinggi adalah 800 sampai 1000 nm (Skoog, 2000). Diagram alat spektrofotometer UV-Vis (*Single Beam*) dapat dilihat pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Diagram alat spektrofotometer UV-Vis (*Single Beam*) (Suhartati, 2017)

## 2) *Double-beam instrument*

*Double-beam instrument* dibuat untuk digunakan pada panjang gelombang 190 sampai 750 nm. *Double-beam instrument* mempunyai dua sinar yang dibentuk oleh potongan cermin yang berbentuk V yang disebut pemecah sinar. Sinar pertama melewati larutan blanko dan sinar kedua secara serentak melewati sampel (Hanlan *et al.*, 1973). Sumber sinar polikromatis, untuk sinar UV adalah lampu deuterium, sedangkan sinar *visibel* atau sinar tampak adalah lampu wolfram. Monokromator pada spektrometer UV-Vis digunakan lensa prisma dan filter optik. Sel sampel berupa kuvet yang terbuat dari kuarsa atau gelas dengan lebar yang bervariasi. Detektor berupa detektor foto atau detektor panas atau detektor dioda foto, berfungsi menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel dan mengubahnya menjadi arus listrik (Suhartati, 2017). Skema spektrofotometer UV-Vis (*Double Beam*) dapat dilihat pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Skema spektrofotometer UV-Vis (*Double Beam*) (Suhartati, 2017)

Menurut hasil penelitian Bhernama (2017), pengukuran serapan maksimum *malachite green* yang dilakukan dengan mengukur absorban *malachite green* pada panjang gelombang 1 200-800 nm menggunakan larutan *malachite green* dengan variasi kosentasi 2, 4, 6, 8 dan 10 ppm memberikan serapan maksimum pada konsentrasi 6 ppm dengan absorban 618,07 nm dan nilai absorpsivitas molar ( $\epsilon$ ) 110031,452021 mol L<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup> .

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Januari sampai dengan Maret 2023 di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi senyawa pembawa *poly*-BADGE 1:1 dan membran PIM menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) 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 Universitas Lampung dan analisis logam menggunakan *Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah; *magnetic stirrer*, *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, *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*, *poly-BADGE 1:1*, aluminium foil, tisu, akuades, akuabides, *polyvinyl chloride* (PVC), dibenzil eter (DBE), tetrahidrofuran (THF), HNO<sub>3</sub>, PbCO<sub>3</sub>, dan CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O.

### 3.3 Metode Optimasi Transpor

#### 3.3.1 Pembuatan membran *polymer inclusion membrane* (PIM)

Membran PIM dicetak atau dibuat dengan berat total 0,2700; 0,5400 dan 1,0800 g dalam suatu cetakan yang telah dilengkapi dengan *magnetic stirrer* (Tabel 3).

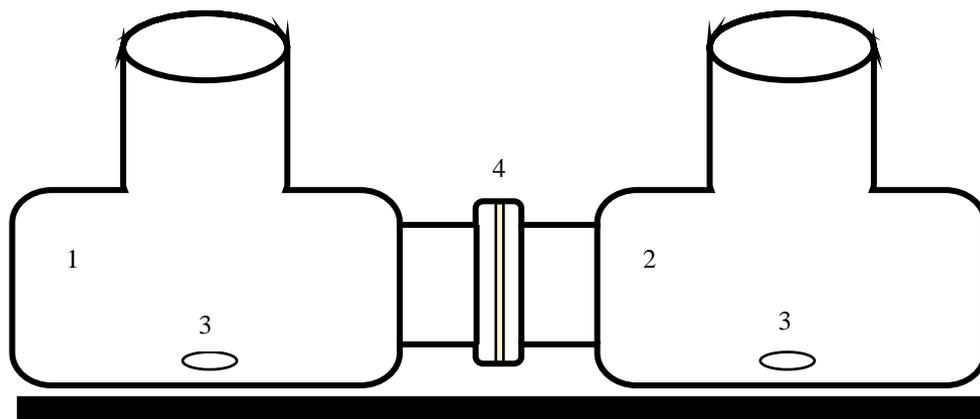
Komponen penyusun membran yaitu *poly-BADGE 1:1* sebagai senyawa pembawa, PVC sebagai polimer dasar, dan DBE sebagai *plasticizer*.

