

**STABILITAS DAN KEMAMPUAN MEMBRAN YANG MENGANDUNG
POLI-BADGE 3:1 UNTUK TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN
METODE *POLYMER INCLUSION MEMBRANE* (PIM)**

(Skripsi)

Oleh

Sefi Amelleony Putri



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

STABILITAS DAN KEMAMPUAN MEMBRAN YANG MENGANDUNG POLI-BADGE 3:1 UNTUK TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN METODE *POLYMER INCLUSION MEMBRANE* (PIM)

Oleh

SEFI AMELLEONY PUTRI

Pemisahan dan pemurnian fenol dari air limbah dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi membran cair berbasis Poli-BADGE 3:1 sebagai senyawa pembawa. Membran cair yang mengandung senyawa pembawa tersebut dapat digunakan, karena fenol dan senyawa pembawa memiliki sisi aktif yang sama. Penelitian mengenai stabilitas dan kemampuan membran yang mengandung Poli-BADGE 3:1 untuk transpor fenol telah dilakukan menggunakan metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui stabilitas membran PIM dengan pengaruh variasi *plasticizer*, jenis dan konsentrasi garam, serta kemampuan membran PIM melalui pemakaian berulang dan umur membran. Membran PIM dipreparasi dengan melarutkan Poli-BADGE 3:1, polivinil klorida (PVC), dan dibenzil eter (DBE). Penentuan konsentrasi fenol sesudah proses transpor dianalisis dengan metode spektrofotometri UV-Vis dengan penambahan 4-aminoantipirin dan absorbansinya diukur pada panjang gelombang 456 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa stabilitas membran dicapai pada penambahan *plasticizer* 0,3132 g dengan konsentrasi fenol tertranspor sebesar 60,84%. Penambahan jenis garam NaCl pada sumber menunjukkan hasil optimum dibandingkan jenis garam lainnya, yakni mampu mentranspor fenol pada fasa penerima sebesar 56,16%. Transpor fenol dengan melakukan penambahan NaCl 0,01 M di fasa sumber dan penerima menghasilkan fenol yang tertranspor sebanyak 54,60% dan 45,79%. Pada uji kemampuan membran PIM melalui pemakaian berulang dilakukan 5 kali pengulangan transpor. Pemakaian berulang tanpa pencucian mampu mentranspor fenol sebesar 56,96%, 49,74%, 34,68%, 29,39%, dan 24,75%, serta pada pemakaian berulang dengan pencucian mampu mentranspor fenol sebesar 56,44%, 41,33%, 33,22%, 27,90%, dan 20,72%. Tanpa penambahan garam, kemampuan transpor membran hanya 45 hari tetapi dengan penambahan KNO₃ 0,1 M kemampuannya meningkat menjadi 61 hari.

Kata kunci: fenol, PIM, Poli-BADGE, stabilitas, kemampuan

ABSTRACT

STABILITY AND CAPABILITY MEMBRANE CONTAINING POLY-BADGE 3:1 FOR PHENOL TRANSPORT USING POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM) METHOD

By

SEFI AMELLEONY PUTRI

Separation and purification of phenol from wastewater can be done using liquid membrane technology based on Poly-BADGE 3:1 as a carrier compound. Liquid membranes containing these carrier compounds can be used, because phenol and carrier compounds have the same active side. Research on the stability and ability of membranes containing Poly-BADGE 3:1 for phenol transport has been carried out using the Polymer Inclusion Membrane (PIM) method. This study aims to determine the stability of PIM membranes with the influence of plasticizer concentration, type and concentration of salt, as well as the ability of PIM membranes through repeated use and membrane life. PIM membrane was prepared by dissolving 3:1 poly-BADGE, polyvinyl chloride (PVC), and dibenzyl ether (DBE). Determination of phenol concentration after the transport process was carried out by UV-Vis spectrophotometric method with the addition of 4-aminoantipyrine and the absorbance was measured at a wavelength of 456 nm. The results showed that membrane stability was achieved at the addition of 0.3132 g plasticizer with a transported phenol concentration of 60.84%. The addition of NaCl salt type at the source showed optimum results compared to other types of salt, which was able to transport phenol in the receiving phase by 56.16%. Phenol transport by adding 0.01 M NaCl in the source and receiver phases resulted in phenol transported as much as 54.60% and 45.79%. In the test of the ability of the PIM membrane through repeated use, 5 repetitions of transport were carried out. Repeated use without washing was able to transport phenol by 56.96%, 49.74%, 34.68%, 29.39%, and 24.75%, and in repeated use with washing was able to transport phenol by 56.44%, 41.33%, 33.22%, 27.90%, and 20.72%. Without the addition of salt, the membrane transport ability was only days but with the addition of 0.1 M KNO₃ the ability increased to 61 days.

Keywords: phenol, PIM, Poly-BADGE, stability, capability

**STABILITAS DAN KEMAMPUAN MEMBRAN YANG MENGANDUNG
POLI-BADGE 3:1 UNTUK TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN
*POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM)***

Oleh

Sefi Amelleony 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
2024**

Judul : **STABILITAS DAN KEMAMPUAN
MEMBRAN YANG MENGANDUNG POLI-
BADGE 3:1 UNTUK TRANSPOR FENOL
MENGUNAKAN METODE *POLYMER
INCLUSION MEMBRANE (PIM)***

Nama : *Sefi Amelleony Putri*

NPM : 2017011014

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

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

Prof. Suharto, Ph.D.
NIP. 196905301995121001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.
NIP.197205302000032001

MENGESAHKAN

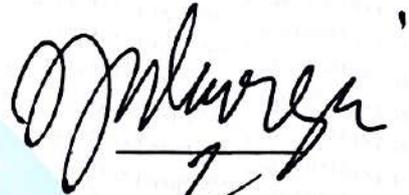
1. Tim Penguji
Ketua

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



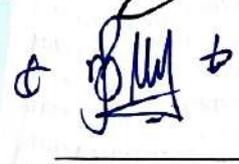
Sekretaris

: **Prof. Suharso, Ph.D.**



Anggota

: **Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **7 Agustus 2024**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Sefi Amelleony Putri
Nomor Pokok Mahasiswa : 2017011014
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Stabilitas dan Kemampuan Membran Yang Mengandung Poli-BADGE 3:1 Untuk Transpor Fenol Menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane (PIM)*”** adalah hasil pekerjaan saya sendiri, dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, serta dapat diterima sebagai persyaratan penyelesaian studi pada Universitas atau Institut lainnya.

Bandar Lampung, 13 Agustus 2024

Yang Menyatakan




Sefi Amelleony Putri

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Sefi Amelleony Putri, lahir di Tulang Bawang pada tanggal 2 Agustus 2001, sebagai anak kedua dari dua bersaudara, putri dari pasangan Bapak Alm. Heri Purnomo dan Ibu Sri Wahyuni. Penulis saat ini bertempat tinggal di Desa Sidomulyo, Kecamatan Punggur, Kabupaten Lampung Tengah, Lampung.

Penulis menyelesaikan pendidikan mulai dari TK 02 Yapindo lulus pada tahun 2008, lalu melanjutkan ke SD 02 Yapindo lulus pada tahun 2014, kemudian melanjutkan ke SMP Yapindo lulus pada tahun 2017, dan selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMAS Sugar Group B Mataram lulus pada tahun 2020. Pada tahun 2020 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 ikuti adalah menjadi pengurus muda Himaki FMIPA Unila sebagai anggota Biro Usaha Mandiri pada tahun 2021 dan 2022. Pada tahun 2022 penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi Kimia FMIPA Unila. Penulis melaksanakan Merdeka Belajar Kampus Merdeka program Membangun Desa di Desa Rejomulyo, Kabupaten Lampung Selatan pada tahun 2022. Pada tahun 2024 penulis dapat menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Universitas Lampung dengan judul “Stabilitas dan Kemampuan Membran Yang Mengandung Poli-BADGE 3:1 Untuk Transpor Fenol Menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM)”.

MOTTO

**“Bertaqwalah kepada Allah, maka Dia akan membimbingmu.
Sesungguhnya Allah mengetahui segala sesuatu”
(QS. Al-Baqarah: 282)**

*“Tidak ada sesuatu yang mustahil untuk dicapai. Tidak ada sesuatu yang mustahil untuk diselesaikan. Karena, 'Sesungguhnya Allah bebas melaksanakan kehendak-Nya, Dia telah menjadikan untuk setiap sesuatu menurut takarannya!.”
(QS. At Thalaq: 3)*

**“Sukses itu harus melewati banyak proses bukan banyak protes”
(Merry Riana)**

**“Terkadang, kesulitan harus kamu rasakan terlebih dulu sebelum
kebahagiaan yang sempurna datang kepadamu”
(R.A. Kartini)**

**“Do’a ibu selalu menyertai dalam setiap langkahku”
(Penulis)**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.

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

Kedua orang tuaku, Bapak Alm. Heri Purnomo dan Ibu Sri Wahyuni yang telah menyayangi, merawat, mendidik, mengajarkan kebaikan, dan selalu mendo'akan keberhasilanku dalam setiap sujud, sehingga putrimu dapat menyelesaikan studi ini, serta mengucapkan terima kasih atas segalanya.

Kakakku Wahyu Purnomo, S.Pd. dan Yuli Susana, A.Md. serta keluarga besarku yang selalu memberikan semangat dan do'a yang terbaik,

Dengan segala rasa hormat kepada Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc., Prof. Suharso, Ph.D., dan Ibu Dr. Mita Rifianti, S.Si., M.Si. serta seluruh Dosen Pengajar yang telah membimbing dan mendidikku sampai menyelesaikan pendidikan Sarjana.

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

Almamater Tercinta Universitas Lampung

SANWACANA

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

Skripsi yang berjudul “**Stabilitas dan Kemampuan Membran Yang Mengandung Poli-BADGE 3:1 Untuk Transpor Fenol Menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane (PIM)***”, 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 terima kasih kepada :

1. Allah *Subhanalahu Wata'ala* atas limpahan rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Alm. Heri Purnomo, seseorang yang selalu saya rindukan. Terima kasih atas segala pengorbanan, kasih sayang, nasihat dan motivasi serta segala bentuk tanggung jawab atas kehidupan saya. Terima kasih sudah mengantarkan saya pada tahap ini, meskipun perjalanan ini harus saya lewati sendiri.
3. Ibunda tercinta, Ibu Sri Wahyuni, wanita hebat yang selalu menjadi penyemangat. Terima kasih atas segala kasih sayang, nasihat, motivasi, dan doa yang diberikan selama ini sehingga penulis mampu menghadapi segala

hambatan yang ada dan pada akhirnya karya tulis ini dapat terselesaikan dengan baik

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.
5. Bapak Prof. Suharso, Ph.D. selaku pembimbing II yang telah memberikan segala ilmu, masukan, dan nasihat serta bimbingannya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si. selaku ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung dan Pembahas yang telah memberikan segala ilmu, masukan, dan nasihat sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
7. Ibu Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dari awal penulis belajar hingga menyelesaikan studi di Jurusan Kimia FMIPA Unila.
8. Bapak Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila atas segala ilmu, nasihat, arahan, motivasi, dan waktu yang telah diberikan selama penulis menempuh perkuliahan.
9. Teruntuk kakakku, Wahyu Purnomo, S.Pd. dan Yuli Susana, A.Md. Terima kasih atas segala bentuk *support* dan bantuan yang telah diberikan. Semoga Allah SWT selalu permudah apa yang kalian perjuangkan.
10. Keluarga besarku 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'amin*
11. Sahabat trioku, Nadya Syaharani dan Ajeng Rahmadhani. Terima kasih atas segala bentuk dukungan yang diberikan kepada penulis. Terima kasih telah menjadi tempat berbagi cerita meski kita berbeda kota.
12. Sahabat-sahabat per'LAPRAK'an (Ibnah, Valen, Anin, Safitri, Buya, dan Dwi). Terima kasih telah menjadi *partner* di segala kondisi yang terkadang tidak terduga, menjadi pendengar yang baik dan menjadi orang yang selalu memberikan semangat, dukungan, dan candaan.

