

**OPTIMASI DAN EVALUASI
KOPOLI (EUGENOL-ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT) 10%
SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA UNTUK TRANSPOR FENOL
MENGUNAKAN METODE *SUPPORTED LIQUID MEMBRANE* (SLM)**

(Tesis)

Oleh

EVA NURYANA

2127011008



**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

OPTIMASI DAN EVALUASI KOPOLI (EUGENOL-ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT) 10% SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA UNTUK TRANSPOR FENOL MENGUNAKAN METODE *SUPPORTED LIQUID MEMBRANE* (SLM)

Oleh

EVA NURYANA

Produksi dan pemanfaatan senyawa fenol yang sangat luas mempunyai potensi untuk terbuang ke lingkungan perairan sebagai polutan organik. Teknologi membran cair semakin banyak digunakan sebagai teknologi alternatif untuk proses pemisahan dan *recovery* fenol. Salah satu jenis metode membran cair yang digunakan yaitu membran cair berpendukung (*Supported Liquid Membrane*, SLM) yang menggunakan senyawa pembawa sebagai fasilitator pemisahan fenol. Pada penelitian ini akan dilakukan uji optimasi dan uji evaluasi transpor fenol menggunakan senyawa pembawa Ko-EEGDMA 10% dengan metode SLM. Beberapa parameter yang dapat mempengaruhi proses transpor fenol pada uji optimasi yang akan diteliti yaitu pH fasa sumber, konsentrasi fasa penerima, waktu *immersion*, konsentrasi senyawa pembawa dan waktu transpor fenol, sedangkan uji evaluasi membran SLM meliputi kecepatan pengadukan, variasi jenis garam, variasi konsentrasi garam, pemakaian berulang dan umur membran (*lifetime*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa transpor fenol menggunakan senyawa pembawa Ko-EEGDMA 10% dengan metode SLM memiliki kondisi optimumnya yaitu pada pH fenol 6,5; konsentrasi NaOH 0,1 M; waktu *immersion* 60 menit; konsentrasi senyawa pembawa 0,01 M dan waktu transpor selama 24 jam dengan persentase fenol yang tertranspor sebesar 83,96%. Stabilitas membran SLM dicapai pada kecepatan pengadukan 900 rpm dengan persentase fenol yang berhasil tertranspor ke fasa penerima sebesar 85,54%. Penambahan garam NaNO₃ 0,01 M pada fasa sumber menunjukkan hasil transpor yang lebih tinggi dibandingkan garam NaCl 0,01 M dan Na₂SO₄ 0,01 M. Penambahan garam KNO₃ 0,1 M pada saat *lifetime* difasa sumber membuat membran SLM menjadi lebih stabil karena dapat meningkatkan umur membran hingga lebih dari 12 hari. Hasil pengujian ketahanan

membran dengan pemakaian berulang menunjukkan bahwa membran SLM dapat digunakan untuk transpor fenol lebih dari tiga kali pemakaian.

Kata kunci: Fenol, Ko-EEGDMA, *Supported Liquid Membrane* (SLM).

ABSTRACT

OPTIMIZATION AND EVALUATION COPOLY (EUGENOL-ETHYLEN GLYCOL DIMETHACRYLATE) 10% AS CARRIER COMPOUNDS FOR PHENOL TRANSPORT USING SUPPORTED LIQUID MEMBRANE (SLM) METHOD

By

EVA NURYANA

The production and utilization of phenolic compounds which are very broad have the potential to be discharged into the aquatic environment as organic pollutants. Liquid membrane technology is increasingly being used as an alternative technology for phenol separation and recovery processes. One type of liquid membrane method used is supported liquid membrane (SLM) which uses a carrier as a facilitator for phenol separation. In this research, optimization tests and evaluation tests for phenol transport will be carried out using 10% Co-EEGDMA carrier using the SLM method. Some of the parameters that can affect the phenol transport process in the optimization test that will be studied are the pH of the source phase, the concentration of the receiving phase, immersion time, the concentration of the carrier and the phenol transport time, while the evaluation test for SLM membranes includes stirring speed, variations in salt types, variations in salt concentrations, repeated use and membrane lifetime. The results showed that the transport of phenol using 10% Co-EEGDMA carrier with the SLM method has optimum conditions at phenol pH 6.5; concentration of 0.1 M NaOH; immersion time 60 minutes; carrier concentration of 0.01 M and transport time for 24 hours with the percentage of phenol transported was 83.96%. The stability of the SLM membrane was achieved at a stirring speed of 900 rpm with the percentage of phenol that was successfully transported to the receiving phase of 85.54%. The addition of NaNO₃ 0,01 M salt to the source phase showed higher transport results than NaCl 0,01 M and Na₂SO₄ 0,01 M salts. The addition of 0.1 M KNO₃ salt during its lifetime in the source phase makes the SLM membrane more stable because it can increase the lifetime to more than 12 days. The results of the repeated use test indicated that the SLM membrane could be used for phenol transport more than three times.

Keywords: Phenol, Co-EEGDMA, Supported Liquid Membrane (SLM).

**OPTIMASI DAN EVALUASI
KOPOLI (EUGENOL-ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT) 10%
SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA UNTUK TRANSPOR FENOL
MENGUNAKAN METODE *SUPPORTED LIQUID MEMBRANE* (SLM)**

Oleh

Eva Nuryana

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER SAINS

Pada

**Program Studi Magister Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Tesis : **OPTIMASI DAN EVALUASI KOPOLI
(EUGENOL-ETILEN GLIKOL
DIMETAKRILAT) 10% SEBAGAI
SENYAWA PEMBAWA UNTUK TRANSPOR
FENOL MENGGUNAKAN METODE
SUPPORTED LIQUID MEMBRANE (SLM)**

Nama Mahasiswa : **Eva Nuryana**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2127011008

Program Studi : Magister Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2

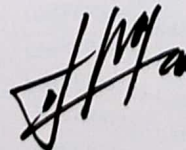


Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Sc.
NIP. 197007052005011003



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

2. Ketua Program Studi Magister Kimia
FMIPA Unila

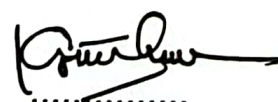


Dr. Nurhasanah, S.Si., M.Si.
NIP. 197412111998022001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



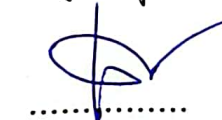
Sekretaris : Dr. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si.



Penguji
Bukan Pembimbing 1 : Prof. Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.



Bukan Pembimbing 2 : Dr. Sonny Widiarto, M.Sc.



Bukan Pembimbing 3 : Prof. Sutopo Hadi, Ph.D.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam


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

NIP. 197110012005011002

3. Direktur Program Pascasarjana


Prof. Dr. Jr. Murhadi, M.Si.

NIP. 196403261989021001

Tangga Lulus Ujian Tesis: 28 Juli 2023

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Eva Nuryana
Nomor Pokok Mahasiswa : 2127011008
Program Studi : Magister Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Tesis yang berjudul:

**“OPTIMASI DAN EVALUASI
KOPOLI (EUGENOL-ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT) 10%
SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA UNTUK TRANSPOR FENOL
MENGUNAKAN METODE *SUPPORTED LIQUID MEMBRANE* (SLM)”**

tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, 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. Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 28 Juli 2023
Yang Menyatakan



Eva Nuryana
NPM. 2127011008

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Eva Nuryana, lahir di Panaragan pada tanggal 27 April 1983. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan di SD Negeri Sinar Jaya Tegal Mukti lulus pada tahun 1995, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 1 Menggala lulus pada tahun 1998, dan selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Tulang Bawang Udik lulus pada tahun 2001.

Pada tahun 2001 penulis melanjutkan Pendidikan di Perguruan Tinggi Negeri Universitas Lampung, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung pada Program Studi Pendidikan Kimia dan meraih gelar Sarjana Pendidikan (S.Pd) pada tahun 2005. Penulis telah mengabdikan diri menjadi guru kimia di MAN 1 Bandar Lampung sejak tahun 2007 hingga saat ini. Pada tahun 2021, penulis tercatat sebagai mahasiswa Pascasarjana Program Studi Magister Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Penulis melakukan penelitian sebagai bahan penyusun tugas akhir di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan Magister Sains pada bulan Juli tahun 2023 dengan tesis yang berjudul “Optimasi dan Evaluasi Kopoli (Eugenol-Etilen Glikol Dimetakrilat) 10% Sebagai Senyawa Pembawa untuk Transpor Fenol Menggunakan Metode *Supported Liquid Membrane (SLM)*”.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Ku persembahkan karya sederhana ini kepada

Suami dan anak-anakku, trimakasih atas segala perhatian, pendampingan, kesabaran, motivasi, dan doa-doa yang tulus serta waktu yang telah tersita demi menuntaskan pendidikan ini, sungguh kalian adalah penyokong terbaik dalam perjuangan ini.

Ibu tercinta sebagai rasa terimakasih yang tak terhingga untuk setiap motivasi dan untaian doa yang tak terputus, serta teruntuk ayah yang telah tenang disisi Allah, panutan hidupku, alhamdulillah putrimu telah menyelesaikan salah satu keinginan mu, terimakasih telah menjadi inspirasi dalam hidupku.

Seluruh keluarga besar terutama adik-adikku Yusep, Lisa dan Alex terima kasih atas dukungan dan doanya

Seluruh sahabat, kerabat, dan teman-teman terutama Anisa Rahmawati dan Nurhuda yang telah memberikan banyak bantuan, dukungan, semangat, saran dan motivasi.

Almamater tercinta Universitas Lampung

MOTTO

**Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan
(QS. Al- Insyirah : 5)**

**Bukan karena kita yang hebat tapi karena Allah
yang memudahkan dan karena tulusnya doa
orang-orang disekitar kita
(*Eva Nuryana*)**

SANWACANA

Alhamdulillah segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan segala bentuk rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tesis ini. Shalawat serta salam teruntuk Nabi Muhammad SAW, semoga kita termasuk umatnya yang mendapat *syafa'at* beliau di *yaumul akhir* nanti, *aamiin yarabbal'alaamiin*.