Tetrahidrofuran (THF) sebanyak 10 mL digunakan pada setiap membran PIM yang berfungsi sebagai pelarut untuk menghomogenkan campuran dalam cetakan, kemudian hasil cetakan didiamkan selama tiga hari untuk menguapkan pelarut secara alami.

**Tabel 3.** Perbandingan komponen pembentuk membran (10:32:58)  
(Nghiem *et al.*, 2006)

Membran	<i>Poly-BADGE 1:1</i> (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 - Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX). Adapun set alat transpor yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 12.



**Gambar 12.** Set alat transpor 1) fasa sumber, 2) fasa penerima, 3) *spin bar*, dan 4) membran PIM (Kiswandono *et al.*, 2012)

### 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  $\text{PbCO}_3$  dan 0,0738 g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dalam labu ukur 250 mL, kemudian ditambahkan akuades sampai tanda tera. Larutan yang dihasilkan untuk konsentrasi 100 ppm, kemudian larutan diencerkan dalam 25 ppm dengan volume 250 mL yang akan digunakan pada penelitian ini. Pengukuran konsentrasi *malachite green* pada fasa sumber, terlebih dahulu ditentukan panjang gelombang maksimum. Penentuan panjang gelombang maksimum *malachite green* dilakukan dengan cara mengambil larutan *malachite green* yang telah disiapkan ke dalam kuvet, lalu untuk mengetahui panjang gelombang maksimum, larutan *malachite green* 25 ppm diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400 nm sampai 800 nm. Pada fasa sumber, fasa penerima dan larutan standar *malachite green* (2; 5; 10; 15; 20; 25; dan 30 ppm) masing-masing diambil sebanyak 5 mL. Sampel tersebut kemudian dimasukkan ke dalam kuvet, lalu diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

### 3.3.3 Variasi pH *malachite green* pada fasa sumber

Membran PIM dengan ketebalan normal yang sudah dicetak dan mengandung senyawa pembawa ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL HNO<sub>3</sub> 1 M sebagai fasa penerima dan masing-masing 50 mL *malachite green* 25 ppm sebagai fasa sumber dengan pH yang telah divariasikan yaitu 5,0; 6,0; 7,0; 8,0 dan 9,0. Pipa transpor ditutup dan diaduk selama 12 jam dengan pengaduk magnet. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya sebanyak 5 mL. Konsentrasi *malachite green* yang terdapat di dalam 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 (Tabel 4) ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL HNO<sub>3</sub> sebagai fasa penerima optimum dan 50 mL *malachite green* 25 ppm sebagai fasa sumber optimum. Pipa transpor ditutup dan diaduk selama 12 jam dengan pengaduk magnet. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya sebanyak 5 mL. Konsentrasi *malachite green* yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

**Tabel 4.** Variasi konsentrasi senyawa pembawa

<b>Membran</b>	<b><i>Poly-BADGE 1:1</i> (M)</b>	<b>PVC (g)</b>	<b>DBE (g)</b>	<b>Berat Total (g)</b>
1	0,01	0,1728	0,3132	0,5589
2	0,02	0,1728	0,3132	0,6318
3	0,03	0,1728	0,3132	0,7047
4	0,04	0,1728	0,3132	0,7776
5	0,05	0,1728	0,3132	0,8505

### 3.3.7 Variasi waktu transpor

Membran PIM dengan ketebalan optimum yang sudah dicetak dan mengandung senyawa pembawa ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL HNO<sub>3</sub> konsentrasi optimum sebagai fasa penerima dan 50

mL *malachite green* 25 ppm dengan pH optimum sebagai fasa sumber. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan variasi waktu selama 6; 9; 12; 18; dan 24 jam dengan pengaduk magnet. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya sebanyak 5 mL. Konsentrasi *malachite green* yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Setelah didapatkan hasil dan data transpor kemudian ditentukan kinetika transpor meliputi orde reaksi, permeabilitas (P), fluks (J), koefisien rejeksi (R), persen *recovery* (%R), dan persen *removal* (%RE) pada transpor *malachite green*. Perhitungan seperti terlihat pada formula 1, 2, 3, 4, dan 5 (Gherasim *et al.*, 2011).