13. Rekan kerja dan juga sahabatku selama penelitian; Ibnah, Niswah, Ayu, dan Fadhillah. Terima kasih untuk bantuan yang selama ini diberikan dan sudah saling menguatkan dalam banyak hal.
14. Terima kasih untuk keluarga besar *Membrane Research*, Kak Icha, Kak Annur, Kak Ulfa, Kak Ayu, Kak Kharisma, serta adik-adik *membrane'21* karena telah kebersamai dan membimbing banyak hal dalam penelitian ini.
15. Untuk Wikka septiyana, terima kasih sudah menjadi pendengar yang baik dan selalu memberikan candaannya.
16. Teman-teman kelas B yang telah membantu dan kebersamai penulis melewati semester demi semester.
17. Teman-teman Kimia 2020 semoga Allah permudah langkah kalian dan mendapatkan kehidupan yang jauh lebih baik lagi dan tetap semangat.
18. Almamater tercinta, Universitas Lampung.
19. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyusun skripsi ini.
20. Terakhir, kepada diri saya sendiri, Sefi Amelleony Putri. Apresiasi sebesar-besarnya karena telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terima kasih karena terus berusaha dan tidak menyerah, senantiasa menikmati setiap proses yang bisa dibilang tidak mudah. Terima kasih telah berjuang dan bertahan sejauh ini.

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, 13 Agustus 2024

Penulis

Sefi Amelleony Putri

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Fenol.....	6
2.2 Teknologi Membran Cair	8
2.3 <i>Polymer Inclusion Membrane</i> (PIM)	10
2.4 Eugenol dan Poli-Bisfenol A Diglisidil Eter (Poli-BADGE)	11
2.5 Karakterisasi dan Analisis	14
2.5.1 Spektrofotometer UV-Vis.....	14
2.5.2 <i>Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy</i> (FTIR)	16
2.5.3 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	20
III. METODE PENELITIAN	23
3.1 Waktu Penelitian	23
3.2 Alat dan Bahan.....	23
3.2.1 Alat	23
3.2.2 Bahan.....	24
3.3 Prosedur Penelitian.....	24
3.3.1 Pengaruh Variasi Konsentrasi <i>Plasticizer</i>	24
3.3.2 Pengaruh Variasi Jenis Garam	25
3.3.3 Pengaruh Variasi Konsentrasi Garam pada Fasa Sumber	25
3.3.4 Pengaruh Variasi Konsentrasi Garam pada Fasa Penerima.....	26
3.3.5 Pengaruh Pemakaian Berulang Membran PIM.....	26
3.3.6 <i>Lifetime</i>	27
3.3.7 Diagram Alir Penelitian.....	28
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 <i>Polymer Inclusion Membrane</i> (PIM)	29

4.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi <i>Plasticizer</i>	30
4.3 Pengaruh Variasi Jenis Garam	34
4.4 Pengaruh Variasi Konsentrasi Garam NaCl pada Fasa Sumber	37
4.5 Pengaruh Variasi Konsentrasi Garam NaCl pada Fasa Penerima	39
4.6 Pengaruh Pemakaian Berulang Membran PIM	41
4.7 Umur Membran (<i>Lifetime</i>).....	44
4.8 Karakterisasi Membran PIM.....	47
4.8.1 Karakterisasi <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR).....	47
4.8.2 Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	50
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN	58

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Bilangan Gelombang FTIR dari Berbagai Jenis Ikatan	18
2. Kadar kation Na^+ dan K^+ pada variasi jenis garam pada fasa sumber dan persentase fenol pada fasa penerima	35
3. Pengukuran pH pada fasa sumber sebagai parameter ketahanan umur membran (<i>lifetime</i>).....	44
4. Perbandingan bilangan gelombang hasil FT-IR membran PIM sebelum dan setelah transpor fenol.....	49
5. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi konsentrasi <i>plasticizer</i>	70
6. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi <i>plasticizer</i> (Pengulangan 1).....	70
7. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi <i>plasticizer</i> (Pengulangan 2).....	71
8. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi <i>plasticizer</i> (Pengulangan 3).....	71
9. Persentase fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada variasi <i>plasticizer</i> ...	71
10. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi <i>plasticizer</i>	71
11. Data berat membran sebelum dan setelah transpor fenol serta nilai %ML loss pada variasi konsentrasi <i>plasticizer</i>	72
12. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi jenis garam	72
13. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis garam (Pengulangan 1)	73
14. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis garam (Pengulangan 2)	73
15. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis garam (Pengulangan 3)	73
16. Persentase fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada variasi jenis garam .	74

17. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis garam	74
18. Data berat membran sebelum dan setelah transpor fenol serta nilai %ML loss pada variasi jenis garam	74
19. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi konsentrasi garam pada fasa sumber	75
20. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam pada fasa sumber (Pengulangan 1)	75
21. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam pada fasa sumber (Pengulangan 2)	75
22. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam pada fasa sumber (Pengulangan 3)	76
23. Persentase fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada variasi konsentrasi garam pada fasa sumber	76
24. Data \bar{x} , SD, dan %RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam pada fasa sumber	76
25. Data berat membran sebelum dan setelah transpor fenol serta nilai %ML loss pada variasi konsentrasi garam pada fasa sumber	76
26. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi konsentrasi garam pada fasa penerima	77
27. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam pada fasa penerima (Pengulangan 1)	78
28. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam pada fasa penerima (Pengulangan 2)	78
29. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam pada fasa penerima (Pengulangan 3)	78
30. Persentase fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan <i>removal</i> hasil transpor fenol pada variasi konsentrasi garam pada fasa penerima	78
31. Data \bar{x} , SD, dan %RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi garam pada fasa penerima	79
32. Data berat membran sebelum dan setelah transpor fenol serta nilai %ML loss pada variasi konsentrasi garam pada fasa penerima	79
33. Absorbansi larutan standar fenol pada pemakaian berulang tanpa pencucian	79
34. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang tanpa pencucian (Pengulangan 1)	80
35. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang tanpa pencucian (Pengulangan 2)	80

36. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang tanpa pencucian (Pengulangan 3)	80
37. Data \bar{x} , SD, dan %RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang tanpa pencucian	81
38. Persentase fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan <i>removal</i> hasil transpor fenol pada pemakaian berulang tanpa pencucian	81
39. Data berat membran sebelum dan setelah transpor fenol serta nilai %ML <i>Loss</i> pada pemakaian berulang tanpa pencucian	81
40. Absorbansi larutan standar fenol pada pemakaian berulang dengan pencucian.....	82
41. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang dengan pencucian (Pengulangan 1)	82
42. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang dengan pencucian (Pengulangan 2)	82
43. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang dengan pencucian (Pengulangan 3)	83
44. Data \bar{x} , SD, dan %RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang dengan pencucian	83
45. Massa membran sebelum transpor pada pemakaian berulang dengan pencucian.....	83
46. Data berat membran sebelum dan setelah transpor fenol serta nilai %ML <i>loss</i> pada pemakaian berulang dengan pencucian.....	83
47. Data <i>lifetime</i>	84
48. Ketebalan Membran PIM Variasi Konsentrasi <i>Plasticizer</i>	85
49. Ketebalan Membran PIM Variasi Jenis Garam	85
50. Ketebalan Membran PIM Variasi Konsentrasi Garam pada Fasa Sumber ...	85
51. Ketebalan Membran PIM Variasi Konsentrasi Garam pada Fasa Penerima..	85
52. Ketebalan Membran PIM Pemakaian Berulang	86
53. Ketebalan Membran PIM <i>Lifetime</i>	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Senyawa Fenol	6
2. Reaksi fenol dengan 4-aminoantipirin	8
3. Membran Cair (a) BLM, (b) ELM dan (c) PIM	10
4. Senyawa Eugenol.....	12
5. Reaksi Polimerisasi Polieugenol.....	13
6. Prediksi struktur poli-BADGE	14
7. Skema Alat Spektrofotometer UV-Vis	15
8. Panjang Gelombang Maksimum Fenol.....	16
9. Skema Instrumen FTIR	17
10. Spektra FT-IR membran PIM Poli-BADGE 3:1 sebelum transpor dan sesudah transpor.....	19
11. Morfologi Hasil SEM dari Membran PIM (a,b) poli-BADGE 1:1 sebelum dan sesudah transpor dan (c,d) poli-BADGE 3:1 sebelum dan sesudah transpor.....	21
12. Diagram Alir Penelitian.....	28
13. Membran PIM yang berhasil dibuat.....	30
14. Grafik pengaruh variasi konsentrasi plasticizer terhadap % fenol pada fasa sumber dan fasa penerima	31
15. Grafik %ML <i>Loss</i> pada Variasi Konsentrasi <i>Plasticizer</i>	33
16. Grafik pengaruh jenis garam terhadap % fenol pada fasa sumber dan fasa penerima	34
17. Grafik %ML <i>Loss</i> pada variasi jenis garam	36
18. Grafik pengaruh konsentrasi garam pada fasa sumber terhadap % fenol pada fasa sumber dan fasa penerima	37
19. Grafik %ML <i>loss</i> pada variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa sumber ...	38
20. Grafik pengaruh konsentrasi garam pada fasa penerima terhadap % fenol pada fasa sumber dan fasa penerima	39

21. Grafik %ML <i>Loss</i> pada variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa penerima	41
22. Grafik pengaruh pemakaian berulang tanpa pencucian membran PIM terhadap % fenol pada fasa penerima	42
23. Grafik pengaruh pemakaian berulang dengan pencucian membran PIM terhadap % fenol pada fasa penerima	42
24. Pengaruh pemakaian berulang variasi tanpa pencucian terhadap persentase kehilangan komponen penyusun membran (%ML <i>Loss</i>)	43
25. Pengaruh pemakaian berulang variasi dengan pencucian terhadap persentase kehilangan komponen penyusun membran (%ML <i>Loss</i>).....	43
26. Umur membran (<i>Lifetime</i>).....	45
27. Pengaruh penambahan jenis garam pada <i>lifetime</i> terhadap persentase kehilangan komponen penyusun membran (%ML <i>loss</i>).....	46
28. Spektrum hasil FTIR membran PIM (a) sebelum transpor; (b) sesudah transpor; (c) transpor <i>lifetime</i> tanpa penambahan garam; (d) transpor <i>lifetime</i> dengan garam Na ₂ SO ₄ ; dan (e) transpor <i>lifetime</i> dengan garam KNO ₃	48
29. Perbandingan hasil karakterisasi SEM membran PIM (A) sebelum transpor; (B) transpor <i>lifetime</i> tanpa penambahan garam; (C) transpor <i>lifetime</i> dengan garam Na ₂ SO ₄ 0,01 M; dan (D) transpor <i>lifetime</i> dengan garam KNO ₃ 0,01 M	50
30. Kurva Standar Variasi Konsentrasi <i>Plasticizer</i>	70
31. Kurva Standar Variasi Jenis Garam	73
32. Kurva Standar Variasi Konsentrasi Garam pada Fasa Sumber	75
33. Kurva Standar Variasi Konsentrasi Garam pada Fasa Penerima.....	77
34. Kurva Standar Pemakaian Berulang Tanpa Pencucian	80
35. Kurva Standar Pemakaian Berulang Dengan Pencucian.....	82
36. (a) Alat cetak membran (b) Membran sebelum transpor	87
37. pH Larutan Fenol 60 ppm.....	87
38. Transpor Fenol Variasi Konsentrasi <i>Plasticizer</i>	87
39. Transpor Fenol Variasi Jenis Garam.....	88
40. Transpor Fenol Variasi Konsentrasi Garam pada Fasa Sumber dan Fasa Penerima.....	88
41. Transpor Fenol Pemakaian Berulang	88
42. Transpor Fenol <i>Lifetime</i>	88
43. Preparasi Analisis UV-Vis	89
44. (a) Proses Ekstraksi (b) Hasil Pemisahan Fasa Organik Sampel.....	89

45. Pengukuran pH Lifetime 89

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sektor industri yang semakin pesat menimbulkan beberapa masalah pencemaran lingkungan, salah satunya adalah pencemaran air. Naiknya tingkat pencemaran air dapat mempengaruhi kelangsungan hidup manusia dan lingkungannya yang berpengaruh terhadap ketersediaan air bersih. Ketidakmampuan industri mengolah limbah hasil produksi dengan baik merupakan salah satu masalah lingkungan yang paling sulit dikendalikan saat ini. Limbah yang biasa dihasilkan oleh beberapa industri dan memerlukan penanganan yang tepat saat ini adalah fenol. Fenol merupakan salah satu senyawa organik yang terdapat dalam limbah cair dari industri penyulingan minyak bumi, gas, farmasi, tekstil, dan rumah tangga. Salah satu limbah yang mengandung senyawa fenol adalah limbah rumah sakit yang berasal dari hasil cucian sterilisasi alat, bahan kimia laboratorium yang sangat berbahaya jika dibuang begitu saja ke lingkungan. Oleh karena itu, fenol perlu dihilangkan dari air limbah sebelum dibuang (Lestari dkk., 2012).