Tesis dengan judul “Optimasi dan Evaluasi Kopolimer (Eugenol-Etilen Glikol Dimetakrilat) 10% Sebagai Senyawa Pembawa Untuk Transpor Fenol Menggunakan metode *Supported Liquid Membrane (SLM)*” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains (M.Si) pada Program Studi Magister Kimia, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Penyelesaian tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang amat sangat besar dan rasa hormat yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Sc., selaku dosen pembimbing I atas segala kebaikan, ilmu, motivasi, keikhlasan, kesabaran dan bimbingan sehingga penulis bisa menyelesaikan penelitian dan tesis ini dengan baik. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan keberkahan atas semua yang telah Bapak berikan, *aamiin*.

2. Ibu Dr. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si, selaku dosen pembimbing II atas segala saran, nasihat, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis dalam perencanaan dan penyelesaian tesis ini. Semoga Allah senantiasa memberikan ridho-Nya dan membalas semuanya dengan kebaikan.
3. Ibu Prof. Dr. Kamisah D Pandiangan, M.Si., bapak Dr. Sonny Widiarto, M.Sc., dan Bapak Prof. Sutopo Hadi, Ph.D., selaku dosen penguji atas segala kritik, saran dan ilmu yang bermanfaat yang telah diberikan kepada penulis, sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga Allah memberikan keberkahan atas semua yang sudah diberikan.
4. Ibu Dr. Nurhasanah, S.Si., M.Si., selaku Ketua Program Studi Magister Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Heri Satri, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila atas segala ilmu, bimbingan dan pengalaman yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan Magister di Universitas Lampung. Semoga Allah SWT senantiasa membalas kebaikan-kebaikan Bapak dan Ibu.
7. Ibu Dr. Rinawati, S.Si., M.Si., selaku Kepala Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi atas izin penggunaan laboratorium yang telah diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan baik.
8. Seluruh laboran, staf, dan karyawan FMIPA Universitas lampung atas bantuannya selama ini.

9. Teman-teman *Membrane Research*, Anisa Rahmawati, Nurhudawati, Annur dan yang lainnya, untuk semua bantuan, dukungan, kesabaran, keikhlasan, dan pengalamannya selama perjalanan menuju kelulusan.
10. Teman-teman Magister Kimia 2021, *mba* Rahma, *mba* Dayah, Purna, Ayu, Siwi, Laila, Azizah, Diska, Hanisa, Caca atas *sharing* yang sangat membantu
11. Keluarga besar MAN 1 Bandar Lampung, atas doa dan dukungannya kepada penulis
12. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan tesis ini. Terima kasih atas segala ketulusan, kebaikan dan do'a. Mohon maaf jika penulis tidak bisa menyebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT membalas kebaikan yang telah diberikan kepada penulis.

Bandar Lampung, Juli 2023

Penulis,

Eva Nuryana

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iv
MENGESAHKAN	vii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	viii
RIWAYAT HIDUP	ix
MOTTO	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	6
C. Manfaat Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Limbah Fenol dan Metode Penanggulangannya.....	7
B. Metode Pemisahan Membran	10
C. Membran Cair Berpendukung (<i>Supported Liquid Membrane, SLM</i>)	14
D. Senyawa Pembawa.....	17
E. Eugenol	18
F. Kopolimer (Eugenol-EGDMA)	20
G. Karakterisasi dan Analisis.....	22
1. Spektrofotometer FTIR (<i>Fourier Transform Infra Red</i>).....	22
2. <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	25
3. Spektrofotometri Ultraviolet-Visible (UV-Vis).....	26
III. METODE PENELITIAN	29

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	29
B. Alat dan Bahan.....	29
1. Alat.....	29
2. Bahan.....	30
C. Prosedur Penelitian	30
1. Perendaman Membran SLM (<i>Immersion</i>)	30
2. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Fenol	30
3. Pengukuran Konsentrasi Fenol Dalam Sampel.....	31
4. Optimasi Transpor Fenol	31
5. Evaluasi Membran SLM	33
6. Diagram Alir Penelitian	36
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
A. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum	37
B. Optimasi Transpor Fenol	38
1. Variasi pH Fenol pada Fasa Sumber.....	39
2. Variasi Konsentrasi NaOH pada Fasa Penerima.....	41
3. Variasi Waktu Perendaman Membran SLM (<i>Immersion</i>)	43
4. Variasi Konsentrasi Senyawa Pembawa	45
5. Variasi Waktu Transpor	47
C. Evaluasi Membran SLM.....	49
1. Variasi Kecepatan Pengadukan.....	49
2. Variasi Jenis Garam	51
3. Variasi Konsentrasi Garam	54
4. Pemakaian Berulang.....	57
5. Umur Membran SLM (<i>Lifetime</i>).....	58
D. Karakterisasi Membran SLM.....	62
1. Spektrofotometer FTIR (<i>Fourier Transform Infra Red</i>).....	62
2. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	65
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
A. Kesimpulan	67
B. Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN.....	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skema pemisahan dengan menggunakan metode membran.....	12
2. Tiga jenis membran cair, yaitu ELM, BLM, dan SLM. F: fasa sumber; R: fasa penerima; dan E: membran.....	13
3. Skema membran cair berpendukung.....	15
4. Struktur eugenol.....	18
5. Prediksi interaksi antara polieugenol dan fenol karena adanya ikatan hidrogen dan interaksi π	20
6. Prediksi Struktur Eugenol tersambung silang EGDMA.....	22
7. Perbandingan Spektra IR (a) Membran sebelum transpor dan (b) Membran setelah transpor.....	24
8. Hasil SEM membran SLM.....	26
9. Reaksi fenol dengan 4-aminoantipirin.....	27
10. Panjang gelombang maksimum fenol.....	28
11. Diagram alir penelitian.....	36
12. Panjang gelombang maksimum fenol.....	38
13. Pengaruh pH Fasa Sumber terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor.....	39
14. Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor.....	42
15. Pengaruh waktu <i>immersion</i> terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor.....	44
16. Pengaruh konsentrasi Ko-EEGDMA 10% terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor (C_s : konsentrasi fenol pada fasa sumber, C_p : konsentrasi fenol pada fasa penerima).....	45
17. Pengaruh konsentrasi Ko-EEGDMA 10% terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor (C_s : konsentrasi fenol pada fasa sumber, C_p : konsentrasi fenol pada fasa penerima).....	47
18. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor (C_s : konsentrasi fenol pada fasa sumber, C_p : konsentrasi fenol pada fasa penerima).....	50
19. Pengaruh jenis garam terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor.....	51

20. Pengaruh konsentrasi garam NaNO_3 terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor (C_s : konsentrasi fenol pada fasa sumber, C_p : konsentrasi fenol pada fasa penerima)	55
21. Pengaruh pemakaian berulang membran SLM terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor (C_s : konsentrasi fenol pada fasa sumber, C_p : konsentrasi fenol pada fasa penerima)	57
22. pH fenol pada fasa sumber	60
23. Hasil Karakterisasi FTIR (a) membran SLM sebelum transpor; membran SLM setelah transpor (b) variasi waktu transpor (24 jam); (c) variasi kecepatan pengadukan (900 rpm); (d) variasi jenis garam (NaNO_3); (e) variasi konsentrasi garam NaNO_3 (0,01 M); (f) pemakaian berulang (tanpa pencucian); (g) pemakaian berulang (dengan pencucian).....	63
24. Perbandingan hasil karakterisasi SEM pada membran SLM (a) sebelum transpor fenol; (b) setelah transpor fenol 24 Jam.....	66
25. Kurva standar fenol pada variasi pH fasa sumber.....	88
26. Kurva standar fenol pada variasi konsentrasi NaOH fasa penerima.....	90
27. Kurva standar fenol pada variasi waktu <i>immersion</i>	92
28. Kurva standar fenol pada variasi konsentrasi senyawa pembawa Ko-EEGDMA 10%	94
29. Kurva standar fenol pada variasi waktu transpor.....	96
30. Kurva standar fenol pada variasi kecepatan pengadukan	98
31. Kurva standar fenol pada variasi jenis garam	100
32. Kurva absorbansi fenol pada variasi konsentrasi garam NaNO_3 pada fasa sumber.....	102
33. Kurva absorbansi fenol pada pemakaian berulang tanpa pencucian.....	104
34. Kurva absorbansi fenol pada pemakaian berulang dengan pencucian.....	106

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Perbandingan gugus fungsi hasil IR senyawa pembawa Co-EDVB 8%, membran SLM sebelum transpor dan setelah transpor	24
2. Perbandingan persen transpor fenol terhadap kadar kation Na^+ dari beberapa jenis garam dengan konsentrasi 0,01 M	52
3. Pengukuran pH pada fasa sumber sebagai parameter ketahanan umur membran (<i>lifetime</i>)	59
4. Perbandingan gugus fungsi hasil IR PTFE sebelum transpor dan setelah transpor	64
5. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi pH fasa sumber	88
6. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi pH fasa sumber (Pengulangan 1)	88
7. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi pH fasa sumber (Pengulangan 2)	88
8. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi pH fasa sumber (Pengulangan 3)	89
9. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber ($\%C_s$), fasa membran ($\%C_m$) dan fasa penerima ($\%C_p$) hasil transpor fenol pada variasi pH fasa sumber	89
10. Data \bar{x} , SD, dan $\%RSD$ konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi pH fasa sumber	89
11. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi konsentrasi NaOH di fasa penerima	90
12. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi NaOH di fasa penerima (Pengulangan 1)	90
13. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi NaOH di fasa penerima (Pengulangan 2)	90
14. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi NaOH di fasa penerima (Pengulangan 3)	91
15. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber ($\%C_s$), fasa membran ($\%C_m$) dan fasa penerima ($\%C_p$) hasil transpor fenol pada variasi konsentrasi NaOH di fasa penerima	91

16. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi NaOH di fasa penerima.....	91
17. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi waktu <i>immersion</i>	92
18. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi waktu <i>immersion</i> (Pengulangan 1).....	92
19. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis waktu <i>immersion</i> (Pengulangan 2).....	92
20. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi waktu <i>immersion</i> (Pengulangan 3).....	93
21. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%C _s), fasa membran (%C _m) dan fasa penerima (%C _p) hasil transpor fenol pada variasi waktu <i>immersion</i>	93
22. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi waktu <i>immersion</i>	93
23. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi konsentrasi senyawa pembawa Ko-EEGDMA 10%	94
24. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi senyawa pembawa Ko-EEGDMA 10% (Pengulangan 1)	94
25. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi senyawa pembawa Ko-EEGDMA 10% (Pengulangan 2)	95
26. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi senyawa pembawa Ko-EEGDMA 10% (Pengulangan 3)	95
27. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%C _s), fasa membran (%C _m) dan fasa penerima (%C _p) hasil transpor fenol pada variasi konsentrasi senyawa pembawa Ko-EEGDMA 10%	95
28. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi senyawa pembawa Ko-EEGDMA 10%	95
29. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi waktu transpor.....	96
30. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi waktu transpor (Pengulangan 1)	96
31. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi waktu transpor (Pengulangan 2)	97
32. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi waktu transpor (Pengulangan 3)	97
33. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%C _s), fasa membran (%C _m) dan fasa penerima (%C _p) hasil transpor fenol pada variasi waktu transpor	97
34. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi waktu transpor	97
35. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi kecepatan pengadukan	98

36. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi kecepatan pengadukan (Pengulangan 1).....	98
37. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi kecepatan pengadukan (Pengulangan 2).....	99
38. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi kecepatan pengadukan (Pengulangan 3).....	99
39. Persentase fenol di fasa sumber (%C _s), fasa membran (%C _m) dan fasa penerima (%C _p) hasil transpor fenol pada variasi kecepatan pengadukan	99
40. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi kecepatan pengadukan.....	99
41. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi jenis garam.....	100
42. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis garam (Pengulangan 1).....	100
43. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis garam (Pengulangan 2).....	100
44. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis garam (Pengulangan 3).....	101
45. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%C _s), fasa membran (%C _m) dan fasa penerima (%C _p) hasil transpor fenol pada variasi jenis garam.....	101
46. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis garam.....	101
47. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi konsentrasi garam NaNO ₃ pada fasa sumber.....	102
48. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam NaNO ₃ pada fasa sumber (Pengulangan 1).....	102
49. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam NaNO ₃ pada fasa sumber (Pengulangan 2).....	103
50. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam NaNO ₃ pada fasa sumber (Pengulangan 3).....	103
51. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%C _s), fasa membran (%C _m) dan fasa penerima (%C _p) hasil transpor fenol pada variasi konsentrasi garam NaNO ₃ pada fasa sumber.....	103
52. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam NaNO ₃ pada fasa sumber.....	103
53. Absorbansi standar fenol pada pemakaian berulang tanpa pencucian.....	104
54. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang tanpa pencucian (Pengulangan 1).....	104
55. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang tanpa pencucian (Pengulangan 2).....	105

56. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang tanpa pencucian (Pengulangan 3)	105
57. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%C _s), fasa membran (%C _m) dan fasa penerima (%C _p) hasil transpor fenol pada pemakaian berulang tanpa pencucian	105
58. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang tanpa pencucian	105
59. Absorbansi standar fenol pada pemakaian berulang dengan pencucian	106
60. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang dengan pencucian (Pengulangan 1)	106
61. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang dengan pencucian (Pengulangan 2)	106
62. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang dengan pencucian (Pengulangan 3)	107
63. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%C _s), fasa membran (%C _m) dan fasa penerima (%C _p) hasil transpor fenol pada pemakaian berulang dengan pencucian	107
64. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang dengan pencucian	107
65. Data pengamatan pH <i>lifetime</i> tanpa penambahan garam	108
66. Data pengamatan pH <i>lifetime</i> dengan penambahan garam NaNO ₃ 0,01 M..	108
67. Data pengamatan pH <i>lifetime</i> dengan penambahan garam KNO ₃ 0,01 M....	108
68. Data pengamatan pH <i>lifetime</i> dengan penambahan garam NaNO ₃ 0,1 M....	108
69. Data pengamatan pH <i>lifetime</i> dengan penambahan garam KNO ₃ 0,1 M.....	108

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Perhitungan Pembuatan Larutan	79
2. Rumus dan Contoh Perhitungan Persentase Fenol di Fasa Sumber, Fasa Membran dan Fasa Penerima pada Transpor Fenol	86
3. Variasi pH Fenol pada Fasa Sumber	88
4. Variasi Konsentrasi NaOH di Fasa Penerima	90
5. Variasi Waktu Perendaman Membran SLM (<i>Immersion</i>)	92
6. Variasi Konsentrasi Senyawa Pembawa Ko-EEGDMA 10%	94
7. Variasi Waktu Transpor	96
8. Variasi Kecepatan Pengadukan.....	98
9. Variasi Jenis Garam	100
10. Variasi Konsentrasi Garam NaNO ₃ pada Fasa Sumber	102
11. Pemakaian Berulang.....	104
12. Umur Membran (<i>Lifetime</i>)	108
13. Dokumentasi Penelitian	109

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Produksi dan penggunaan senyawa fenol saat ini semakin meningkat secara signifikan di seluruh dunia. Penggunaan fenol secara luas untuk tujuan industri, seperti pada industri kimia, pertanian, pelumas, cat, plastik, resin dan farmasi. Pemanfaatan senyawa fenol yang sangat luas mempunyai potensi untuk terbuang ke lingkungan perairan sebagai polutan organik. Kehadiran fenol di dalam lingkungan perairan dapat menyebabkan masalah yang serius, karena beberapa senyawa turunan fenol yang berbahaya dapat terbentuk. Fenol yang mencemari limbah terdapat dalam bentuk turunan umumnya, seperti Bisphenol A (BPA), *Chlorophenol* (CP), dan senyawa fenolik endokrin (Aufa, 2017). Pencemar fenol yang terbuang ke daerah perairan, sebagian besar senyawanya tidak dapat diuraikan secara biologis, di samping itu fenol juga banyak pemanfaatannya sehingga diperlukan penanganan khusus dalam mengatasi limbah tersebut (Othman *et al.*, 2015).

Fenol dan turunannya umumnya ditemukan di pembuangan industri dari kilang minyak, pabrik petrokimia, proses konversi batubara dan industri resin fenolik, zat ini memberikan dampak lingkungan yang sangat berbahaya bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah (Guo *et al.*, 2015). Senyawa fenolik juga terdapat pada limbah industri farmasi, plastik, cat, kertas, antiseptik dan produk kayu. Pembuangan dari limbah ini tanpa penanganan dapat menimbulkan risiko kesehatan yang bagi manusia, hewan, dan sistem perairan. Fenol telah dinyatakan sebagai polutan prioritas oleh US *Environmental Protection Agency* (EPA). Senyawa fenol bersifat korosif, beracun dan karsinogenik. EPA telah menetapkan standar kemurnian air kurang dari 1 ppb untuk kandungan fenol untuk air bagian

permukaan dan tingkat toksisitas berada di kisaran 9-25 mg/L bagi manusia dan ekosistem air (EPA, 2008). Perairan yang tercemar oleh fenol akan timbul bau yang tidak sedap dan berbahaya bagi manusia serta organisme perairan, bahkan pada konsentrasi yang relatif rendah (5-25 mg/L), menyebabkan kematian organisme perairan (Alva and Peyton, 2003). Pada manusia fenol memberikan efek jangka panjang berupa gangguan pernapasan, kelemahan otot, tremor, koma, dan kematian (Aufa, 2017). Karena efek toksisitas dan karsinogeniknya perlu dilakukan upaya untuk mengolah limbah fenol sebelum di buang ke perairan. Pengolahan fenol untuk dua tujuan yaitu pencegahan pencemaran lingkungan dan memperoleh senyawa fenol yang dapat dimanfaatkan kembali.

Beberapa metode telah digunakan untuk mengurangi atau memisahkan fenol dari air limbah diantaranya yaitu metode fraksi destilasi (Sudrajat dan Ning, 1993), ekstraksi cair-cair (Palma *et al.*, 2010), biodegradasi (Praveen *et al.*, 2015), fotokatalisis (Slamet dkk, 2005), dan adsorpsi (Li *et al.*, 2009; Alshehri *et al.*, 2014). Namun metoda-metoda tersebut memiliki beberapa kelemahan seperti penggunaan energi yang cukup tinggi, emulsifikasi, kehilangan pelarut dan penggunaan pelarut cukup besar serta biaya operasional yang cukup tinggi (Slamet dkk., 2006; Swain *et al.*, 2007).

Teknologi membran cair semakin banyak digunakan dalam sektor industri sebagai teknologi alternatif untuk proses pemisahan dan *recovery* fenol, hal ini karena teknologi membran cair memiliki keunggulan dari segi teknik yang lebih mudah, ekstraksi simultan, faktor pemisahan yang tinggi, kemudahan peningkatan skala, kebutuhan energi lebih rendah dan biaya operasional yang rendah (Pavón *et al.*, 2021.; Fontas *et al.*, 2018.; Gherrou *et al.*, 2001). Teknologi ini juga dikatakan memiliki sensitifitas yang tinggi dan efisien (Valenzuela *et al.*, 2003). Proses pemisahan dapat berlangsung pada suhu kamar, dan membran dapat digunakan kembali serta ramah lingkungan (Elma, 2016).

Membran cair adalah suatu lapisan semipermeabel tipis yang dapat digunakan untuk memisahkan dua komponen dengan cara menahan dan melewatkan komponen tertentu (Mulder, 1996). Mekanisme ekstraksi membran cair yaitu

molekul atau ion yang diekstraksi mula-mula berada pada fasa sumber (fasa yang mengandung senyawa target) dan akan berdifusi menuju fasa penerima (fasa pengikat senyawa target) melalui fasa membran dengan bantuan senyawa pembawa yang terlarut dalam fasa membran. Salah satu jenis metode membran cair yang digunakan yaitu membran cair berpendukung (*Supported Liquid Membrane*, SLM).