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

Keterangan:

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

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

Keterangan:

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

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

Keterangan:

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

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

Keterangan:

J = Fluks (L/m<sup>2</sup> Jam)  
V = Volume sampel (L)  
A = Luas permukaan membran (m<sup>2</sup>)

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 fasa penerima)

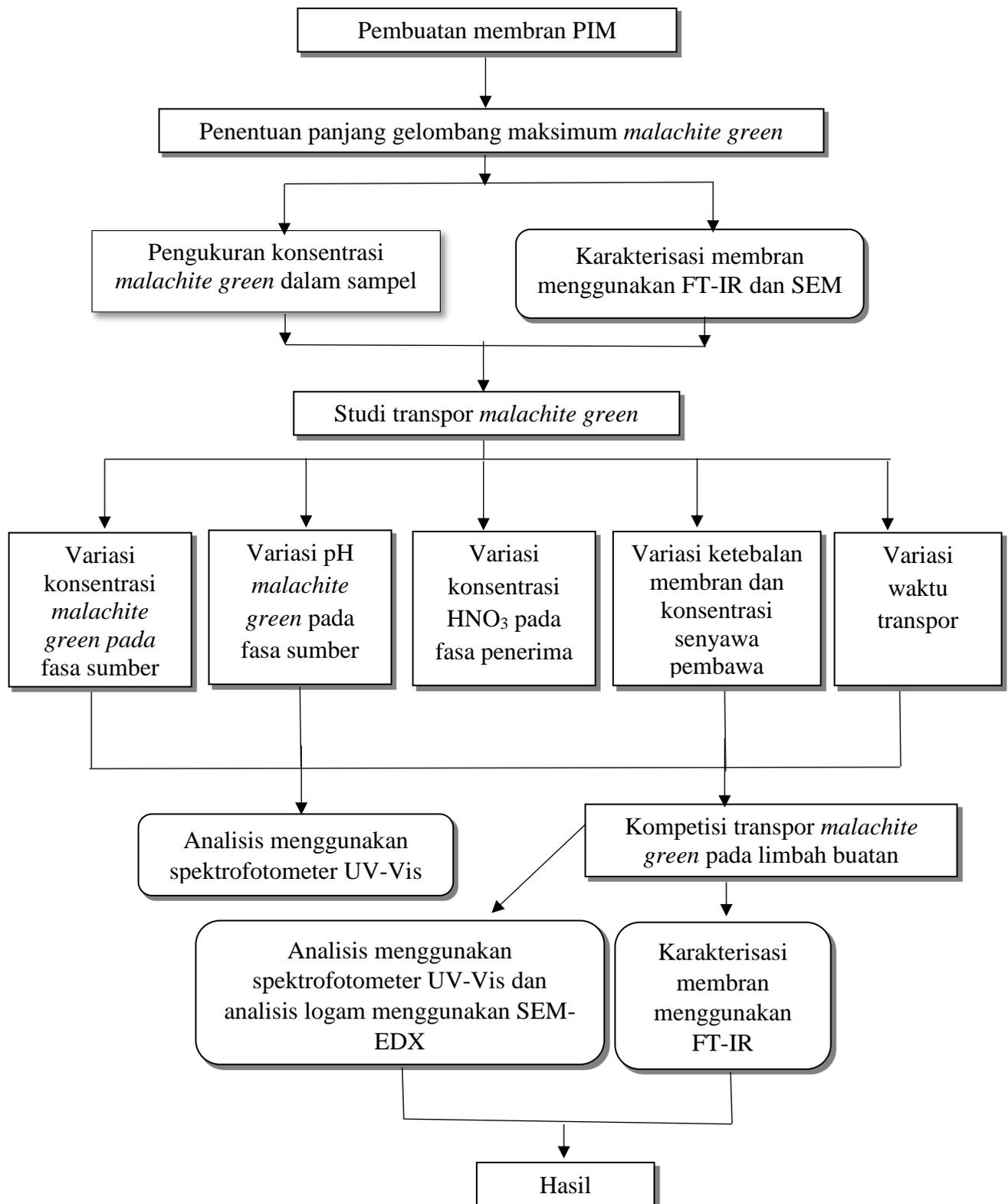
C<sub>t</sub> = Konsentrasi awal fasa sumber saat t optimum