Fenol adalah salah satu bahan yang beracun dan berbahaya, karena bersifat korosif terhadap kulit serta karsinogenik. Senyawa fenol dapat menyebabkan efek kronik yang apabila terjadi kontaminasi akan membahayakan manusia dan menyebabkan kematian organisme di perairan pada konsentrasi rendah yaitu 5-25 mg/L. Senyawa tersebut juga dapat menyebabkan kerusakan hati, ginjal, penurunan darah, dan pelemahan detak jantung (Alva dan Peyton, 2003). Fenol mudah diserap melalui inhalasi, sistem pencernaan dan paparan dermal yang menghasilkan toksisitas sistemik. Penyerapan fenol dengan cepat didistribusikan

ke seluruh tubuh. Senyawa fenol dikatakan aman bagi lingkungan apabila konsentrasinya berkisar antara 0,5-1,0 mg/L sesuai dengan KEPMEN No 51/MENLH/10/1995 dan ambang batas fenol dalam air baku air minum adalah 0,002 mg/L. Oleh karena itu, pengolahan lebih lanjut pada limbah cair yang mengandung fenol beserta turunannya harus dilakukan sebelum limbah tersebut dibuang ke perairan.

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengurangi dampak fenol dari limbah cair yaitu adsorbs (Li *et al.*, 2009; Malusis *et al.*, 2010), ekstraksi padat-cair, reaksi fotokatalisis menggunakan TiO_2 (Aufa, 2017; Yulianto, 2011) yang hingga saat ini teknologinya terus dikembangkan agar memperoleh hasil pemisahan yang lebih efektif, proses yang sederhana dan ramah lingkungan dengan biaya yang relatif lebih murah (Kiswandono, 2016). Diantara banyak metode yang telah digunakan tersebut, teknik membran cair dipilih sebagai metode lain untuk proses pemisahan fenol dari limbah cair karena sifatnya yang selektif, mudah dipraktikkan, biaya yang relatif murah, dan tidak membutuhkan bahan serta energi yang besar. Kusumastuti (2007) menyatakan bahwa hasil pemisahan menggunakan membran lebih ekonomis dibandingkan metode ekstraksi cair-cair. Metode membran cair membutuhkan suatu senyawa pembawa (*carriers*) sebagai bagian dari transpor fenol.

Metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) merupakan salah satu metode membran cair. Membran PIM adalah membran yang bersifat fleksibel dan mudah dibuat dari larutan yang mengandung suatu senyawa pembawa, *plasticizer* dan polimer dasar sebagai pendukung. Membran PIM dianggap mampu meningkatkan kestabilan karena polimer dasar seperti polivinil klorida (PVC) diharapkan dapat mengatasi kebocoran senyawa pembawa dan *plasticizer* yang berfungsi untuk membuat sistem membran lebih stabil. Keunggulan dari membran PIM adalah mudah dalam sistem operasinya, dapat meminimalkan penggunaan bahan kimia, serta komposisi membran yang fleksibel dan selektif sebanding dengan pemisahan yang efisien (Nghiem *et al.*, 2006).

Senyawa pembawa merupakan salah satu komponen yang terdapat dalam membran yang berfungsi untuk memfasilitasi senyawa target melalui membran sehingga proses pemisahan dapat berjalan. Senyawa pembawa bereaksi dengan komponen yang ditargetkan pada fasa sumber, bergerak melintasi membran dan melepaskan komponen di fasa penerima. Pada penelitian ini digunakan eugenol sebagai bahan dasar senyawa pembawa. Eugenol disintesis dari minyak cengkeh yang keberadaannya sudah banyak ditemukan di Indonesia. Eugenol memiliki gugus-gugus fungsi seperti gugus metoksi (-OCH₃), hidroksi (-OH), dan alil pada ujung rantai. Keberadaan gugus hidroksil -OH ini diharapkan mampu berinteraksi dengan fenol, sehingga dapat mengekstrak fenol dari fase sumber ke fase membran. Adanya gugus alil berupa rantai rangkap dua menyebabkan senyawa eugenol dapat melakukan reaksi polimerisasi menjadi polieugenol.

Polieugenol merupakan salah satu senyawa pembawa yang berbasis bahan alam dan dihasilkan dari polimerisasi eugenol melalui sintesis langsung menggunakan katalis asam. Polimer hasil sintesis ini belum efektif karena memiliki kemampuan interaksi dengan senyawa target yang rendah dan dimungkinkan memiliki berat molekul yang rendah sehingga memiliki sisi aktif yang terbatas. Salah satu cara untuk meningkatkan berat molekul polieugenol ini dengan melakukan sambung silang (*crosslink*) menggunakan senyawa-senyawa vinil. Kiswandono (2014) telah melakukan sambung silang polieugenol dengan beberapa senyawa vinil, seperti divinil benzen (DVB), etilen glikol dimetakrilat (EGDMA), dan dialil ftalat (DAF). Selain senyawa vinil tersebut, alternatif lain untuk meningkatkan sisi aktif pada senyawa turunan polieugenol yaitu dengan melibatkan gugus hidroksi yang bereaksi dengan gugus epoksida. Senyawa epoksida seperti bisfenol-A diglisidil eter (BADGE) digunakan sebagai agen taut silang untuk memperpanjang rantai senyawa hasil sintesis. Poli-BADGE merupakan senyawa hasil polimerisasi antara polieugenol dengan BADGE yang dapat digunakan sebagai senyawa pembawa pada proses transpor fenol.

Dewi (2022) telah melakukan penelitian mengenai optimasi transpor fenol menggunakan membran PIM dengan senyawa pembawa Poli-BADGE (Poli-

Bisfenol A Diglisidil Eter). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa persentase fenol yang berhasil ter-*recovery* sebesar 85,30%. Transpor fenol mencapai nilai optimum pada pH fasa sumber 5,5 dan konsentrasi larutan NaOH fasa penerima 0,10 M dengan ketebalan membran PIM T₅₄ (Normal). Membran PIM yang dibuat memiliki waktu optimum untuk mentranspor fenol selama 24 jam. Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, pemisahan yang dihasilkan sudah baik, akan tetapi membran PIM yang telah digunakan belum dilakukan evaluasi kestabilan dan ketahanannya lebih lanjut. Oleh karena itu, pada penelitian ini masalah yang akan diteliti adalah bagaimana dengan faktor lainnya yang dapat mempengaruhi kestabilan dan ketahanan dari membran PIM dalam mentranspor fenol.

Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian ini dilakukan uji stabilitas dan kemampuan membran PIM yang mengandung senyawa pembawa Poli-BADGE 3:1 untuk transpor fenol menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM). Uji stabilitas dan kemampuan membran meliputi pengaruh variasi *plasticizer*, variasi jenis garam pada fasa sumber, variasi konsentrasi garam pada fasa sumber dan fasa penerima, pengaruh pemakaian berulang membran PIM, dan umur membran (*lifetime*).

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan tersebut di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Melakukan uji stabilitas membran PIM dengan parameter pengaruh variasi *plasticizer*, jenis garam, dan konsentrasi garam.
2. Menguji kemampuan membran PIM melalui pemakaian berulang dan umur membran (*lifetime*)
3. Melakukan karakterisasi membran PIM sebelum dan sesudah transpor menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

1.3 Manfaat Penelitian

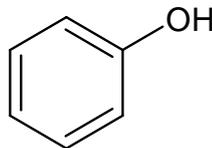
Dengan memperhatikan tujuan penelitian yang ingin dicapai, maka hasil penelitian yang akan diperoleh diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi baru tentang penggunaan poly-BADGE sebagai senyawa pembawa untuk transpor fenol.
2. Memberikan informasi baru dalam pemanfaatan polimer pada bidang analisis kimia dan meningkatkan nilai guna eugenol.
3. Memberikan upaya pengurangan polutan organik khususnya fenol di lingkungan perairan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fenol

Fenol merupakan senyawa organik dengan rumus molekul C_6H_6O yang memiliki gugus hidroksil dimana gugus tersebut berikatan dengan cincin aromatik. Ikatan dengan cincin aromatik berhubungan dengan sifat kimia dan reaktifitas fenol. Fenol berbentuk kristal putih yang akan berubah menjadi merah atau merah muda apabila terkena udara ataupun cahaya, larut dalam sulfur dioksida cair, asam asetat, karbon tetraklorida, dan alkohol, larut dalam kloroform, ether, gliserol, petroleum, karbon disulfida, minyak yang *volatile*, *aquoeus alkali hidroxide*, dan aseton. Fenol sedikit larut dalam minyak mineral dan hampir tidak larut dalam petroleum ether. Setiap 1 g fenol larut dalam 15 mL air dan 12 mL benzena. Fenol dapat terbakar jika terkena panas, api, oksidizer dan *emits toxic fumes* ketika dipanaskan (Kusumastuti, 2007). Fenol memiliki titik leleh sebesar $40,85\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan titik didih sebesar $182\text{ }^{\circ}\text{C}$. Fenol larut dalam air pada temperatur kamar. Fenol merupakan salah satu asam lemah dengan nilai pK_a 9,98 (Cichy and Szymanowski, 2002).



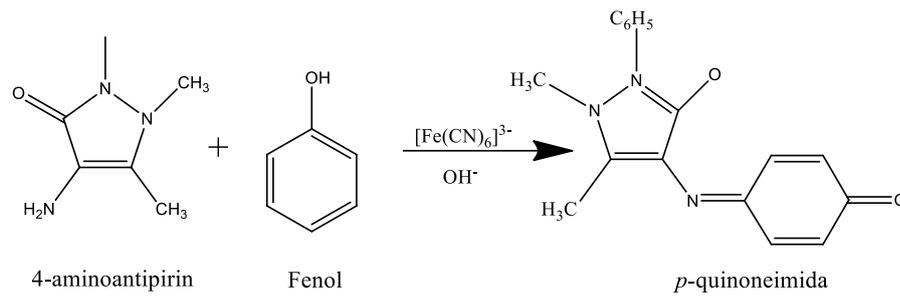
Gambar 1. Struktur Senyawa Fenol (Guenther, 1990)

Senyawa fenol bersifat korosif, beracun dan karsinogenik. Fenol sangat berbahaya bagi organisme dan kesehatan manusia pada konsentrasi rendah (5–25 mg/L). Senyawa ini dapat mengakibatkan kerusakan hati, ginjal, penurunan tekanan darah,

pelemahan detak jantung hingga kematian (Alva dan Peyton, 2003), oleh karena itu fenol digolongkan sebagai bahan beracun dan berbahaya (B3). Badan Perlindungan Lingkungan USA (*United State Environment Protected Agent*, USEPA) memasukkan fenol dalam daftar prioritas senyawa toksik pencemar daerah perairan (Mortaheb dkk., 2008).

Penanganan fenol diperairan dapat diatasi dengan dua cara yaitu menurunkan kadar fenol yang terdapat dalam air dan melakukan *recovery* senyawa fenol (Yulianto, 2011). Penanganan terhadap limbah fenol telah dilakukan oleh para peneliti dengan metode yang berbeda-beda. Salah satu metode yang digunakan adalah metode adsorpsi. Swantomo dkk (2009) menggunakan metode adsorpsi fenol dengan batubara, arang aktif, dan kalsium karbonat. Hameed *et al* (2008), melakukan removal fenol dari perairan dengan menggunakan karbon teraktivasi. Metode adsorpsi memiliki kelemahan yaitu memerlukan regenerasi adsorben ketika sudah jenuh dengan senyawa organik. Selain itu, polutan organik yang telah diadsorpsi dalam adsorben masih tetap berbahaya karena tidak dapat didegradasi menjadi senyawa lain yang tidak berbahaya (Slamet *et al.*, 2006). Penanganan fenol dapat menggunakan metode lainnya, seperti metode penanganan fenol dengan menggunakan membrane, ekstraksi padat-cair, dan fotokalisis.