SLM terdiri dari pendukung berpori yang pori-porinya diresapi dengan cairan (ekstraktan), dimana cairan organik yang dipakai tidak bercampur antara fasa sumber dan fasa penerima (Kocherginsky *et al.*, 2007; Zhou, 2022). Teknologi SLM memiliki keunggulan seperti konsumsi energi yang rendah, investasi modal dan biaya operasi yang minimal, pengoperasian yang sederhana, serta ekstraksi dan pengupasan secara simultan dalam satu langkah (Dhahbi *et al.*, 2011). SLM adalah teknologi yang menjanjikan karena ekstraksi dan pengupasan dilakukan secara bersamaan, kemungkinan kebocoran membran ke dalam aliran umpan dapat dihindari, dibandingkan dengan membran cair emulsi (ELM), dan minimnya konsumsi fasa organik (Pavón *et al.*, 2021). Teknik ini telah banyak diaplikasikan contohnya untuk mengekstrak spesies ion logam (Tayeb *et al.*, 2007), beberapa senyawa organik dari larutan air seperti asam salisilat dan fenol (Dhahbi *et al.*, 2010; Othman *et al.*, 2015) dan pemisahan limbah Pb (Indarti dkk, 2017).

Komponen membran cair berpendukung (SLM) selain polimer pendukung yaitu senyawa pembawa atau disebut *carrier*. Senyawa pembawa memfasilitasi transpor senyawa target dari fasa sumber ke fasa penerima, senyawa ini dibuat dengan mempertimbangkan kemiripan sisi aktif antara senyawa pembawa dan senyawa target (Kiswandono dkk, 2017). Salah satu senyawa bahan alam yang dapat digunakan sebagai bahan sintesis senyawa pembawa adalah senyawa eugenol. Eugenol merupakan salah satu komponen kimia dalam minyak daun cengkeh yang dihasilkan melalui destilasi uap. Eugenol memiliki tiga gugus fungsional yaitu gugus alil, hidroksi dan metoksi. Gugus alil pada eugenol dapat mengalami reaksi polimerisasi menjadi polieugenol (Ngadiwiyana dkk, 2008). Selain sebagai bahan sintesis polieugenol, eugenol juga dapat digunakan sebagai

bahan awal sintesis senyawa-senyawa turunan polieugenol (Febriasari *et al.*, 2016).

Polieugenol dapat digunakan sebagai senyawa pembawa pada transpor fenol dikarenakan polieugenol dan fenol adalah senyawa yang sama-sama memiliki gugus –OH. Selain itu, senyawa polieugenol dapat membentuk interaksi π dengan fenol karena keduanya memiliki cincin benzena (Fessenden dan Fessenden, 1990). Kiswandono (2010) dan Djunaidi (2016), telah mensintesis polieugenol, namun polimer hasil sintesis ini belum efektif karena memiliki kemampuan interaksi dengan senyawa target yang rendah, hal ini dimungkinkan karena polimer ini memiliki berat molekul yang rendah sehingga memiliki sisi aktif yang terbatas untuk berinteraksi dengan senyawa target dan hal ini menyebabkan proses transpor lebih lambat. Salah satu alternatif untuk meningkatkan sisi aktif adalah dengan cara kopolimerisasi eugenol dengan agen taut silang (Kiswandono, 2014).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan hasil kopolimerisasi antara eugenol dengan agen taut silang untuk proses transpor fenol. Kiswandono *et al.*, (2019) melakukan sintesis senyawa pembawa kopolimer eugenol-dialil ftalat (Co-EDAF) 8% dan menggunakannya sebagai senyawa pembawa pada proses transpor fenol dan logam Pb (II) dengan metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM). Hasil uji transpor menunjukkan bahwa transpor logam Pb(II) lebih kecil dibandingkan dengan transpor fenol. Kiswandono *et al.* (2022) melakukan optimasi dan evaluasi transpor fenol menggunakan metode PIM dengan senyawa pembawa kopolimer (eugenol-DVB) 4% hasil taut silang antara eugenol. Hasil penelitian menunjukkan pH optimum pada pH 5,5 dengan konsentrasi NaOH 0,1 M pada fasa penerima dan waktu transpor selama 72 jam.

Etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) adalah contoh lain senyawa diena yang dapat digunakan sebagai agen taut silang dengan eugenol, hasil taut silang yang diperoleh yaitu kopolimer-eugenol etilen glikol dimetakrilat (Ko-EEGDMA). Menurut Kiswandono (2014) senyawa pembawa Ko-EEGDMA efektif digunakan sebagai senyawa pembawa karena senyawa Ko-EEGDMA yang dihasilkan memiliki berat molekul besar, sehingga gugus aktif -OH dan cincin benzena

lebih banyak, keadaan ini dapat meningkatkan kemampuan transpor fenol. Semakin banyak sisi aktif semakin banyak pula interaksi dengan senyawa fenol, hal ini menyebabkan peningkatan kecepatan transpor fenol.

Ko-EEGDMA telah digunakan sebagai senyawa pembawa dalam proses transpor fenol diantaranya Kiswandono (2014) menggunakan Ko-EEGDMA 6% untuk uji transpor fenol menggunakan metode PIM, serta telah melakukan evaluasi terhadap kemampuan dan stabilitas membran PIM. Transpor fenol optimum terjadi pada waktu 48 jam dengan hasil transpor hingga 71%. Hakim (2018) menggunakan Ko-EEGDMA 10% untuk menguji kemampuan transpor fenol menggunakan metode PIM. Hasil penelitian menunjukkan fenol tertranspor secara optimal selama 48 jam dengan persentase transpor sebesar 90,82%. Berdasarkan hasil penelitian dari kedua peneliti di atas, diketahui bahwa persentase fenol yang berhasil tertranspor ke fasa penerima lebih besar pada penggunaan senyawa pembawa Ko-EEGDMA 10% dibandingkan dengan senyawa pembawa Ko-EEGDMA 6%. Hal tersebut sesuai dengan teori (Kiswandono *et al.*, 2014) bahwa semakin besar konsentrasi senyawa pembawa maka semakin banyak pula sisi aktif pada senyawa pembawa. Sisi aktif yang banyak dapat meningkatkan efektivitas transpor fenol dan dapat meningkatkan persentase fenol yang tertranspor ke fasa penerima.

Pada penelitian ini akan dilakukan uji optimasi dan uji evaluasi transpor fenol menggunakan senyawa pembawa Ko-EEGDMA 10% dengan metode lain, yaitu metode SLM. Metode SLM ini diketahui memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode PIM, diantaranya pengoperasian lebih sederhana dan kebutuhan bahan kimia yang digunakan lebih sedikit (Saka *et al.*, 2020; Hadi, 2020). Beberapa parameter yang dapat mempengaruhi proses transpor fenol pada uji optimasi yang akan diteliti yaitu pH fasa sumber, konsentrasi fasa penerima, waktu *immersion*, konsentrasi senyawa pembawa dan waktu transpor fenol. Sedangkan uji evaluasi membran SLM meliputi kecepatan pengadukan, variasi jenis garam, variasi konsentrasi garam, pemakaian berulang dan umur membran (*lifetime*).

B. Tujuan Penelitian

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

1. Melakukan optimasi pengaruh pH fasa sumber, konsentrasi fasa penerima, waktu *immersion*, konsentrasi senyawa pembawa, dan waktu transpor fenol menggunakan metode SLM.
2. Melakukan uji evaluasi membran SLM meliputi kecepatan pengadukan, variasi jenis garam, variasi konsentrasi garam, pemakaian berulang dan umur membran (*lifetime*).
3. Melakukan karakterisasi membran PTFE sebelum dan sesudah transpor menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR).

C. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengoptimalkan pemanfaatan Ko-EEGDMA 10 % sebagai senyawa pembawa untuk transpor fenol serta meningkatkan nilai ekonomis dari eugenol.
2. Mendapatkan informasi mengenai kondisi optimum dan kemampuan serta stabilitas membran yang mengandung senyawa pembawa Ko-EEGDMA 10 % pada proses transpor fenol dengan metode SLM.
3. Meningkatkan aplikasi metode membran cair terutama metode SLM dalam upaya pengurangan polutan organik, khususnya senyawa fenol pada lingkungan perairan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Limbah Fenol dan Metode Penanggulangannya

Fenol atau asam karbolat atau benzenol adalah zat kristal tak berwarna yang memiliki bau khas. Fenol merupakan senyawa organik dengan rumus struktur C_6H_5OH , senyawa ini memiliki gugus hidroksil (-OH) yang terikat pada cincin benzena. Senyawa ini merupakan asam lemah dengan pKa 9,98 dan kelarutan 8% berat dalam air pada suhu $25^\circ C$ (Dhahbi *et al.*, 2010). Senyawa fenol telah dikenal luas sebagai salah satu komponen yang digunakan dalam industri, untuk proses produksi maupun sebagai salah satu bahan dasar (Suhandi dkk., 2006). Fenol digunakan dalam perusahaan herbisida, kresol, anilina dan alkilfenol, dalam farmasi obat, seperti salep, antiseptik, lotion, obat kumur, obat batuk, analgesik gosok serta beberapa industri yang lainnya (Kiswando, 2016).

Pemanfaatan senyawa fenol yang sangat luas mempunyai potensi untuk terbuang ke lingkungan perairan sebagai polutan organik. Pembuangan polutan tanpa penanganan terlebih dahulu memberikan masalah yang serius karena membahayakan kehidupan manusia, hewan dan sistem perairan. Polutan fenol dan turunannya umumnya ditemukan di pembuangan industri dari kilang minyak, pabrik petrokimia, proses konversi batubara, plastik, cat, kertas, fiber, besi, lem, baja, aluminium, produk kayu dan industri resin fenolik zat ini memberikan dampak lingkungan yang sangat berbahaya bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah (Guo *et al.*, 2015). Selain itu fenol juga dapat dihasilkan secara alami dari kotoran hewan, dan dekomposisi bahan-bahan organik (EPA, 2002).