### 3.3.8 Studi kompetisi transpor *malachite green* pada limbah buatan

Sampel limbah buatan dibuat dengan mencampurkan *malachite green*, PbCO<sub>3</sub> dan CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O dengan konsentrasi masing-masing 25 ppm. Selanjutnya dilakukan transpor menggunakan membran PIM dengan ketebalan optimum yang sudah dicetak. Membran ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor. Kemudian dimasukkan 50 mL limbah buatan sebagai fasa sumber dan 50 mL HNO<sub>3</sub> sebagai fasa penerima dengan kondisi optimum. Setelah itu, pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet pada fasa sumber dan fasa penerima selama waktu optimum pada suhu kamar. Setelah selesai diaduk, diambil sampel fasa sumber dan fasa penerima sebanyak 5 mL. Konsentrasi *malachite green* di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis, sementara konsentrasi logam Cu(II) dan Pb(II) yang terdapat di dalam fasa penerima ditentukan menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX).

### 3.4 Diagram Penelitian

Diagram alir dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 13.



**Gambar 13.** Diagram alir penelitian

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Transpor *malachite green* mencapai keadaan optimum pada pH fasa sumber 8, konsentrasi fasa penerima 1,00 M, ketebalan membran PIM T<sub>54</sub> (Normal) dan konsentrasi senyawa pembawa 0,05 M selama waktu transpor 24 jam dengan jumlah *malachite green* yang tertranspor dari fasa membran menuju ke fasa penerima (%*removal*) yaitu sebesar 93,28%.
2. Keberadaan logam kompetitor Pb(II) dan Cu(II) terhadap transpor *malachite green* dapat mengganggu proses *malachite green* untuk tertranspor ke fasa penerima berdasarkan %*removal malachite green* sebesar 90,84% lebih besar dibandingkan konsentrasi *malachite green* dengan logam kompetitor Pb(II) dan Cu(II) yaitu sebesar 86,05% dan persentase logam Pb(II) sebesar 15,93% dan Cu(II) sebesar 2,32%
3. Hasil karakterisasi membran PIM setelah transpor memiliki permukaan yang tidak rata dan memiliki pori-pori karena terdapat komponen membran yang hilang selama proses transpor (*leaching*). Hal ini dibuktikan dengan uji FT-IR yang menunjukkan adanya pergeseran pita serapan dan penurunan intensitas.

## 5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah perlu dilakukannya pengujian yang lebih optimal terhadap sampel untuk menghasilkan persentase hasil transpor *malachite green* yang tertranspor ke fasa penerima dan perlu dilakukannya 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 *Poly-BADGE* 1:1.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ashraf, W. M., Abulibdeh, N., and Salam, A. 2019. Selective Removal of Malachite Green Dye from Aqueous Solutions by Supported Liquid Membrane Technology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 16(18).
- Ayyad, O. D. 2011. Novel Strategies for The Synthesis of Metal Nanoparticle and Nanostructure. *Thesis*. Universitas de Barcelona. Barcelona.
- Bartsch, R. A., and Way, J. D. 1996. Chemical Separations with Liquid Membranes. *J. Am. Chem.Soc.* 622–442.
- 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.
- Dewi, A. R. C., Masturi, M., Yulianti, I., dan Nuha, A. U. 2016. *Pemanfaatan Arang dari Batang Pohon dengan Perekat PVAC untuk Degradasi Limbah Methylene Blue*. Prosiding Seminar Nasional Fisika.
- 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*. Elsevier. Inggris.
- Fan, J., Fan, Y., Pei, Y., Wu, K., Wang, J., and Fan, M. 2008. *Solvent Extraction of Selected Endocrine-Disrupting Phenols Using Ionic Liquids*. 61: 324–331.
- Ferraz, H., Duarte, L. R., Lucio, M. D., Alves, T. L. M., Harbert, A. C., and Borges, C. P. 2007. Recent Achievements in Facilitated Transport Membranes for Separation Processes. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 24(1): 101–118.
- Fontàs, C., Tayeb, R., Dhahbi, M., Gaudichet, E., ThomINETTE, F., Roy, P., Steenkeste, K., Fontaine-Aupart, M. P., Tingry, S., Tronel-Peyroz, E., and Seta, P. 2007. Polymer Inclusion Membranes: The Concept of Fixed Sites Membrane Revised. *Journal of Membrane Science*. 290(1–2): 62–72.