Pada prinsipnya, semua fenol dalam air akan bereaksi dengan 4-aminoantipirin dalam suasana kalium ferri sianida ($K_3Fe(CN)_6$) akan membentuk warna merah kecoklatan dari antipirin. Selanjutnya warna yang terbentuk diekstraksi dari larutan fenol dengan menggunakan kloroform dan diukur pada panjang gelombang 460nm atau 500 nm. Konsentrasi senyawa fenol dalam sampel dinyatakan dalam mg/L sesuai dengan Badan Standardisasi Nasional SNI 06-6989. 21-2004.



Gambar 2. Reaksi fenol dengan 4-aminoantipirin (Sousa *and* Trancoso, 2009)

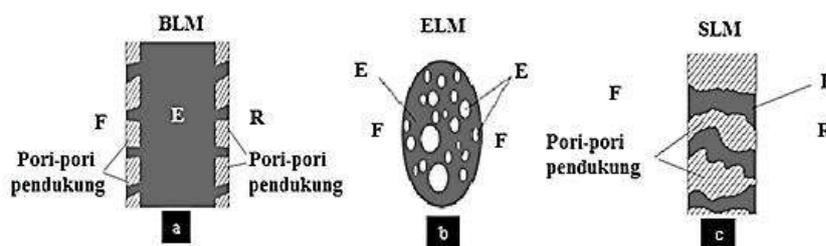
2.2 Teknologi Membran Cair

Membran merupakan lapisan semipermeabel yang tipis dan digunakan untuk memisahkan dua komponen dengan cara menahan dan melewatkan komponen tertentu melalui pori-pori. Membran termasuk dalam fasa yang berlaku sebagai rintangan yang selektif terhadap aliran molekul atau ion yang terdapat dalam cairan atau uap yang berhubungan dengan kedua sisinya (Kiswandono, 2016). Jika senyawa dari campuran berpindah melewati membran lebih cepat dari campuran senyawa lainnya, maka dengan penggunaan membran ini akan menyempurnakan proses pemisahan (Kislik, 2010). Kelebihan menggunakan metode membran sebagai salah satu metode pemisahan adalah tidak berubahnya struktur molekul senyawa yang dipisahkan, sehingga menyebabkan prosesnya lebih sederhana (Agustina, 2006).

Teknologi membran bersifat efisien, sederhana, memiliki selektivitas yang tinggi serta aman bagi lingkungan. Pemisahan dengan membran tergolong hal baru dan mengalami perkembangan yang pesat. Membran tidak hanya penting dalam proses biologi, namun telah berkembang dan digunakan dalam dunia industri, seperti dalam proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi (Kislik, 2010). Teknologi membran adalah teknologi yang handal dan ekonomis untuk penyisihan fenol dan memiliki keuntungan seperti konsumsi daya yang rendah, efluen kualitas tinggi, dan mudah diterapkan dengan modul membran. Namun, pertimbangan harus diberikan pada kemungkinan terjadinya fouling yang dapat terjadi karena adanya partikel dan koloid dalam aliran umpan (Aufa, 2017).

Salah satu teknologi membran adalah membran cair. Pemisahan dengan membran cair dapat dilakukan pada suhu kamar, tidak bersifat destruktif dan dapat dikombinasikan dengan proses lainnya tanpa penambahan zat lain (Mulder, 1996). Pada dasarnya, pemisahan membran cair ditentukan oleh sifat senyawa pembawa spesifik. Senyawa pembawa (*carrier*) berada di dalam membran dan bergerak jika dilarutkan dalam cairan. Senyawa pembawa harus menunjukkan aktivitas yang spesifik terhadap satu komponen pada fasa sumber sehingga diperoleh selektivitas yang tinggi dan *permiselectivity* komponennya bergantung pada spesifikasi bahan pembawa tersebut. Membran cair terdiri dari cairan yang berperan sebagai penghalang semipermeabel dan tidak bercampur dengan fasa sumber maupun fasa penerima (Bartsch *and* Way, 1996). Pemisahan ini terjadi berdasarkan pada perbedaan konsentrasi antara fasa sumber dan fasa penerima (Khoiruddin, *et al.*, 2010).

Membran cair dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu membran cair ruah (*Bulk Liquid Membranes*, BLM), membran cair emulsi (*Emulsion Liquid Membranes*, ELM) dan membran cair berpendukung (*Supported Liquid Membranes*, PIM). Membran cair ruah (*Bulk Liquid Membranes*, BLM) terdiri dari sejumlah besar (*bulk*) fasa sumber dan fasa penerima yang dipisahkan oleh sejumlah besar pelarut organik yang tidak bercampur dengan air (Kislik, 2010). Membran cair dengan sistem BLM umumnya digunakan untuk mempelajari sifat transport senyawa yang memiliki luas permukaan kecil sehingga hanya digunakan pada skala laboratorium (Kiswandono, 2016). Pada membran cair emulsi (ELM), fasa penerima diemulsikan dalam membran cair kemudian membran cair akan terdispersi ke fasa sumber dan terjadi transfer massa dari fasa sumber ke fasa penerima. Namun, emulsi harus dihasilkan sebelum proses pemisahan berlangsung dan stabil untuk menghindari kebocoran serta bersifat tidak stabil ketika proses pemisahan selesai (Kocherginsky *et al.*, 2007). Pada membran cair berpendukung (*Supported Liquid Membranes*, PIM) terdiri dari pelarut organik hidrofobik yang diimobilisasi dalam pori polimer pendukung yang memisahkan fasa sumber dan penerima. PIM juga dapat dibuat dari imobilisasi fasa membran diantara dua lapisan nonpori yang bersifat permeabel untuk transpor suatu senyawa (Kislik, 2010).



Gambar 3. Membran Cair (a) BLM, (b) ELM dan (c) PIM (Kiswandono, 2016)

Terdapat jenis membran lain yang memiliki stabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan PIM, yaitu membran PIM. Membran tersebut menggunakan larutan yang mengandung *carrier*, pemlastis dan polimer dasar seperti selulosa triasetat (CTA) atau PVC membentuk lapisan yang tipis, stabil dan fleksibel. Hasilnya adalah membran *self-supporting* yang dapat digunakan untuk memisahkan larutan yang diinginkan dengan cara yang mirip dengan PIM (Nghiem *et al.*, 2006).

2.3 Polymer Inclusion Membrane (PIM)

Polymer Inclusion Membrane (PIM) adalah membran yang terbuat dari larutan yang mengandung senyawa pembawa, *plasticizer*, dan polimer dasar yang membentuk film tipis, stabil dan fleksibel (Ulfia dkk., 2011). Keberadaan senyawa pembawa dapat mentransport dan mengikat ion-ion melewati membran (Ling and Mohd Suah, 2017). Polimer dasar seperti polivinil klorida (PVC) dan *cellulose triacetate* (CTA) pada membran diharapkan dapat mengatasi kebocoran dari senyawa *carrier*. *Plasticizer* misalnya DBE pada membran berfungsi untuk membuat sistem membran menjadi lebih stabil (Dzygiel and Wieczorek, 2010). Hasilnya berupa membran yang *self-supporting* yang dapat digunakan untuk memisahkan larutan yang diinginkan dengan cara yang mirip dengan PIM (Nghiem *et al.*, 2006).

PIM melibatkan transpor selektif dan menargetkan zat terlarut (senyawa target) dari satu larutan melalui membran yang memisahkan antara fasa sumber dan fasa penerima. Pemakaian PVC pada PIM dapat menstabilkan membran dengan cara

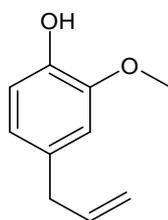
menahan molekul pembawa agar tetap berada pada membran. Modifikasi menggunakan PVC untuk pembentukan gel merupakan keuntungan dari metode PIM (Kislik, 2010). PIM dianggap mampu meningkatkan kestabilan dari metode SLM karena dua hal, yaitu polimer dasar (PVC) yang diharapkan dapat mengatasi kebocoran *carrier*, dan *plasticizer* yang berfungsi untuk membuat sistem membran lebih stabil. Oleh karena hal tersebut, PIM diharapkan memiliki potensi lebih baik untuk pemisahan skala industri dibandingkan tipe membran cair lainnya.

Stabilitas membran PIM dapat dipengaruhi oleh *plasticizer*. Peran *plasticizer* adalah untuk menembus antarmolekul polimer, menetralkan senyawa polar dari polimer dengan senyawa polar dari *plasticizer* untuk meningkatkan jarak antar molekul polimer dan mengurangi kekuatan gaya antarmolekul. Konsentrasi *plasticizer* yang rendah tidak diinginkan karena dapat menyebabkan membran menjadi lebih kaku dan rapuh, sedangkan konsentrasi *plasticizer* yang berlebihan akan bermasalah, karena *plasticizer* yang berlebih dapat bermigrasi ke membran cair dan membentuk sebuah film pada permukaan membran, yang akan menjadi penghalang tambahan untuk transportasi ion logam melintasi membran. Bahkan, *plasticizer* yang berlebihan secara signifikan dapat mengurangi kekuatan mekanik pada film tipis, sehingga tidak dapat digunakan dalam situasi praktis (Nghiem, 2006).

2.4 Eugenol dan Poli-Bisfenol A Diglisidil Eter (Poli-BADGE)

Eugenol (4-allyl-2-methoxyphenol) adalah komponen utama (80% berat) dari minyak cengkeh yang banyak terdapat di Indonesia dan banyak digunakan sebagai parfum, antioksidan, obat, makanan dan bumbu penyedap (Rahim, 2016). Eugenol berupa cairan tak berwarna atau kuning pucat dan berbau spesifik memiliki manfaat sebagai stimulan, antiemetik, antiseptic, antispasmodic, anestetik lokal, dan karminatif (Somaatmadja, 2001). Eugenol termasuk salah satu senyawa alam yang mengandung beberapa gugus aktif, yaitu hidroksil, cincin aromatik dan alil sehingga dapat digunakan untuk dimodifikasi secara kimia menjadi senyawa

turunan eugenol lainnya. Senyawa turunan eugenol banyak digunakan pada industri farmasi, kosmetik, dan flavor makanan, seperti senyawa metil eugenol, isoeugenol, dan vanili sintetis. Modifikasi lainnya dari eugenol yang memiliki banyak manfaat adalah bentuk polimernya atau dikenal sebagai senyawa polieugenol (Hikmah dkk., 2018). Eugenol digunakan sebagai bahan awal sintesis suatu senyawa karena memiliki tiga gugus fungsi seperti gugus alil, hidroksi dan metoksi. Melalui gugus alil, eugenol dipolimerisasi menjadi polieugenol (Ngadiwiyana, 2005).

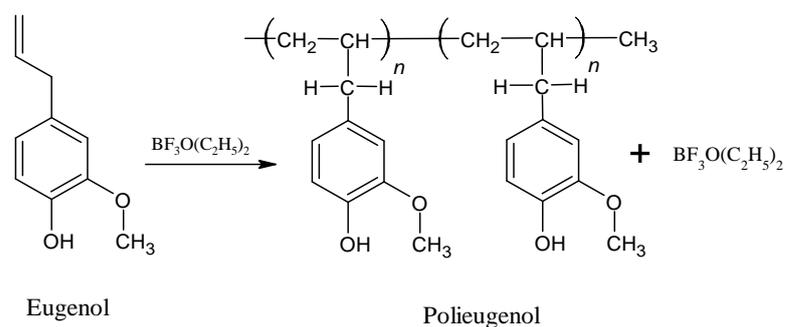


Gambar 4. Senyawa Eugenol (Kiswando, 2014)

Pada umumnya polieugenol dapat dihasilkan melalui sintesis langsung menggunakan katalis, baik asam sulfat maupun boron trifluoro dietil eter (Handayani dan Wuryanti, 2001). Polimerisasi dengan bahan baku senyawa alam seperti eugenol merupakan suatu hal yang relatif baru dilakukan, maka pengembangan dan pemanfaatan monomer eugenol semakin diperluas. Eugenol dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam sintesis polieugenol yang dapat digunakan sebagai carrier dalam transpor membran cair. Syarat polimer yang dapat digunakan sebagai carrier pada fasa membran yaitu mempunyai berat molekul yang tinggi serta memiliki struktur yang memungkinkan terjadinya interaksi dengan senyawa yang akan ditranspor (Ketaren, 1985).