Perairan yang tercemar oleh fenol akan timbul bau yang tidak sedap dan berbahaya bagi manusia serta organisme perairan, bahkan pada konsentrasi yang

relatif rendah (5-25 mg/L), menyebabkan kematian organisme perairan (Alva dan Peyton, 2003). Pada manusia fenol memberikan efek jangka panjang berupa gangguan pernapasan, kelemahan otot, tremor, koma, dan kematian (Aufa, 2017). Karena sifat toksisitas dan karsinogen yang tinggi, fenol telah diklasifikasikan oleh Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (*Environmental Protection Agency*, EPA) dan Uni Eropa (*the European Union*, EU) sebagai kontaminan terkontrol prioritas, dan *World Health Organization* (WHO) telah mengatur konsentrasi fenol dalam air minuman di bawah 1 µg/L (Wissniack dan Rosenberg, 2002). Fenol yang mencemari limbah terdapat dalam bentuk turunan umumnya, seperti Bisphenol A (BPA), Chlorophenol (CP), dan senyawa fenolik endokrin (Aufa, 2017).

Pencemar fenol yang terbang ke daerah perairan, sebagian besar senyawanya tidak dapat diuraikan secara biologis, di samping itu fenol juga banyak pemanfaatannya sehingga diperlukan penanganan khusus dalam mengatasi limbah tersebut (Othman *et al.*, 2015). Berbagai metode inovatif untuk pemisahan dan pemulihan senyawa fenolik dikembangkan untuk menghilangkan fenol yang tidak diinginkan dan mendapatkan senyawa fenol yang berharga.

Metode konvensional telah diterapkan diantaranya distilasi uap, ekstraksi cair-cair, adsorpsi, ekstraksi fasa padat, fotokatalisis dan biodegradasi (Aufa, 2017). Sklavos *et al.*, (2015) telah melakukan pemisahan fenol dari limbah industri yaitu dengan metode fraksi destilasi, metode pemisahan fenol dengan teknik ini menggunakan peralatan distilasi panas matahari untuk mengamati proses pengeringan dari *Olive Mill Wastewater* (OMW) dan penanganan senyawa fenolik dengan antioksidan dalam distilat. Lebih dari 50 jenis senyawa fenolik telah diidentifikasi di OMW dimana kelompok hidroksitirosole dan tyrosol menjadi dua senyawa fenolik yang paling umum terdeteksi.

Metode ekstraksi cair-cair digunakan oleh Palma *et al.* (2010) untuk pemisahan fenol, mereka menggunakan Metil Isobutil Keton (MIBK) sebagai pengekstraksi pelarut, data eksperimen ekstraksi cair-cair dari larutan berair dengan MIBK terbukti memberikan hasil yang baik. Kemudian Liu *et al.* (2013) juga

menyelidiki efisiensi menggunakan cumene sebagai ekstraktan untuk fenol dalam air limbah. Percobaan dilakukan dengan 100 mg/L fenol larutan dan tiga parameter (suhu, pH, dan waktu ekstraksi). Proses ekstraksi cumene sangat bergantung pada pH, karena fenol terionisasi pada pH tinggi dan suhu. Metode menunjukkan hasil yang baik pada berbagai konsentrasi fenol (50-2200 mg/L).

Metode lain yang telah dilakukan untuk *recovery* fenol adalah metode adsorpsi. Karbon aktif adalah zat yang paling sering digunakan dan bahan adsorpsi yang sangat efisien. Walaupun mahal tapi telah terbukti efektif untuk menghilangkan senyawa organik. Nadavala *et al.* (2014) mempelajari adsorpsi senyawa fenolik menggunakan kulit kayu pinus, limbah lignoselulosa dari hutan. pH optimal adalah 6, mencapai kesetimbangan biosorpsi dalam 120 menit, dengan total kapasitas biosorpsi untuk fenol mencapai 143 mg/g. Molva (2004) menggunakan batu bara muda untuk memisahkan limbah fenol dari perairan, dan memberikan hasil adsorpsi 43-60%. Teknik adsorpsi lain yang dilakukan adalah menggunakan abu eceng gondok juga dilakukan oleh Uddin *et al.* (2007). Selanjutnya metode untuk menghilangkan atau mengurangi kadar konsentrasi senyawa fenol di dalam air adalah dengan fotokatalisis. Beberapa peneliti telah melakukan teknik pemisahan ini, seperti Slamet dkk, (2005) dan Zainuddin *et al.* (2008) menggunakan TiO₂ sebagai fotokatalisisnya. Metode fotokatalisis ini merupakan teknologi untuk oksidasi suatu senyawa organik salah satunya adalah fenol di dalam limbah tanpa meninggalkan residu pada prosesnya (Kiswandono, 2010).

Metoda-metoda tersebut di atas memiliki beberapa kelemahan seperti penggunaan energi yang cukup tinggi (Slamet dkk, 2006), emulsifikasi, kehilangan pelarut dan penggunaan pelarut cukup besar serta biaya operasional yang cukup tinggi (Swain *et al.*, 2007) serta adanya produk samping yang berbahaya dan efisiensi yang rendah (Stanisavljevi & Nedi, 2004). Teknologi membran cair menjadi alternatif penting yang dapat digunakan oleh industri untuk tujuan pemisahan dan pemulihan (*recovery*) fenol, hal ini karena teknologi membran cair memiliki keunggulan dari segi teknik yang lebih mudah, ekstraksi simultan dan dalam satu langkah, faktor pemisahan yang tinggi, kemudahan peningkatan skala, kebutuhan energi lebih rendah dan biaya operasional yang rendah (Pavón *et al.*, 2021; Fontas

et al., 2018; Gherrou *et al.*, 2001). Teknologi ini juga dikatakan memiliki sensitifitas yang tinggi dan efisien (Valenzuela *et al.*, 2003). Pemisahan dan pemulihan (*recovery*) ditujukan untuk menghilangkan fenol yang tidak diinginkan dan mendapatkan senyawa fenol yang berharga serta dapat dimanfaatkan kembali dalam proses perindustrian.

Mekanisme ekstraksi membran cair yaitu molekul atau ion yang diekstraksi mula-mula berada pada fasa sumber dan akan berdifusi menuju fasa penerima melalui fasa membran dengan bantuan molekul pembawa yang terlarut dalam fasa membran. Teknologi membran merupakan salah satu proses pemisahan yang ramah lingkungan. Penelitian mengenai teknologi membran ini telah banyak dilakukan dengan berbagai model membran cair baik menggunakan membran SLM (*Supported Liquid Membrane*) maupun membran ELM (*Emulsion Liquid Membrane*). Beberapa peneliti yang telah menggunakan membran ELM yaitu Kusumastuti (2007) melakukan *recovery* fenol dari suatu limbah perairan dan diperoleh *recovery* >90% (Kiswando, 2010). Hashim *et al.* (2010) melakukan studi penghilangan fenol serta kebocoran emulsi pada ELM, hasil penelitian menunjukkan persentase penghilangan fenol hingga 98,33% dan kebocoran emulsi dapat dipertahankan pada 1,25%.

Guo (2015) melakukan transpor fenol menggunakan senyawa pembawa bis (2-ethylhexyl) sulfoxide, dengan menggunakan membran SLM, hasil eksperimen menunjukkan bahwa lebih dari 91 % fenol dapat tertranspor dengan waktu transpor selama 12 jam. Agustina (2020) melakukan studi transpor fenol dengan menggunakan senyawa pembawa kopoli eugenol–dilail ftalat (Co- EDAF) dengan membran SLM. Hasil uji transpor fenol menunjukkan bahwa proses ini mampu mentranspor fenol sebesar 91,59 % selama 15 jam waktu transpor.

B. Metode Pemisahan Membran

Membran adalah lapisan tipis semipermeabel yang berada diantara dua fasa dan berfungsi sebagai media pemisah yang selektif. Membran memisahkan dua komponen dengan cara menahan dan melewatkan komponen tertentu melalui

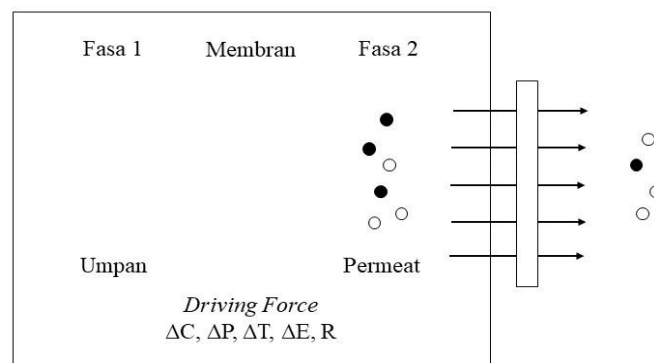
pori-pori. Pratomo (2003) mendefinisikan membran sebagai suatu lapisan tipis antara dua fasa fluida yang bersifat sebagai penghalang terhadap spesies tertentu dan membatasi transpor dari berbagai spesies berdasarkan sifat fisik dan kimianya. Proses pemisahan dengan menggunakan membran akan sempurna apabila senyawa dari campuran berpindah melewati membran lebih cepat dari campuran senyawa lainnya (Kislik, 2010). Menurut Kiswando (2016) membran merupakan suatu fasa yang berlaku sebagai rintangan yang selektif terhadap aliran molekul atau ion yang terdapat dalam cairan atau uap yang berhubungan dengan kedua sisinya. Teknologi membran telah berkembang secara signifikan di beberapa dekade terakhir karena manfaat yang ditawarkannya. Teknologi ini menarik perhatian peneliti dalam menangani limbah di perairan jika dibandingkan dengan teknologi konvensional. Menurut Singh dan Hankins (2016) teknologi membran berpotensi menjembatani kesenjangan ekonomi dan keberlanjutan, di tengah rendahnya penggunaan bahan kimia yang ramah lingkungan dan mudah diakses.

Berdasarkan struktur dan prinsip pemisahan, membran dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu membran berpori (*porous membrane*), membran tidak berpori (*non porous membrane*) dan membran cair (*liquid/carrier membrane*). Kelebihan menggunakan metode membran sebagai salah satu metode pemisahan adalah tidak berubahnya struktur molekul senyawa yang dipisahkan, sehingga menyebabkan prosesnya lebih sederhana (Agustina, 2006). Membran cair merupakan salah satu teknologi membran yang berupa lapisan tipis semipermeabel yang dapat digunakan untuk memisahkan dua komponen dengan cara menahan dan melewatkan komponen tertentu (Mulder, 1996).