- Ganjar, G. I., dan Rohman, A. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Pustaka Belajar. Yogyakarta.
- Girão, A. V., Caputo, G., and Ferro, M. C. 2017. Application of Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS). *Comprehensive Analytical Chemistry*. 75: 153–168.
- Griffith, P. 1975. *Chemical Infrared Fourier Transform Spectroscopy*. John Wiley & Sons. New York.
- Guenther, E. 1990. *Minyak Atsiri Terjemahan oleh S. Ketaren*. Universitas Indonesia Press. Depok.
- Gunandjar. 1985. *Diktat Kuliah Spektrofotometri Serapan Atom*. BATAN. Yogyakarta.
- Handayani, D. S., Kusumaningsih, T., dan Yuli, M. 2004. Synthesis of Co-Poly(Eugenol Sulfonate)-DVB from Eugenol as A Major Component of *Syzygium Aromaticum* Oils. *Biofarmasi Journal of Natural Product Biochemistry*. 2(2): 53–57.
- Hanke, L. 2001. Handbook of Analytical Methods for Materials. *Materials Evaluation and Engineering, Inc.* 1–50.
- Harimu, L., Matsjeh, S., Siswanta, D., and Santosa, J. 2009. Synthesis of Polyeugenyl Oxyacetic Acid as A Carrier to Separate Heavy Metal Ion Fe(III), Cr(III), Cu(II), Ni(II), Co(II), and Pb(II) That using Solvent Extraction Method. *Indo. J. Chem.* 9(2): 261–266.
- Howard, P. and Meylan, W. 1997. *Handbook of Physical Properties of Organic Chemicals*. Lewis Publishers. Boca Raton.
- Huang, S., Chen, J., Chen, L., Zou, D., and Liu, C. 2020. A Polymer Inclusion Membrane Functionalized by Di ( 2-Ethylhexyl ) Phosphinic Acid with Hierarchically Ordered Porous Structure for Lutetium (III) Transport. *Journal of Membrane Science*. 593: 117458.
- Jores, K., Mehnert, W., Drechsler, M., Bunjes, H., Johann, C., and Mäder, K. 2004. Investigations on The Structure of Solid Lipid Nanoparticles (SLN) and Oil-Loaded Solid Lipid Nanoparticles by Photon Correlation Spectroscopy, Field-Flow Fractionation and Transmission Electron Microscopy. *Journal of Controlled Release*. 95(2): 217–227.
- Khopkar, S. M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Universitas Indonesia Press. Depok.
- Khopkar, S. M. 2008. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Erlangga. Jakarta.

- Kislik, V. 2010. *Liquid Membranes: Principle and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment*. Elsevier. Inggris.
- Kiswandono, A. A. 2014. Kajian Transpor Fenol Melalui Membran Berbasis Polieugenol Tertaut Silang Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane (PIM). *Disertasi*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Kiswandono, A. A., Mudasir, Siswanta, D., Aprilita, N. H., Santosa, S. J., and Hadi, S. 2020. Synthesis of A New Crosslinked Poly-Bisphenol A Diglycidyl Ether (Poly-BADGE) as A Carrier in Phenol Transport. *Kuwait J. Sci.* 47(4): 39–38.
- Ling, Y. Y., and Suah, F. B. M. 2017. Extraction of Malachite Green from Wastewater by Using Polymer Inclusion Membrane. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 5(1): 785–794.
- Maslahat, M., dan Kiswandono, A. A. 2011. Studi Transpor Senyawa Fenol Menggunakan Membran Cair Polieugenol dengan Pelarut Diklorometana. *Jurnal Sains Natural Universitas Nusa Bangsa*. 1(2): 145–155.
- Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membrans Technology, 2nd Edition*. Kluwer Academic Publisher. Nederlands.
- Nghiem, L. D., Mornane, P., Potter, I. D., Perera, J. M., Cattrall, R. W., and Kolev, S. D. 2006. Extraction and Transport of Metal Ions and Small Organic Compounds Using Polymer Inclusion Membranes (PIMS). *Journal of Membrane Science*. 281(1–2): 7–41.
- Oshita, K., Takayanagi, T., Oshima, M., and Motomizu, S. 2007. Adsorption Behavior of Cationic and Anionic Species on Chitosan Resins Possessing Amino Acid Moieties. *Analytical Sciences*. 23(12): 1431–1434.
- Pratomo, H. 2019. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Komposit Polisulfon Selulosa Asetat untuk Proses Ultrafiltrasi. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains*. 3(8): 168–173.
- Mursal, I. L. 2018. Karakterisasi XRD dan SEM pada Material Nanopartikel serta Peran Material Nanopartikel dalam Drug Delivery System. *Pharma Xplore : Jurnal Ilmiah Farmasi*. 3(2): 214–221.
- Renata, E. A. 2014. *Pengolahan Limbah Cair Kain Jumputan dengan menggunakan Membran Komposit Kitosan-PVA*. Politeknik Sriwijaya. Palembang.