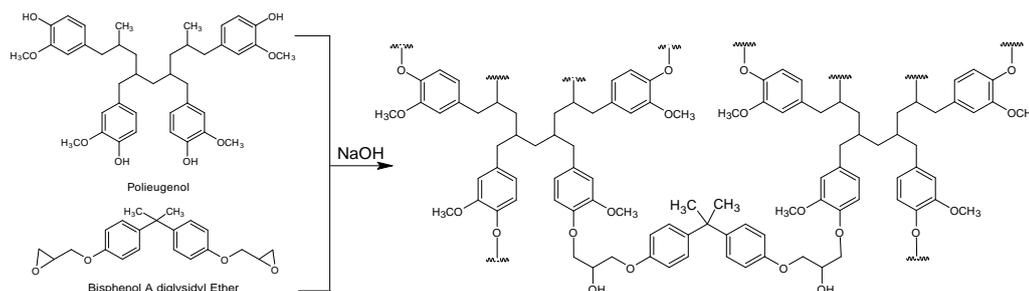
Polieugenol merupakan padatan berwarna coklat, berbau wangi (minyak cengkeh), mengkilat berupa film dengan titik leleh berkisar 84 °C –90 °C, tidak larut dalam air tetapi dapat larut dalam etanol, kloroform, etil asetat dan sedikit larut dalam dietil eter (Hikmah dkk., 2018). Sintesis polieugenol dilakukan dengan menambahkan katalis $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$. Proses polimerisasi eugenol menjadi polieugenol termasuk proses polimerisasi adisi kationik. Proses ini terjadi karena

gugus vinil dari eugenol mengalami reaksi adisi (Cholid, 2016). Reaksi polimerisasi menggunakan katalis $\text{BF}_3\text{OH}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ terjadi melalui tahapan inisiasi, propagasi, dan terminasi. Pada tahap inisiasi terjadi berkelanjutan sampai diperoleh rantai monomer yang panjang. Pada tahap propagasi terjadi penataan ulang intermolekuler dari karbokation. Pada tahap terminasi dilakukan penambahan metanol untuk menghentikan pertumbuhan rantai (Ketaren, 1985). Reaksi polimerisasi eugenol menjadi polieugenol dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Reaksi Polimerisasi Polieugenol (Kiswandono, 2014)

Bisfenol A Diglisidil Eter (BADGE) adalah senyawa yang mengandung suatu epoksida yang larut dalam air dan digunakan sebagai senyawa perantara untuk taut silang polimer (Oshita *et al.*, 2007). Poli-BADGE disintesis dari polieugenol dan BADGE dengan menggunakan refluks dalam dioksan suasana basa. Reaksi ikatan silang dilakukan dalam kondisi basa untuk memfasilitasi reaksi substitusi nukleofilik bimolekuler (SN_2). Ikatan silang antara gugus hidroksi polieugenol dan epoksida BADGE menghasilkan pembentukan obligasi eter. Polimerisasi menggunakan senyawa epoksida ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan sisi aktif polieugenol yaitu gugus hidroksinya. Polimer hasil sintesis ini akan memiliki berat molekul yang besar, sehingga akan memiliki sisi aktif (gugus $-\text{OH}$ 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. Perkiraan struktur polimer hasil taut silang antara polieugenol:BADGE terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Prediksi struktur poli-BADGE (Kiswandono, 2020)

Poli-BADGE tidak larut dalam air atau kloroform dan memiliki titik leleh poli- $>380\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan polieugenol yaitu $80,3 - 83,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, hal ini menunjukkan nilai yang jauh lebih tinggi tingkat kerumitan produk dibandingkan dengan produk awal materi (Kiswandono dkk., 2020).

2.5 Karakterisasi dan Analisis

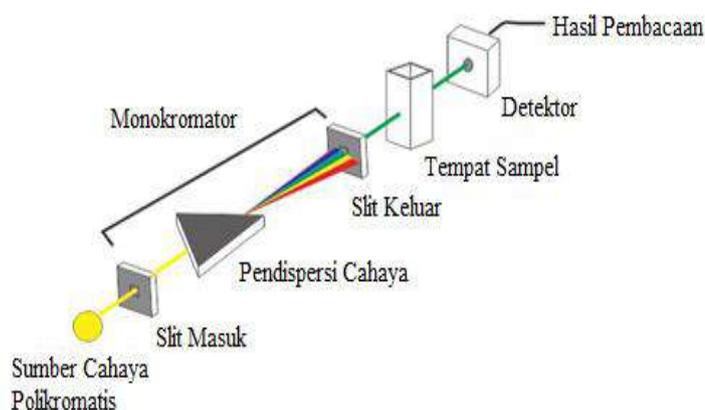
Pada penelitian ini dilakukan beberapa karakterisasi meliputi analisis gugus fungsi dan komponen kimia terhadap hasil sintesis membran dengan menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), analisis morfologi permukaan membran menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan analisis menggunakan Ultra Violet-Visible (UV-Vis).

2.5.1 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis adalah pengukuran panjang gelombang dan intensitas sinar ultraviolet dan cahaya tampak yang diabsorpsi oleh sampel. Sinar ultraviolet dan cahaya tampak memiliki energi yang cukup untuk mempromosikan elektron pada kulit terluar ke tingkat energi yang lebih tinggi. Spektroskopi UV-Vis biasanya digunakan untuk molekul dan ion anorganik atau kompleks di dalam larutan. Konsentrasi dari analit di dalam larutan bisa ditentukan dengan mengukur absorbansi pada panjang gelombang tertentu dengan menggunakan hukum Lambert-Beer. Sinar ultraviolet berada pada panjang gelombang $200-400\text{ nm}$ sedangkan sinar tampak berada pada panjang gelombang $400-800\text{ nm}$

(Dachriyanus, 2004). Senyawa yang dapat dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis adalah senyawa yang memiliki gugus kromofor seperti adanya ikatan rangkap terkonjugasi (misalnya fenol) dan auksokrom (misalnya –OH). Serapan pada spektroskopi bergantung pada jumlah ikatan rangkap yang terkonjugasi (Yim *et al.*, 2004).

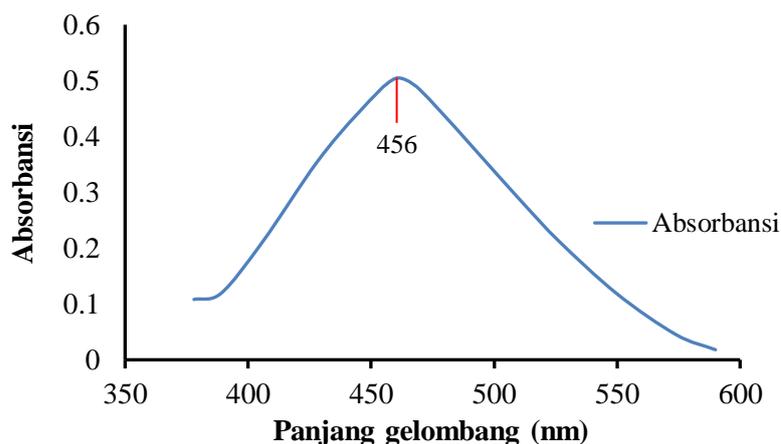
Prinsip kerja spektrofotometer berdasarkan hukum *Lambert Beer*, yaitu bila cahaya monokromatik melalui suatu media (larutan), maka sebagian cahaya tersebut diserap, sebagian dipantulkan, dan sebagian lagi dipancarkan. Sumber sinar polikromatis untuk sinar UV adalah lampu deuterium, sedangkan sinar tampak adalah lampu wolfram. Monokromator pada spektrofotometer UV-Vis menggunakan lensa prisma dan filter optik. Sel sampel berupa kuvet yang terbuat dari kuarsa atau gelas dengan lebar yang bervariasi. Detektor berupa detektor foto atau detektor panas atau detektor dioda foto, yang berfungsi menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel dan mengubahnya menjadi arus listrik. Arus listrik yang terbaca akan ditampilkan oleh monitor (Khopkar, 2003). Skema alat spektrofotometri UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema Alat Spektrofotometer UV-Vis (Khopkar, 2003)

Salah satu metode yang digunakan untuk mengatasi limbah fenol adalah metode spektrofotometri UV-Vis dengan menggunakan 4-Amino Antipirin sebagai reagen pengompleks untuk mengetahui kadar fenol yang terbuang ke dalam limbah industri (Venkateswaran *and* Palanivelu, 2006). Panjang gelombang maksimum fenol dicari dan ditentukan pada rentang panjang gelombang 400 nm sampai 600

nm. Pengukuran absorbansi larutan fenol dilakukan sebanyak tiga kali, hal ini bertujuan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Absorbansi yang semakin tinggi menunjukkan bahwa panjang gelombang yang diperoleh semakin baik. (Kiswandono dkk., 2019). Panjang gelombang maksimum fenol yang diperoleh pada penelitian ini yaitu 456 nm (Gambar 8). Panjang gelombang ini yang akan digunakan untuk penentuan konsentrasi fenol pada prosedur selanjutnya.



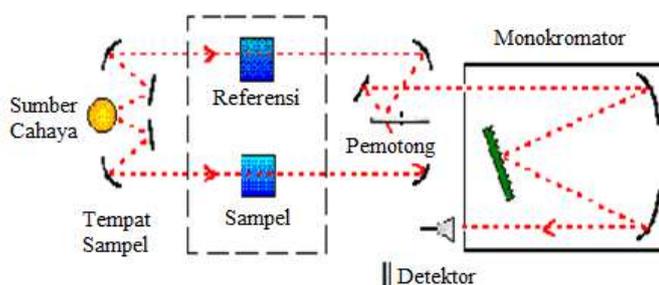
Gambar 8. Panjang Gelombang Maksimum Fenol

Panjang gelombang maksimum fenol yang telah diperoleh sesuai dengan Badan Standarisasi Nasional SNI 06-6989.21-2004 yaitu 460 ± 5 nm. Beberapa penelitian lain terkait dengan pengukuran panjang gelombang maksimum fenol telah dilakukan sebelumnya oleh Maslahat dan Kiswandono (2011), yaitu pada panjang gelombang 455 nm. Sunarsih (2019), memperoleh panjang gelombang maksimum fenol pada panjang gelombang 456 nm. Perbedaan panjang gelombang yang telah diperoleh ini dapat dipengaruhi oleh jenis dan kondisi dari spektrofotometer yang digunakan.

2.5.2 Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy (FTIR)

Fourier Transform Infra Red (FTIR) adalah metode yang digunakan untuk mengamati interaksi-interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik. Metode ini didasarkan pada absorpsi radiasi inframerah oleh sampel yang akan menghasilkan perubahan keadaan vibrasi dan rotasi dari molekul sampel (Amand

and Tullin, 1999). Tujuan karakterisasi dengan menggunakan FT-IR yaitu untuk mengetahui jenis-jenis vibrasi antar atom. Selain itu FT-IR juga digunakan untuk menganalisis senyawa organik dan anorganik serta analisis kualitatif dan analisa kuantitatif dengan melihat kekuatan absorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu (Hindryawati dan Alimuddin, 2010). Analisis kualitatif dilakukan dengan melihat bentuk puncak-puncak spektrumnya yang spesifik sesuai dengan gugus-gugus fungsional yang dimiliki oleh senyawa yang dianalisis. Sedangkan untuk analisis secara kuantitatif dilakukan menggunakan senyawa standar berdasarkan pada variasi konsentrasi lalu dibuat spektrumnya (Susila, 2019).