Teknologi membran cair merupakan salah satu metode pemisahan yang paling efisien, karena tidak memerlukan tekanan atau tegangan. Pemisahan ini berdasarkan pada perbedaan konsentrasi antara fasa sumber dan fasa penerima. Metode ini memperlihatkan selektivitas dan faktor pengkayaan yang tinggi, namun karena masalah stabilitas antarmuka cair-cair, ada tendensi meningkat akan penanaman membran cair pada struktur pori atau membran padat agar diperoleh stabilitas yang lebih baik dalam aplikasinya (Roman *et al.*, 2010).

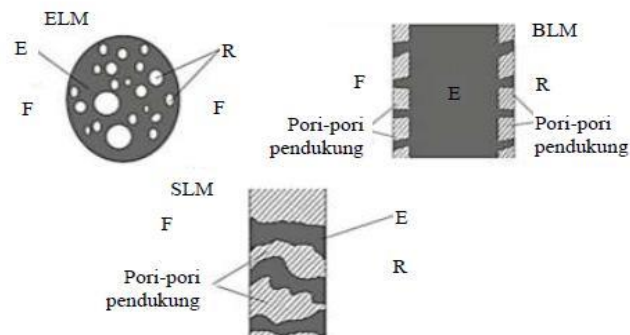
Prinsip pemisahan membran cair ditentukan oleh sifat molekul pembawa spesifik. Senyawa pembawa (*carrier*) berada tetap di dalam membran dan dapat bergerak jika dilarutkan dalam cairan. Senyawa pembawa juga harus menunjukkan aktivitas yang spesifik terhadap satu komponen pada fasa sumber sehingga diperoleh selektivitas yang tinggi. Selain itu, *permiselectivity* komponen sangat tergantung 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 dan Way, 1996). Menurut Ferraz *et al.* (2007) mekanisme transpor senyawa melewati membran cair dibagi menjadi beberapa tahap yaitu difusi antara senyawa target dengan senyawa pembawa pada membran, pembentukan kompleks senyawa atau interaksi senyawa target dengan senyawa pembawa dan pelepasan senyawa target ke fasa penerima. Menurut Mulder (1996), proses transpor yang terjadi dengan teknologi membran karena adanya daya dorong (*driving force*) dalam fasa umpan yang berupa beda tekanan (ΔP), beda konsentrasi (ΔC), beda potensial listrik (ΔE), dan beda temperatur (ΔT) serta selektifitas membran yang dinyatakan dengan rejeksi.

Gambar 1 menggambarkan suatu proses transpor menggunakan teknologi membrane secara umum. Di fasa 1 (fasa umpan), terkandung senyawa umpan atau sampel yang akan dipisahkan untuk di transpor ke fasa 2 (fasa penerima). Kedua fasa ini dipisahkan oleh suatu membran yang berisi senyawa pembawa (*carrier*) yang akan berinteraksi dengan senyawa target karena adanya *driving force* berupa ΔC , ΔP , ΔT , ΔE , dan R.



Gambar 1. Skema pemisahan dengan menggunakan metode membran

Metode membran cair adalah diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu membran cair ruah (*Bulk Liquid Membrane*, BLM), membran cair emulsi (*Emulsion Liquid Membrane*, ELM), membran cair berpendukung (*Supported Liquid Membrane*, SLM), membran cair terisi (*Contained Liquid Membrane* CLM), dan *Electrostatic Pseudo Liquid Membrane* (ESPLIM) (Kocherginsky *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2015; Venkateswaran dan Palanivelu, 2006). Para peneliti biasanya menggunakan membran SLM untuk mengatasi kelemahan yang terjadi pada membran BLM dan ELM. Perbedaan dari membran BLM, SLM, dan ELM dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tiga jenis membran cair, yaitu ELM, BLM, dan SLM. F: fasa sumber; R: fasa penerima; dan E: membran.

BLM terdiri dari sebagian besar fasa sumber (cair) yang ruah dan fasa pelucut (cair) yang dipisahkan oleh larutan organik. Kekurangan dari BLM adalah luas permukaan membrannya kecil sehingga penggunaan BLM hanya terbatas skala kecil yaitu skala laboratorium (Kislik, 2010).

ELM merupakan membran cair dimana fasa penerima merupakan fasa emulsi dari campuran membran cair. Teknik pemisahan ini menggabungkan antara ekstraksi dan *stripping*. Fasa membran adalah emulsi tipe air dalam minyak dan sebagai bahan fasa pendispersi adalah fasa organik (FO) dan fasa terdispersi adalah fasa air, emulsi cair melibatkan dua zat cair yang tercampur, tetapi tidak dapat saling melarutkan, dapat juga disebut zat cair polar (air) dan zat cair non-polar (minyak atau FO).

ELM memiliki kekurangan yaitu dapat merusak pemisahan, hal ini karena adanya pembawa emulsi yang tidak cukup stabil dan sulit memecah emulsi. Dalam mengatasi kekurangan pada BLM dan ELM biasanya digunakan teknik membran cair lainnya yaitu SLM. Metode SLM sering digunakan oleh peneliti karena memiliki banyak keuntungan daripada tipe membran yang lainnya. Membran cair berpendukung (SLM) terdiri dari pelarut organik hidrofobik yang diimobilisasi dalam pori polimer pendukung yang memisahkan fasa sumber dan fasa penerima. Metode SLM juga dapat dibuat dari imobilisasi fasa membran diantara dua lapisan nonpori yang bersifat *permeable* untuk transpor suatu senyawa (Kislik, 2010).

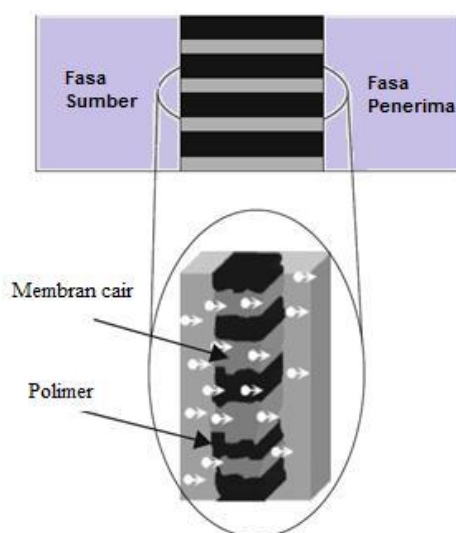
C. Membran Cair Berpendukung (*Supported Liquid Membrane, SLM*)

SLM adalah salah satu metode pemisahan berbasis membran yang dikembangkan dari teknik ekstraksi pelarut, yaitu dengan mengamobilkan zat pengestraksi (*carrier*) pada suatu membran polimer berpori (Basir, 2015). Menurut Chimuka *et al* (1998) SLM adalah membran cair dengan larutan organik diimobilisasi dalam pori polimer, membran diletakkan di tengah pipa yang memisahkan kedua fasa.

Dz'yguel dan Wieczorek (2010) pada buku membran cair bagian ketiga menerangkan bahwa membran cair berpendukung merupakan salah satu dari sistem membran tiga fasa di mana fasa membran (cair) ditahan oleh gaya kapilaritas dalam pori dari suatu lapisan polimer atau lapisan anorganik yang berpori sangat kecil. Cairan yang terimobilisasi ini merupakan suatu fasa membran dan lapisan berpori tersebut digunakan sebagai pendukung membran. Metode SLM dapat digunakan sebagai penghalang fasa sumber dan fasa penerima karena cairan organik yang berada dalam pori-pori kecil polimer pendukung tidak bercampur dengan fasa sumber dan fasa penerima (Kocherginsky *et al.*, 2007; Yurtov, 2014).

Prinsip kerja dari SLM yaitu komponen yang dipisahkan dari fasa sumber berdifusi melewati fasa membran dan menuju ke fasa penerima. Dalam sistem SLM, suatu larutan organik diimobilisasi dalam pori dari polimer atau dalam

suatu bahan pendukung anorganik oleh gaya kapiler, sistem tersebut memisahkan larutan cair di fasa sumber (donor) dan fasa penerima (Gambar 3). Senyawa yang dipisahkan pada fasa sumber menuju ke fasa organik, yang terimobilisasi dalam pendukung, berdifusi melalui fasa membran, lalu diekstraksi kembali kesisi lain membran menuju ke fasa penerima. Gaya dorong larutan disebabkan karena adanya perbedaan konsentrasi antar fasa. Efisiensi transpor membran bergantung pada perbedaan koefisien partisi pada sistem membran. Komponen yang mampu tertranspor adalah komponen yang mudah berdifusi dari fasa sumber ke fasa membran, dan mudah terlepas dari fasa membran ke fasa penerima.



Gambar 3. Skema membran cair berpendukung

Teknik membran SLM dikembangkan berdasarkan pada distribusi cair-cair dengan adanya senyawa pembawa (*carrier*) sebagai penggerak, sehingga akan meningkatkan selektifitas transpor senyawa target. Teknik SLM memiliki keunggulan seperti konsumsi energi yang rendah, pengoperasian yang sederhana, kebutuhan senyawa pembawa rendah, serta ekstraksi dan pengupasan secara simultan dalam satu langkah (Pavón *et al.*, 2020; Mei *et al.*, 2020; Othman, 2017; Dhahbi *et al.*, 2011). Rendahnya penggunaan fasa organik oleh teknologi SLM dibandingkan metode ekstraksi cair-cair merupakan suatu peningkatan paling signifikan karena sesuai dengan tren “*green chemistry*” yang sedang dikembangkan, dalam rangka meminimalisir penggunaan senyawa berbahaya (Zidi *et al.*, 2010).