- Robati, D., Rajabi, M., Moradi, O., Najafi, F., Tyagi, I., Agarwal, S., and Gupta, V. K. 2016. Kinetics and Thermodynamics of Malachite Green Dye Adsorption from Aqueous Solutions on Graphene Oxide and Reduced Graphene Oxide. *Journal of Molecular Liquids*. 214: 259–263.
- Romadhani, H. 2016. *Validasi Metode Penetapan Kadar Tablet Floating Metformin Hidroklorida dengan Spektrofotometri*. Universitas Muhammadiyah Purwokerto. Purwokerto.
- Sastrohamidjojo, H. 1981. Study of Some Indonesian Essential Oil. *Desertation FMIPA Universitas Gajah Mada*. Yogyakarta.
- Shipra. 2009. Study Selective Transport of Ag(I) Ion using Polymer Inclusion Membranes Containing Thiuram Sulphide as A Carrier. *Thesis*. Thapar University. Patiala.
- Silverstein, R. M. 2002. *Penyelidikan Spektrometri Senyawa Organik Edisi 4*. Erlangga. Jakarta.
- Singh, S., and Srivastava, V. C. 2013. Electrochemical Treatment of Malachite Green Dye Solution Using Iron Electrode. *Intern J of ChemTech Research*. 5: 592–596.
- Skoog, D. A. 2000. *Principles of Instrumental Analysis Fifth Edition*. Brooks/cole- Thomson Learning. USA.
- Srivastava, S., Sinha, R., and Roy, D. 2004. Toxicological Effects of Malachite Green. *Aquatic Toxicology*. 66(3): 319–329.
- Stevens, M. 2001. *Kimia Polimer Cetakan Pertama*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Suhartati, T. 2017. *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-Vis dan Spektrofotometri Massa untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. AURA. 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 (SNFPF)*. 5(1): 19–25.
- Suwandi, A. C., Indraswati, N., dan Ismadji, S. 2011. *Modifikasi Kaolin dengan Menggunakan Surfaktan Alami dari Buah Lerak untuk Menghilangkan Zat Warna Malachite Green*. Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia.

- Ulfa, K. N., Khabibi, K., dan Djunaidi, M. C. 2011. Recovery Logam Krom (VI) Menggunakan Polymer Inclusion Membran (PIM) dengan Senyawa Pembawa Aliquat 336, Topo dan Campuran Aliquat 336-Topo. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 14(3): 77–82.
- Underwood, A. L., and Day, R. A. 1986. *Analisa Kimia Kuantitatif*. Erlangga.
- Walkowiak, W., Ulewicz, M., and Kozlowski, C. A. 2002. Application of Macrocycle Compounds for Metal Ions Separation and Removal – A Review. *Ars Separatoria Acta*. 1(1): 87–98.
- Yudhapratama, E. 2010. *Penentuan Keberadaan Zat Aditif pada Plastik Kemasan Melalui Perlakuan Pemanasan pada Spektrometer IR*. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Zhao, W., He, G., Nie, F., Zhang, L., Feng, H., and Liu, H. 2012. Membrane Liquid Loss Mechanism of Supported Ionic Liquid Membrane for Gas Separation. *Journal of Membrane Science*. 411: 73–80.
- Zheng, H., Wang, B., Wu, Y., and Ren, Q. 2009. Instability Mechanisms of Supported Liquid Membrane for Phenol Transport. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 17(5): 750–755.
- Zhou, X. J., Guo, W. Q., Yang, S. S., Zheng, H. S., and Ren, N. Q. 2013. Ultrasonic-Assisted Ozone Oxidation Process of Triphenylmethane Dye Degradation: Evidence for The Promotion Effects of Ultrasonic on Malachite Green Decolorization and Degradation Mechanism. *Bioresource Technology*. 128: 827–830.