Gambar 9. Skema Instrumen FTIR (Dachriyanus, 2004)

Prinsip kerja FTIR adalah *infrared* yang melewati celah menuju sampel yang mana celah tersebut berfungsi untuk mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel, kemudian beberapa *infrared* diserap oleh sampel sedangkan yang lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar *infrared* lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim kekomputer (Thermo, 2001). Analisis menggunakan spektrometer FTIR memiliki beberapa kelebihan, diantaranya yaitu dapat digunakan pada semua frekuensi dari sumber cahaya secara simultan, sehingga analisis dapat dilakukan lebih cepat dari pada menggunakan cara *scanning*, sensitivitas FTIR lebih tinggi dari instrumentasi dispersi standar karena resolusinya lebih tinggi. Analisis menggunakan spektrofotometri FTIR dapat mengidentifikasi gugus fungsi suatu material organik (Hamdila, 2012).

Setiap senyawa organik memiliki gugus fungsi tertentu yang masing-masing gugus menunjukkan bilangan gelombang yang khas pada spektrum FTIR. Karakterisasi FTIR dilakukan pada hasil sambung silang senyawa pembawa dan sesudah polimerisasi yang bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam senyawa pembawa, sehingga dapat menunjukkan keberhasilan sintesis senyawa pembawa tersebut. Pada membran PIM karakterisasi FTIR dilakukan sebelum dan sesudah transpor, kemudian hasil dari karakterisasi tersebut akan menunjukkan spektrum serapan yang spesifik mengidentifikasi gugus fungsi yang terserap pada membran sebelum dan sesudah transpor (Sunarsih, 2019). Untuk memperoleh hal tersebut maka dibutuhkan tabel bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan. Bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan disajikan pada Tabel 1 (Dachriyanus, 2004).

Tabel 1. Bilangan Gelombang FTIR dari Berbagai Jenis Ikatan

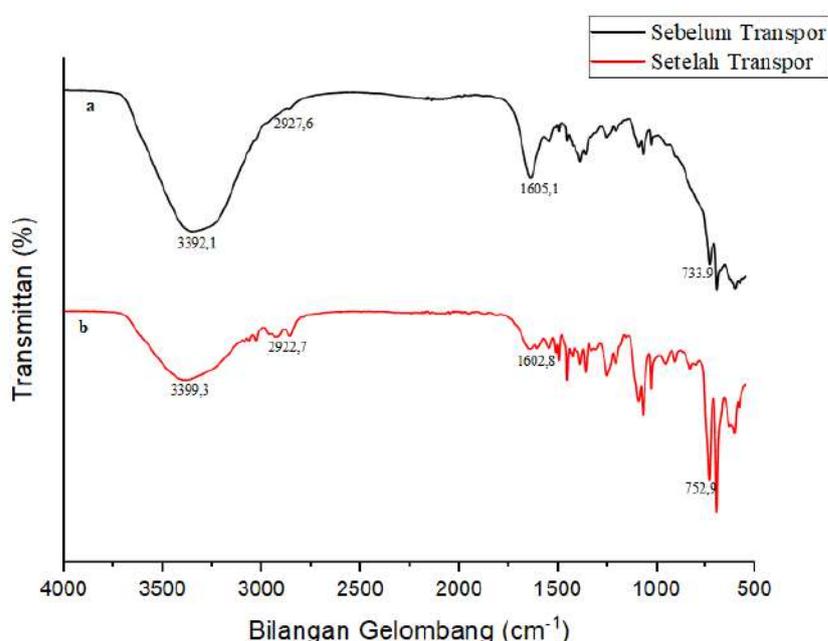
Bilangan gelombang (cm^{-1})	Jenis ikatan
3750 - 3000	Regangan O–H dan N–H
3000 - 2700	Regangan –CH ₃ , –CH ₂ , C–H dan C–H aldehyd
1900 - 1650	Regangan C=O (asam, aldehyd, keton, amida, ester dan anhidrida)
1675-1500	Regangan C=C (aromatik dan alifatik), dan C=N
1475-1300	C-H <i>bending</i>
1000-650	C=C-H, Ar-H <i>bending</i>

(Sumber: Dachriyanus, 2004)

Karakterisasi FTIR menunjukkan perbedaan gugus fungsi pada membran sebelum dan sesudah transpor sehingga dapat diketahui komponen yang hilang pada membran. Selain itu, komponen membran yang hilang juga dibuktikan dengan selisih berat membran sebelum dan sesudah transpor. Hilangnya komponen membran ini disebut dengan *membrane liquid (ML) loss*. Parameter transpor yang dievaluasi adalah variasi konsentrasi *plasticizer*, variasi jenis garam, variasi konsentrasi garam, pemakaian berulang dan umur membran. Komponen membran yang hilang bisa berasal dari DBE, PVC atau senyawa pembawa (Kiswando dkk., 2012). Membran PIM merupakan membran yang tidak dapat kering secara maksimal sehingga saat karakterisasi dengan IR, membran PIM

diduga masih mengandung air. Munculnya tiga puncak tajam pada daerah 1750 cm^{-1} - 2000 cm^{-1} diduga adalah milik PVC atau DBE. Ketiga puncak ini menjadi penting karena puncak ini merupakan salah satu komponen penyusun membran sehingga dapat memberikan tambahan informasi komponen membran mana saja yang hilang saat terjadinya proses transpor.

Sebelum membran digunakan untuk transpor fenol, terdapat puncak dalam spektra IR yang mengindikasikan adanya -OH stretching pada bilangan gelombang $\pm 3522\text{ cm}^{-1}$, $\text{-CH aromatik stretching}$ ($3062\text{-}3026\text{ cm}^{-1}$), $\text{-CH alkana stretching}$ ($2911\text{-}2844\text{ cm}^{-1}$), $\text{-C=C aromatik stretching}$ ($\pm 1602\text{ cm}^{-1}$), dan gugus benzena tersubstitusi 1,4 pada $829,76\text{ cm}^{-1}$ merupakan identifikasi dari gugus fungsi senyawa pembawa atau serapan milik senyawa pembawa (poli-BADGE) sebagai salah satu komponen penyusun membran. Setelah membran digunakan untuk transpor fenol, intensitas pada bilangan gelombang ini masih terlihat tetapi dengan intensitas yang rendah karena telah didominasi oleh air (Kiswandono, 2014). Berikut adalah hasil karakterisasi membran PIM sebelum dan sesudah transpor menggunakan spektrofotometer inframerah yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Spektra FT-IR membran PIM Poli-BADGE 3:1 sebelum dan sesudah transpor

Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa pada membran PIM sebelum transpor dan setelah transpor relatif tidak mengalami pergeseran gelombang. Serapan spesifik pada kedua gambar tersebut mengidentifikasi membran PIM setelah transpor masih mempunyai gugus fungsi yang sama dengan membran PIM sebelum transpor. Hasil perbandingan dari beberapa spektra menunjukkan, bahwa gugus fungsi pada daerah bilangan gelombang $400\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$ relatif tidak mengalami pergeseran maupun perbedaan intensitas, kemudian dari spektra tersebut juga terlihat adanya perubahan intensitas pada gugus -OH di mana terdapat perbesaran intensitas dan pelebaran puncak yang menunjukkan pengurangan gugus -OH. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat interaksi antara senyawa pembawa dan sisi aktif pada membran selama proses transpor.

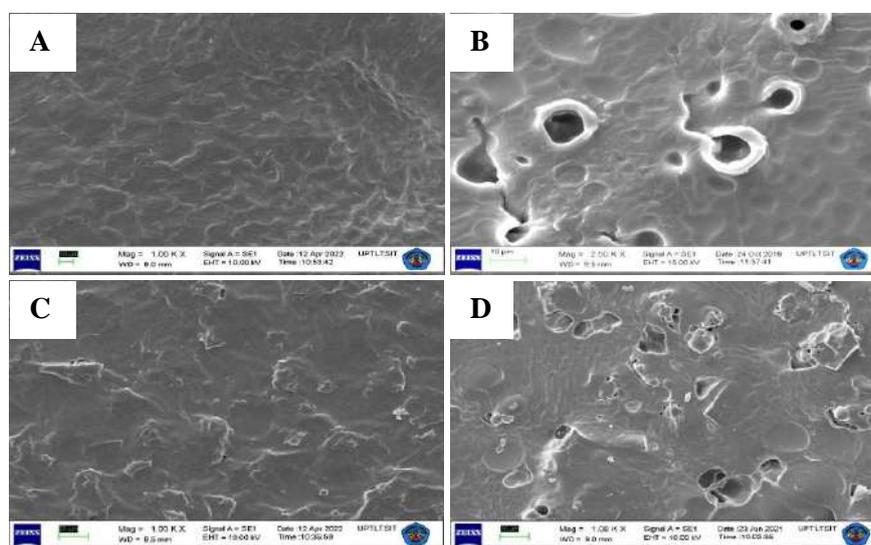
2.5.3 *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Metode analisis yang sangat penting dalam karakterisasi morfologi polimer adalah metode analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*. SEM merupakan instrumen penghasil berkas elektron pada permukaan spesimen target yang mengumpulkan dan menampilkan sinyal-sinyal yang diberikan oleh material target. Data yang diperoleh berasal dari permukaan atau lapisan yang tebalnya sekitar $20\text{ }\mu\text{m}$ dari permukaan (Wu *et al.*, 2007). SEM memiliki prinsip memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) di permukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan cara mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek (Skoog *et al.*, 2004). Pada SEM dapat diamati karakteristik bentuk, struktur, serta distribusi pori pada permukaan bahan.

Prinsip kerja alat ini adalah sumber elektron dari *filament* yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Apabila elektron tersebut berinteraksi dengan bahan (*specimen*) maka akan menghasilkan elektron sekunder dan sinar-X karakteristik (Smallman, 2000). Cara kerja SEM yaitu berkas elektron yang dihasilkan oleh penembak elektron terkondensasi di lensa kondensor dan terfokus sebagai titik yang jelas oleh lensa objektif. Koil pemindai yang diberi energi menyediakan medan magnet bagi sinar elektron. Berkas sinar elektron yang

mengenai sampel menghasilkan elektron sekunder dan kemudian dikumpulkan oleh detektor sekunder atau detektor *backscatter*. Gambar yang dihasilkan terdiri dari ribuan titik berbagai intensitas di permukaan *cathode ray tube* (CRT) sebagai topografi gambar. Pada sistem ini berkas elektron dikonsentrasikan pada spesimen, bayangannya diperbesar dengan lensa objektif dan diproyeksikan pada layar (Kroschwitz, 1990).

Kemampuan transpor fenol dapat dianalisis menggunakan SEM dimana jika sudah terjadi transport fenol maka akan ada komponen membran cair yang hilang karena terjadinya *leaching*. Terjadinya kehilangan komponen membran pada transpor fenol dapat diamati dengan hasil analisis SEM. Hasil SEM menunjukkan permukaan membran yang direkam setelah proses transpor, dapat dilihat dengan jelas keberadaan pori-pori terbuka dan tertutup dari membran. Kehadiran pori-pori membran terbuka menunjukkan terjadinya proses *leaching* (larut) komponen membran selama proses fenol transpor (Kiswandono *et al.*, 2019). Berikut adalah hasil karakterisasi morfologi permukaan membran PIM sebelum dan sesudah transpor fenol dengan menggunakan SEM yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Morfologi Hasil SEM dari Membran PIM (a,b) poli-BADGE 1:1 sebelum dan sesudah transpor dan (c,d) poli-BADGE 3:1 sebelum dan sesudah transpor