Salah satu komponen pembentuk membran SLM adalah pendukung polimer (Kocherginsky *et al.*, 2007). Polimer yang biasa digunakan sebagai senyawa pendukung pada membran diantaranya *polypropylene* (PP), *poly(tetrafluoroethylene)* (PTFE) dan *poly(vinylidene fluoride)* (PVDF). Polimer PP bersifat tahan terhadap pelarut biasa sedangkan untuk jenis PTFE bersifat kristalin, stabil terhadap panas dan tidak larut dalam pelarut biasa dan kuat terhadap pengaruh zat kimia. Selain ketahanan kimia yang baik polimer PTFE tahan terhadap suhu dan pH (Mulder, 1996). PTFE bersifat hidrofobik, air maupun bahan kimia yang mengandung air tidak dapat membasahi PTFE karena adanya kekuatan dispersi London dari fluoro karbon dari tingginya elektronegativitas fluor. Jenis polimer PVDF mempunyai sifat kuat terhadap panas dan zat kimia namun tidak sebaik PTFE (Supriyanto, 1996), untuk itu pada penelitian ini akan digunakan polimer jenis PTFE.

Teknik SLM telah banyak diaplikasikan untuk pemisahan logam dan senyawa organik. Tayeb *et al.* (2007) telah melakukan transpor Cr(III) menggunakan metode SLM dengan Lasalocid A sebagai senyawa pembawa dan asam nitrat sebagai fasa penerima. Pemisahan fenol dari limbah cair dengan metode SLM juga telah dilakukan oleh Othman *et al.* (2015). Penelitian tersebut menggunakan membran polipropilen dengan pelarut kerosen dan minyak kelapa sawit yang berada pada membran cair. Hasilnya menunjukkan bahwa fenol dapat tertransportasi dengan baik pada kondisi optimum. Transpor tersebut dilakukan selama 5 jam dan menunjukkan bahwa fenol dapat tertransportasi sebanyak 43%.

Transpor asam salisilat dari larutan dengan metode SLM juga telah dilakukan oleh Dhahbi *et al.* (2010), proses ini menggunakan dua cairan ionik yaitu 1-heksil-3-methylimidazolium hexafluorophosphate ([C6mim][PF6]) dan etil amonium nitrat (EAN) sebagai pelarut. Proses transpor secara efektif mengangkut asam salisilat dari larutan berair di bawah kondisi operasi optimal diperoleh efisiensi ekstraksi 48% dan 48,7%, efisiensi pemulihan (*recovery*) 47,2% dan 48,5%. Indarti dkk. (2017) telah melakukan pemisahan limbah Pb dengan metode SLM. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi senyawa pembawa *Polyethylene Glycol-400* (PEG-400) dan konsentrasi dari fasa sumber yang berupa larutan

$Pb(NO_3)_2$ menggunakan membran selulosa asetat. Transpor $Pb(II)$ optimum dicapai oleh SLM dengan variasi konsentrasi senyawa pembawa PEG 6% (konsentrasi terbesar) dan konsentrasi fasa sumber terkecil yaitu 1 ppm. Variasi konsentrasi larutan umpan menunjukkan pengaruh utama dalam aktivitas SLM. Semakin tinggi konsentrasi larutan umpan akan menurunkan aktivitas transpor.

D. Senyawa Pembawa

Menurut Kiswandono *et al.* (2012) senyawa pembawa berfungsi memfasilitasi senyawa target melalui membran. Pada transpor membran terfasilitasi, membran cair yang mengandung senyawa *pembawa* memiliki interaksi kimia dengan senyawa yang akan ditranspor.

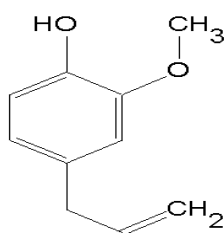
Beberapa jenis senyawa pembawa yang telah digunakan dengan beberapa metode membran cair contohnya transpor $Cr(III)$ menggunakan metode SLM dengan Lasalocid A sebagai senyawa pembawa (Tayeb *et al.*, 2007). Tetra dkk., pada tahun 2013 menggunakan teknik membran cair fasa ruah untuk transpor ion Cu^{2+} dengan menggunakan senyawa pembawa oksin. Ekstraksi emas dari limbah papan sirkuit telepon genggam telah dilakukan oleh Santoso dkk., (2010) menggunakan senyawa pembawa metil isobutil keton (MIBK) dengan teknik membran cair emulsi. Pemisahan fenol dari limbah cair dengan metode SLM juga telah dilakukan oleh Othman *et al.* (2015) dengan menggunakan senyawa pembawa campuran kerosen dan minyak kelapa sawit.

Penggunaan senyawa bahan alam saat ini sedang banyak digunakan sebagai senyawa pembawa dalam pemisahan menggunakan membran. Salah satu senyawa pembawa berbasis senyawa bahan alam yang dapat digunakan adalah senyawa yang dihasilkan dari polimerisasi eugenol yaitu polieugenol dan senyawa turunannya. Polieugenol dan senyawa turunannya, biasanya dapat dihasilkan melalui sintesis langsung menggunakan katalis. Beberapa contoh penggunaan eugenol sebagai bahan senyawa pembawa untuk transpor fenol yaitu pada penelitian Kiswandono (2010), penelitian ini menghasilkan transpor fenol dengan membran cair polieugenol pada kondisi optimum sebesar 71,6 %. Selanjutnya

Febriasari *et al* (2016) melakukan transpor fenol menggunakan PIM dimana *recovery* fenol dengan polieugenol sebagai *carrier* memiliki efisiensi sebesar 91,4% pada kondisi optimum.

E. Eugenol

Eugenol merupakan salah satu komponen kimia dalam minyak daun cengkeh yang dihasilkan melalui destilasi uap. Rumus molekul eugenol molekul ($C_{10}H_{12}O_2$) dengan berat molekul sebesar 164,2 g/mol dan titik didih 253 °C (Ketaren,1985). Eugenol merupakan turunan guaiakol yang mendapat tambahan rantai alil, dikenal dengan nama IUPAC 2-metoksi-4-(2-propenil) fenol. Senyawa ini dapat dikelompokkan dalam keluarga alilbenzena dari senyawa-senyawa fenol. Menurut Considine dan Considine (1982) eugenol murni merupakan cairan tidak berwarna, bening hingga kuning pucat, kental seperti minyak, berbau keras, dan mempunyai rasa pedas. Eugenol sedikit larut dalam air namun mudah larut pada pelarut organik (alkohol, kloroform, eter dan asam glasial) dan mudah menguap. Aromanya menyegarkan dan pedas seperti bunga cengkeh kering, sehingga sering menjadi komponen untuk menyegarkan mulut. Kandungan eugenol dalam daun cengkeh adalah 80-85% (Sastrohamidjodjo, 2002). Struktur eugenol dapat terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur eugenol

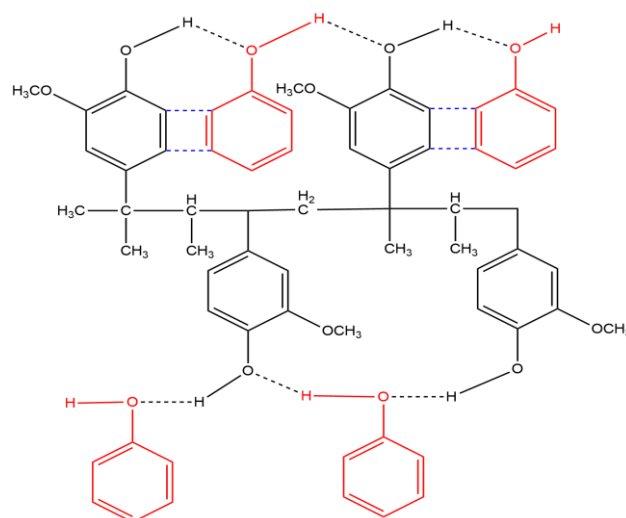
Gambar 4 menunjukkan struktur senyawa eugenol yang memiliki gugus hidroksi ($-OH$), gugus metoksi ($-OCH_3$), dan struktur alil (ikatan rangkap). Ketiga gugus ini memungkinkan eugenol digunakan sebagai dasar sintesis senyawa lain dengan berbagai tujuan (Sastrohamidjodjo, 1981). Dengan adanya gugus alil eugenol dapat dipolimerisasi menjadi polieugenol (Ngadiwiyana dkk, 2008). Eugenol adalah senyawa bahan alam yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam

sintesis polieugenol yang digunakan sebagai senyawa pembawa (*carrier*) dalam transpor membran cair. Polieugenol adalah suatu polimer yang terbentuk melalui reaksi polimerisasi eugenol. 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 (Walkowiak *et al.*, 2002). Dengan mengubah eugenol menjadi polieugenol, maka dapat meningkatkan berat molekul eugenol dan gugus aktif yang dimiliki eugenol diharapkan menjadi lebih selektif dalam melakukan proses transpor.

Finch (1996) menjelaskan bahwa interaksi antara polimer dengan senyawa target dapat terjadi diantaranya melalui ikatan hidrogen, ikatan ini terjadi antara atom yang parsial positif dari satu molekul ditarik oleh pasangan elektron menyendiri dari atom suatu molekul lain yang elektronegatif. Atom hidrogen dari suatu molekul yang bersifat parsial positif dapat ditarik oleh pasangan elektron menyendiri dari atom suatu molekul lain yang bersifat elektronegatif. Tarikan ini disebut ikatan hidrogen (Fessenden dan Fessenden, 1990). Ikatan hidrogen dapat terjadi antara atom H dengan atom yang memiliki elektronegatifitas yang tinggi seperti atom N, O, dan F sehingga membentuk ikatan -NH, -OH, dan -FH.

Pemisahan fenol dengan membran cair dapat dilakukan berdasarkan persamaan antara gugus fungsi pada fenol dan gugus fungsi pada senyawa pembawa dalam membran. Fenol dan polieugenol adalah dua senyawa yang sama-sama memiliki gugus -OH, sehingga dimungkinkan interaksi yang terjadi melalui terbentuknya ikatan hidrogen antara kedua gugus -OH tersebut. Atom H pada gugus -OH senyawa fenol dapat membentuk interaksi yaitu berikatan hidrogen dengan atom O pada gugus -OH dari polieugenol. Ikatan hidrogen yang terbentuk merupakan ikatan hidrogen intra molekuler. Ikatan hidrogen yang terbentuk bersifat relatif lemah. Akan tetapi, ikatan hidrogen yang terbentuk adalah ikatan hidrogen antara polieugenol dan fenol yang merupakan molekul besar. Semua molekul tersebut berinteraksi dan dapat membentuk sejumlah besar ikatan hidrogen sehingga meningkatkan kekuatan ikatan hidrogennya (Fessenden dan Fessenden, 1990).