Berdasarkan hasil pada Gambar 11(a) dan 11(c) menunjukkan bahwa pada permukaan membran PIM sebelum transpor masih tertutup oleh *plasticizer*

sebagai media cairnya sedangkan pada Gambar 11(b) dan 11(d) menunjukkan pada permukaan membran PIM setelah transpor fenol terlihat tidak rata dan memiliki rongga (pori-pori). Menurut Zhao *et al* (2012), penggunaan membran untuk transpor memungkinkan komponen penyusun membran tersebut *leaching*. Komponen membran yang *leaching* ini akan mengakibatkan permukaan membran PIM menjadi berpori. *Leaching* dapat berasal dari senyawa *carrier*, membran dasar dan *plasticizer*. Hal ini diperkuat dengan adanya selisih berat membran sebelum dan setelah digunakan untuk transpor melalui penimbangan. Selisih berat membran ini disebut dengan *liquid membrane (LM) loss*. Setelah transpor, membran belum terlihat adanya permukaan membran yang berlubang karena tidak banyak komponen membran yang hilang sehingga memiliki ML loss yang rendah (Kiswando, 2014).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan pada November 2023 – Maret 2024, bertempat di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Karakterisasi *Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Bandung, dan analisis spektrofotometer UV- Vis dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah magnetic stirrer, magnetic bar, neraca digital analitik (Mettler Toledo AB54-S), pipet tetes, spatula, tabung reaksi, corong pisah, statif dan klem, satu set alat transpor fenol (chamber berdiameter 3,5 cm, *thickness gauge* (Mitutoyo 7301), pH meter (Metrohm 827), *Scanning Electron Microscope* (SEM), spektrofotometer UV-Vis, spektrofotometer *Fourier transform infrared* (FTIR), gelas ukur, gelas kimia, batang pengaduk, spatula, labu bulat, satu set alat refluks dan labu takar.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah poly-BADGE 3:1. Bahan kimia semua kualitas pure analysis produksi Merck yaitu Fenol (C_6H_5OH), 4-aminoantipirin (4-AAP), Dibenzil Eter (DBE), Polivinil Klorida (PVC), Tetrahidrofuran (THF), Natrium Hidroksida (NaOH), Kalium Klorida (KCl), Natrium Klorida (NaCl), Natrium Nitrat ($NaNO_3$), Natrium Sulfat (Na_2SO_4), Kalium Nitrat (KNO_3), Kloroform ($CHCl_3$), $K_4Fe(CN)_6$, Asam Klorida (HCl), Kalium Ferrisianida ($K_3[Fe(CN)_6]$), pH indikator, Buffer Fosfat, dan Kertas saring.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pengaruh Variasi Konsentrasi *Plasticizer*

Membran PIM dibuat dengan variasi konsentrasi *plasticizer* (DBE, Dibenzil Eter) Konsentrasi yang digunakan *plasticizer* adalah 3,21%; 3,28%; 3,32%; 3,39%; dan 3,42% (b/b) dengan massa DBE yang ditambahkan secara berurutan adalah 0,3032; 0,3100; 0,3132; 0,3200; dan 0,3232 g (Kiswando, 2014). Selanjutnya membran ditimbang terlebih dahulu sebelum digunakan untuk transport lalu dipasang antara fasa sumber dan fasa penerima pada pipa transpor. Fasa sumber diisi dengan 50 mL larutan fenol 60 ppm dengan pH 5,5 sedangkan fasa penerima diisi dengan 50 mL NaOH 0,1M. Pipa transpor ditutup dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah 9 jam, membran dilepas dan dikeringkan selama 24 jam. Untuk mengetahui berat membran setelah transpor, membran ditimbang. Konsentrasi fenol yang terkandung dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 456 nm. Membran PIM yang telah digunakan untuk transpor fenol dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

3.3.2 Pengaruh Variasi Jenis Garam

Membran PIM dengan komposisi optimum *plasticizer* ditimbang sebelum digunakan, kemudian ditempatkan pada tengah pipa transpor fenol. Pada fasa sumber (5 chamber) diisi 50 mL fenol 60 ppm pH 5,5 dengan konsentrasi masing-masing garam 0,01M (Kontrol, NaCl; NaNO₃; Na₂SO₄; KNO₃) sedangkan pada fasa penerima diisi 50 mL NaOH 0,1M. Pipa transpor ditutup dan diaduk menggunakan pengaduk magnet pada fasa sumber dan fasa penerima selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah 9 jam, membran PIM dilepas dan dikeringkan selama 24 jam. Untuk mengetahui berat membran setelah transpor, membran PIM ditimbang. Konsentrasi fenol pada fasa penerima dan fasa sumber dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 456 nm.

3.3.3 Pengaruh Variasi Konsentrasi Garam pada Fasa Sumber

Transpor fenol dengan penambahan garam pada fasa sumber Membran PIM dengan komposisi *plasticizer* optimum ditimbang sebelum digunakan kemudian ditempatkan pada tengah pipa transpor fenol. Pada fasa sumber diisi 50 mL fenol 60 ppm pH 5,5 yang telah ditambahkan garam dengan variasi konsentrasi 0 M; 0,001 M; 0,01 M; 0,1 M dan 1 M dan pada fasa penerima diisi 50 mL NaOH 0,1 M. Pipa transpor ditutup dan diaduk menggunakan pengaduk magnet pada fasa sumber dan fasa penerima selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah 9 jam, membran PIM dilepas dan dikeringkan selama 24 jam. Untuk mengetahui berat membran setelah transpor, membran PIM ditimbang. Konsentrasi fenol pada fasa penerima dan fasa sumber dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 456 nm.

3.3.4 Pengaruh Variasi Konsentrasi Garam pada Fasa Penerima

Transpor fenol dengan penambahan garam pada fasa sumber dan fasa penerima. Membran PIM dengan komposisi optimum jenis garam ditimbang sebelum digunakan kemudian ditempatkan pada tengah pipa transpor fenol. Pada fasa sumber diisi dengan 50 mL larutan fenol 60 ppm dengan pH 5,5 sedangkan pada fasa penerima diisi dengan larutan garam dengan variasi konsentrasi 0 M; 0,001 M; 0,01 M; 0,1 M dan 1 M dalam 50 mL NaOH 0,1 M. Pipa transpor ditutup dan diaduk menggunakan pengaduk magnet pada fasa sumber dan fasa penerima selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah 9 jam, membran PIM dilepas dan dikeringkan selama 24 jam. Untuk mengetahui berat membran setelah transpor, membran PIM ditimbang. Konsentrasi fenol pada fasa penerima dan fasa sumber dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 456 nm.

3.3.5 Pengaruh Pemakaian Berulang Membran PIM

Membran PIM dengan komposisi optimum *plasticizer* ditimbang sebelum digunakan kemudian ditempatkan pada tengah pipa transpor fenol. Pada kolom fasa sumber diisikan 50 mL fenol 60 ppm dengan pH yang telah diatur menjadi 5,5 dan pada kolom fasa penerima diisikan 50 mL NaOH 0,1 M. Pipa transpor ditutup dan diaduk menggunakan pengaduk magnet pada fasa sumber dan fasa penerima selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah 9 jam membran PIM dilepas, dikeringkan selama 24 jam, dan ditimbang. Konsentrasi fenol pada fasa penerima dan fasa sumber dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 456 nm.

- Membran PIM digunakan kembali untuk transpor fenol dengan lima kali pengulangan menggunakan larutan fenol yang baru.
- Membran PIM dicuci dengan akuades selama 30 menit setelah itu membran PIM digunakan kembali untuk transpor fenol dengan lima kali pengulangan menggunakan larutan fenol yang baru.

3.3.6 *Lifetime*

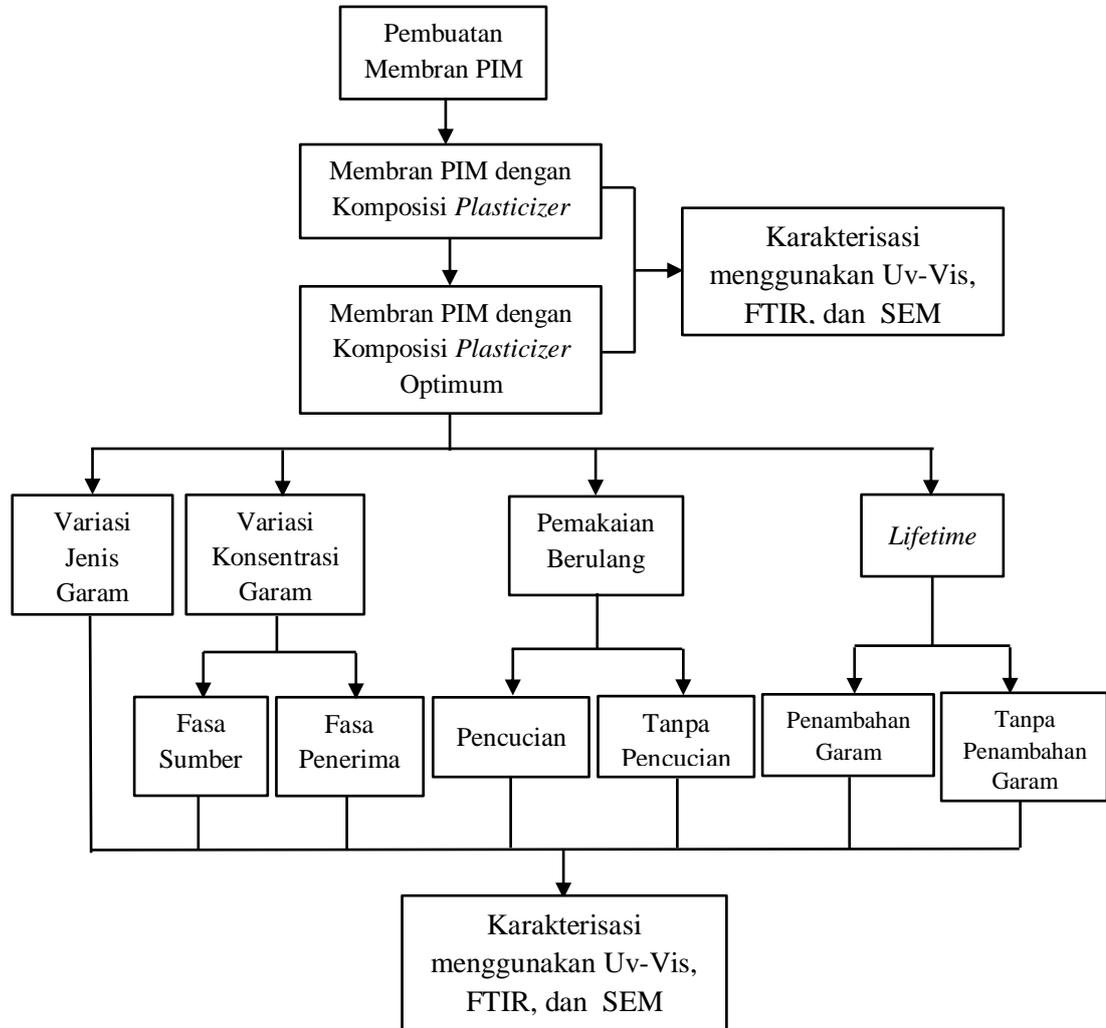
Membran PIM dengan komposisi optimum *plasticizer* ditempatkan pada tengah pipa transport fenol, kemudian pada kolom fasa sumber diisi 50 mL fenol 60 ppm pH 5,5 dengan beberapa variasi yaitu :

- a. Tanpa penambahan garam
- b. Penambahan garam Na_2SO_4 0,01 M
- c. penambahan garam KNO_3 0,01 M

Pada fasa penerima diisi 50 mL NaOH 0,1 M. Pipa transpor ditutup dan diaduk menggunakan pengaduk magnet pada fasa sumber dan fasa penerima. *Lifetime* ditentukan dengan cara mengukur nilai pH pada fasa sumber. Naiknya nilai pH pada fasa sumber mengindikasikan bahwa membran PIM sudah mengalami kebocoran. pH pada fasa sumber dicek secara berkala hingga pH pada fasa sumber $\pm 9,0$, setelah itu proses transport fenol dihentikan (Zha *et al.*, 1995; Kiswando *et al.*, 2022).

3.3.7 Diagram Alir Penelitian

Secara keseluruhan penelitian ini dirangkum dalam diagram alir penelitian yang ditunjukkan dalam Gambar 12.



Gambar 12. Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan pembahasan yang telah diuraikan, maka diperoleh beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Stabilitas membran PIM dicapai pada penambahan *plasticizer* 0,3132 g dengan persentase fenol yang berhasil tertransport ke fasa penerima yaitu sebesar 60,84%.
2. Penambahan garam NaCl pada fasa sumber dan fasa penerima dapat meningkatkan stabilitas membran PIM dengan menurunkan persentase *ML loss*.
3. Membran PIM yang mengandung Poli-BADGE 3:1 dapat digunakan untuk transport fenol sebanyak lima kali pengulangan meskipun persentase fenol yang berhasil tertransport di fasa penerima mengalami penurunan.
4. Penambahan garam KNO₃ pada transport fenol dapat memperpanjang umur membran secara signifikan hingga 61 hari dibandingkan dengan garam Na₂SO₄ atau tanpa penambahan garam.

5.2 Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui kemampuan dan ketahanan membran PIM menggunakan senyawa pembawa lain dalam mengolah limbah fenol dan mengembangkan metode membran PIM yang mengandung Poli-BADGE 3:1 pada jenis limbah lain selain fenol.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S. 2006. Teknologi Membran Dalam Pengolahan Limbah Cair. *Bulletin Penelitian*. 28(1) : 18-24.
- Alva, V. A., and Peyton, B. M. 2003. Phenol and Catechol Biodegradation by the haloalkaliphile *Halomonas campisalis*: Influence of pH and Salinity. *Environmental Science and Technology*. 37(19) : 4397– 4402.
- Amand, L.A., and C.J. Tullin. 1999. *The Theory Behind FTIR Analysis: Application Examples From Measurement at the 12 MW Circulating Fluidized Bed Boiler at Chalmers*. Dept. of Energy Conversion Chalmers University of Technology. Gitenborg, Sweden.
- Aufa, R. 2017. *Teknik Penyisihan Fenol dari Air Limbah*. Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional SNI 06-6989.21-2004. *Air dan Air Limbah-Bagan 21: Cara Uji Kadar Fenol Secara Spektrofotometri*.
- Bartsch, R.A., and Way, J.D. 1996. *Chemical Separations with Liquid Membranes. CS Symposium Series 642*. American Chemical Society. Washington.
- Chen, Y., Xiong, K., Shen, S., Wang, H., Zhou, S., Li, L. 2018. Salt Effect on the Liquid–Liquid Equilibrium of the Ternary (Water + Phenol + Methyl 73 Isobutyl Ketone) System: Experimental Data and Correlation. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 27, 168–173.
- Cholid, M.D. 2016. Adsorpsi Selektif Molekuler Fenol oleh Polieugenol. *Disertasi*. Gadjah Mada University. Yogyakarta.
- Cichy, W., and J. Szymanowski. 2002. Recovery of Phenol from Aqueous Streams in Hollow Fiber Modules. *Environmental Science & Technology*. 36(9) : 2088 – 2093.
- Dachriyanus. 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*. Universitas Andalas. Sumatera Barat.
- Dewi, N.P. 2022. Transpor Fenol Menggunakan Poli-BADGE 3:1 Sebagai Senyawa Pembawa dengan Menggunakan Metode PIM (*Polymer Inclusion Membrane*). *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Dzygiel, P., and Wieczorek, P. 2010. Stereoselective Transport of Amino Acids and Peptides Through Liquid Membranes. *Journal of Chemistry*. 33.

- Ghalami-Choobar, B., Fazli, M., HasannezhadSabersalimi, F. 2016. Salt Effect on the Liquid-Liquid Equilibrium of (Water + Diethanolamine + Isobutanol/Cyclohexanol) Systems at $T = (298.2 \text{ and } 308.2) \text{ K}$. *Journal of Molecular Liquids*. 222, 558–563.
- Guenther, E. 1990. *Minyak Atsiri Terjemahan Oleh S. Ketaren*. UI Press. Jakarta.
- Hamdila, J.D. 2012. Pengaruh Variasi Massa Terhadap Karakteristik Fungsionalitas dan Termal Komposit MgO-SiO₂ Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Katalis. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Hameed, B. H., and A. A. Rahman. 2008. Removal of Phenol from Aqueous Solutions by Adsorption onto Activated Carbon Prepared from Biomass Material. *Journal of Hazardous Materials*. 160: 576–581.
- Handayani dan Wuryanti. 2001. Sintesis Polieugenol dengan Katalis Asam Sulfat, *Jurnal Ilmu Dasar*. 2 (20) :103-110.
- Hikmah, S.A., Rahim, E.A., dan Musafira, M. 2018. Sintesis dan Karakterisasi Polieugenol dari Eugenol menggunakan Katalis H₂SO₄ – CH₃COOH. *Jurnal Riset Kimia*. 4(3) : 285 – 296.
- Hindryawati, N., dan Alimuddin. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi dengan Menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH). *Jurnal Kimia Mulawarman*. 7: 75–77.
- Ketaren, S. 1985. *Pengantar Teknologi Minyak Atsiri*. Balai Pustaka. Jakarta.
- Khoiruddin, K., Jenderal, U., Yani, A., dan Hakim, A. N. 2010. *Diktat Pengantar Teknologi Membran*. Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Khopkar, S.M. 2003. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press. Jakarta.
- Kislik, V.S. 2010. *Liquid Membranes: Principles and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment*. Elsevier. Inggris.
- Kiswandono, A. A. 2014. Kajian Transpor Fenol Melalui Membran Berbasis Polieugenol Tertaut Silang Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane (PIM). *Disertasi*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Kiswandono, A. A., Girsang, E., Pulungan, Ahmad Nasir Sihombing, J. L., Siswanta, D., Aprilita, N. H., Santosa, S. J., dan Hayashita, T. 2015. Kajian Spektra FTIR pada Membran Kopolimer (Eugenol-Divinilbenzena), Co-Edvb Sebagai Senyawa Pembawa untuk Transpor Fenol. Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains (SNPS), (November), 543–554.
- Kiswandono, A. A. 2016. Metode membran cair untuk pemisahan fenol. *Analit : Analytical and Environmental Chemistry*. 1: 74-88.
- Kiswandono, A.A., Siswanta, D., Aprilita, N.H., & Santosa, S.J., 2012. Transport of Phenol Through Inclusion Polymer Membrane (PIM) using Copoly (eugenol-DVB) as Membrane Carriers. *Indonesian Journal of Chemistry*. 12(2): 105-112.
- Kiswandono, A.A., Mudasir., Siswanta, D., Aprilita, N.H., Santosa, S.J., and Hadi, S. 2019. Synthesis and Characterization of Co-EDAF and Its Application Test

- as a Carrier Membrane for Phenol Transport using Polymer Inclusion Membrane (PIM). *Res. J. Chem. Environ.* 23(5).
- Kiswandono, A.A., Mudasir., Siswanta, D., Aprilita, N.H., Santosa, S.J., and Hadi, S l. 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 – 48.
- Kiswandono, A.A., Nusantari, C.S., Rinawati, R., and Hadi, S. 2022. Optimization and Evaluation of Polymer Inclusion Membranes Based on PVC Containing Copoly-EDVB 4% as a Carrier for the Removal of Phenol Solutions. *Membranes.* 12 : 1 – 13.
- Kocherginsky, N.M., Yang, Q., and Seelam, L. 2007. Recent Advances in Supported Liquid Membrane Technology. *Separation and Purification Technology.* 53 (2) : 171–177.
- Kroschwitz, J. I. 1990. *Polymer Characterization and Analysis.* John Willey and Sons Inc. USA.
- Kusumastuti, A. 2007. *Pemulihan Fenol dari Air Limbah Dengan Membran Cair Emulsi (Abstrak).* Tesis Magister Teknik kimia, Master Theses.
- Lestari, D., Wisnu, S., dan Eko, B. S. 2012. Preparasi Nanokomposit ZnO/TiO₂ dengan Sonokimia serta Uji Aktivitasnya Untuk Fotodegradasi Fenol. *Indonesian Journal of Chemical Science.* 1 (1):8-12.
- Li, J. M., Meng, X. G., Hu, C. W., and Du, J. 2009. Adsorption of Phenol, p Chlorophenol and p-Nitrophenol onto Functional Chitosan. *Bioresource Technology.* 100(3) : 1168–1173.
- 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: 785-794.
- Malusis, M. A., Maneval, J. E., Barben, E. J., Shackelford, C. D., and Daniels, E. R. 2010. Influence of Adsorption on Phenol Transport Through Soil-Bentonite Vertical Barriers Amended with Activated Carbon. *Journal of Contaminant Hydrology.* 116 (1-4) : 58 – 72.
- Mortaheb, H.R., Amini, M.H., Sadeghian, F., Mokhtarani, B., and Daneshyar, H. 2008. Study on a New Surfactant for Removal of Phenol from Wastewater by Emulsion Liquid Membrane. *J. Hazard. Mater.* 160 : 582–588.
- Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membranes Technology, 2nd edition.* Kluwer Academic Publisher. Netherlands.
- Ngadiwiyana N. 2005. Polimerisasi Eugenol dengan Katalis Asam Sulfat Pekat. *Kimia Sains dan Aplikasi.* 8: 22-32.
- 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): *Review, J. Membr. Sci.* 281 :7–41.

- Oshita, K., Takayanagi, T., Oshima, M., & Motomizu, S. 2007. Adsorption behavior of cationic and anionic species on chitosan resins possessing amino acid moieties. *Analytical Sciences*. 23(12): 1431-1434.
- Pereira, N., A. St John, R.W. Cattrall, J. M. Perera, and S. D. Kolev. 2009. Influence of The Composition of Polymer Inclusion Membranes on Their Homogeneity and Flexibility. *Desalination*. 236: 327–333.
- Public Health England. 2016. *Phenol Toxicological Overview*. PHE. England.
- Qin, Y., S. Peper, and E. Bakker. 2002. Plasticizer-Free Polymer Membrane Ion-Selective Electrodes Containing A Methacrylic Copolymer Matrix. *Electroanalysis*. 14: 1375–1381.
- Rahim, E.A. 2016. Sintesis dan Fungsi Polimer Eugenol-Silikon. *Journal of Natural Science*. 5(1) : 97 – 100.
- Skoog, D. A., West, F. J. Holler, and S. R. C. 2004. *Fundamental of Analytical Chemistry*. Brooks Cool. USA.
- Slamet, S. Bismo, R. Arbianti, dan Z. Sari. 2006. Penyisihan Fenol dengan Kombinasi Proses Adsorpsi dan Fotokatalisis Menggunakan Karbon Aktif dan TiO. *Jurnal Teknologi*. 20: 303–311.
- Smallman, R.E. 2000. *Metalurgi Fisik Modern Edisi Keempat*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Somaatmadja, D. 2001. Pengambilan Oleoserin Jahe Dengan Cara Ekstraksi Pelarut. *Skripsi*. Jurusan Hasil Pertanian, IPB. Bogor.
- Sousa, A.R., and Trancoso, M.A. 2009. Validation of An Environmental Friendly Segmented Flow Method for The Determination of Phenol Index in Waters as Alternative to The Conventional One. *Talanta*. 79: 796-803.
- Suah, F. B. M., and Ahmad, M. 2017. Preparation and Characterization of Polymer Inclusion Membrane Based Optode for Determination of Al³⁺ Ion. *Analytica Chimica Acta*. 951: 133–139.
- Sunarsih, F. 2019. Sintesis Kopolimer Eugenol Etilen Glikol Dimetakrilat (Ko-EGDMA) sebagai Senyawa Pembawa Menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM). *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung
- Susila, K. 2019. *Pemisahan Dengan Membrane*. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta. 5-18.
- Swantomo, D., N.A. Kundari, dan S.L. Pambudi. 2009. Adsorpsi Fenol dalam Limbah dengan Zeolit Alam Terkalsinasi. *Proc. Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta*. 705.
- Thermo, N. 2001. *Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry*. Thermo Nicolet Corporation, USA.
- Ulfia, K.N., Khabibi., 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.

- Venkateswaran, P., and Palanivelu, K. 2006. Recovery of Phenol from Aqueous Solution by Supported Liquid Membrane Using Vegetable Oils as Liquid Membrane. *J. Hazard. Mater.* B131 : 146 – 152.
- Wu, C.F., Chen, Y.L., Chen, C.C., Yang, T.T., and Chang, P.E. 2007. Applying Open-path Fourier Transform Infrared Spectroscopy for Measuring Aerosols. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering.* 42: 1131–1140.
- Yim, S. K., S. J. Yun. and C. H. Yun. 2004. A Continuous Spectrophotometric Assay for NADPH-cytochrome P450 Reductase Activity Using 1,1 Diphenyl-2-Picrylhydrazyl. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology.* 37: 629–633.
- Yulianto, A. 2011. Penurunan Fenol Melalui Proses Adsorptive Micellar Flocculation. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan.* 3 : 66–72.
- Zha, F. F., Fane, A. G., and Fell, C. J. D. 1995. Instability Mechanisms of Supported Liquid Membranes in phenol transport process. *Journal of Membrane Science.* 107(1-2) : 59–74.