Ikatan hidrogen yang kuat dapat diamati dalam spektra inframerah dengan memberikan kekhasan pada fenol inframerah dengan memberikan kekhasan pada fenol-polieugenol dibandingkan inframerah fenol maupun polieugenolnya sendiri (Kiswandono, 2010). Pendekatan lain yang menerangkan konsep ikatan antara fenol dan polieugenol adalah adanya interaksi π . Polieugenol dan fenol juga sama-sama mempunyai cincin benzena, sehingga dimungkinkan keduanya membentuk interaksi antara ikatan hidrogen dengan interaksi π (Gambar 5). Suatu polimer yang mempunyai kemampuan untuk membentuk interaksi π dengan senyawa lain akan membentuk suatu interaksi yang lebih stabil. Polieugenol dapat membentuk interaksi π karena mempunyai dua atau lebih cincin benzena, sehingga dimungkinkan fenol dan polieugenol juga dapat berinteraksi karena adanya ikatan π (Kiswandono, 2010).



Gambar 5. Prediksi interaksi antara polieugenol dan fenol karena adanya ikatan hidrogen dan interaksi π

F. Kopolimer (Eugenol-EGDMA)

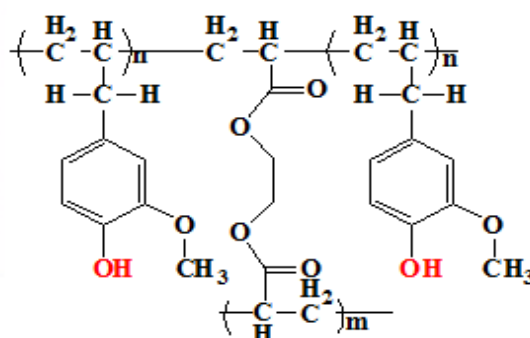
Polimer bahan alam yang telah digunakan sebagai senyawa pembawa dalam transpor fenol menggunakan membran cair, salah satunya adalah polieugenol. Kiswandono (2010) telah melakukan transpor fenol dengan menggunakan membran cair polieugenol. Djunaidi (2016) juga telah mensintesis polieugenol dengan menambahkan katalis boron trifluorid dietil eter. Akan tetapi polimer hasil sintesis ini belum efektif karena memiliki kemampuan interaksi dengan senyawa

target yang rendah, hal ini dimungkinkan karena polimer hasil sintesis memiliki berat molekul rendah dan sisi aktifnya terbatas. Hal tersebut diatasi dengan melakukan kopolimerisasi eugenol dengan agen taut silang.

Menurut Setyowati (1998) kopolimer adalah dua macam atau lebih monomer yang kemudian membentuk polimer yang mengandung lebih dari satu macam kesatuan struktur. Kopolimerisasi eugenol dapat menggunakan senyawa-senyawa diena sebagai agen taut silang. Ikatan rangkap dua pada senyawa diena mempunyai sifat yang reaktif sehingga proses sintesis dapat dengan mudah dilakukan hanya pada suhu kamar saja menggunakan katalis asam lunak. Polimerisasi senyawa diena terjadi pada bagian gugus alil (ikatan rangkap dua).

Kopolimerisasi ionik (anionik dan kationik) bersifat selektif yaitu kopolimerisasi anionik untuk monomer penarik elektron dan sebaliknya kopolimerisasi kationik untuk monomer pemberi elektron. Salah satu senyawa diena yang dapat digunakan sebagai agen taut silang dengan eugenol membentuk kopolimer adalah etilen glikol dimetakrilat (EGDMA). Kopolimerisasi eugenol dengan EGDMA merupakan reaksi polimerisasi adisi kationik karena gugus vinil dari eugenol mengalami reaksi adisi. Hasil kopolimerisasi adalah kopolimer (eugenol-EGDMA), kopolimer ini akan memiliki berat molekul yang lebih besar dibandingkan senyawa polieugenol, sehingga gugus aktif-OH dan cincin benzen lebih banyak. Keadaan ini diharapkan dapat meningkatkan kemampuan transpor fenol karena Ko-EEGDMA memiliki sisi aktif yang lebih banyak. Semakin banyak sisi aktif semakin banyak pula interaksi dengan senyawa fenol. Hal ini menyebabkan peningkatan kecepatan transpor fenol (Kiswandono, 2014).

Polimerisasi eugenol tertaut silang EGDMA berlangsung dengan mengikuti prosedur atau metode yang telah dilakukan oleh Kiswandono (2014), dalam prosesnya sintesis senyawa Ko-EEGDMA ditambahkan katalis $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$, adanya reaksi ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi merah. Prediksi struktur eugenol tersambung silang EGDMA seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Prediksi Struktur Eugenol tersambung silang EGDMA

Beberapa peneliti sebelumnya telah menggunakan hasil kopolimerisasi antara eugenol dengan agen taut silang EGDMA untuk proses tranpor fenol.

Kiswando (2014) menggunakan Ko-EEGDMA 6% untuk uji transpor fenol menggunakan metode PIM, serta evaluasi terhadap kemampuan dan stabilitas membran. Hasil Uji transpor fenol optimum terjadi pada pH fasa sumber 4,5 dengan konsentrasi fasa penerima 0,25 M yang memberikan hasil persentase transpor hingga 71%. Hakim (2018) menggunakan Ko-EEGDMA 10% untuk menguji kemampuan transpor fenol menggunakan metode PIM. Hasil uji menunjukkan fenol tertranspor secara optimal selama 48 jam dengan persentase transpor sebesar 90,82%. Pada penelitian ini akan dipelajari uji optimasi serta uji evaluasi membran SLM dengan polimer pendukung PTFE menggunakan senyawa pembawa Ko-EEGDMA 10%.

G. Karakterisasi dan Analisis

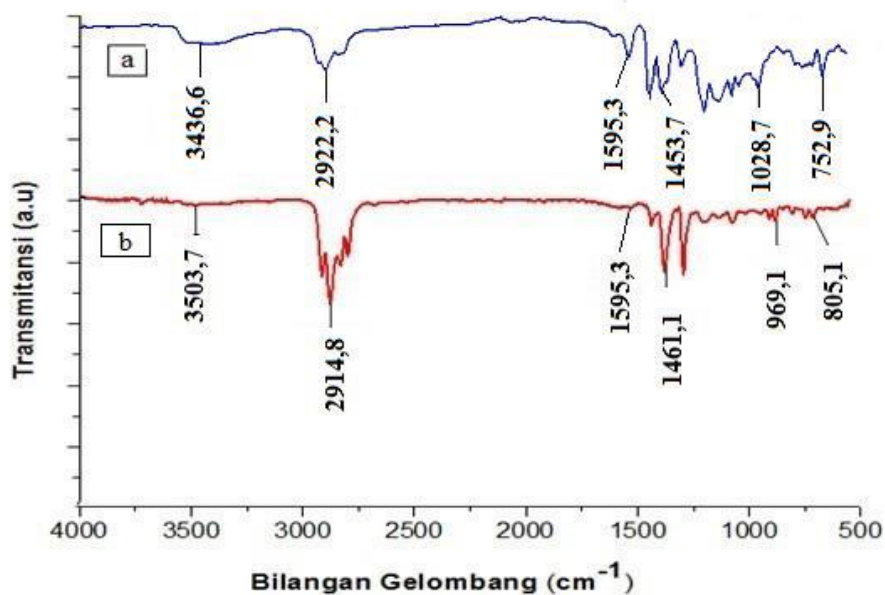
Beberapa karakterisasi dilakukan untuk menganalisis membran diantaranya analisa gugus fungsi dan komponen kimia terhadap membran sebelum dan sesudah proses transpor menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), dan morfologi permukaan membran menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Analisis konsentrasi fenol menggunakan *spektrofotometri ultra violet-visible* (UV-Vis)

1. Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)

Karakterisasi senyawa polimer dapat dilakukan dengan spektroskopi inframerah. Spektroskopi inframerah merupakan teknik yang digunakan untuk mendapatkan

spektrum inframerah dari absorbansi, emisi, foto konduktivitas atau *raman scattering* dari sampel padat, cair, dan gas. Prinsip kerja FTIR adalah adanya interaksi energi dengan materi. Misalkan dalam suatu pengujian berupa molekul senyawa yang ditembak dengan energi dari sumber sinar yang akan menyebabkan molekul tersebut mengalami vibrasi. Vibrasi dapat terjadi karena energi yang berasal dari sinar infrared tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi elektron pada molekul senyawa yang ditembak dimana besarnya energi vibrasi tiap atom atau molekul berbeda tergantung pada atom-atom dan kekuatan ikatan yang menghubungkan sehingga dihasilkan frekuensi yang berbeda pula. FTIR berfokus pada radiasi elektromagnetik pada rentang frekuensi $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ dimana cm^{-1} disebut sebagai bilangan gelombang, yakni suatu ukuran unit untuk frekuensi (Thermo, 2001).

Penentuan gugus fungsi yang terdapat pada membran SLM sebelum dan setelah transpor fenol pada kondisi optimum dapat menggunakan metode spektroskopi FTIR. Hasil karakterisasi menunjukkan spektrum serapan yang spesifik mengidentifikasi gugus fungsi yang terserap pada membran sebelum dan sesudah transpor. Karakterisasi menggunakan FTIR dapat mengidentifikasi material yang belum diketahui dan dapat menentukan kualitas dan jumlah komponen membran SLM. Berdasarkan hasil spektrum yang diperoleh, maka dapat diketahui perbandingan bilangan gelombang antara membran sebelum dan setelah transport, keadaan tersebut mengindikasikan keberhasilan transpor fenol. Gambar 7 menunjukkan spektrum hasil karakterisasi FTIR menggunakan senyawa pembawa Ko-EDVB 10% dengan metode SLM (Hadi, 2020).



Gambar 7. Perbandingan Spektra IR (a) Membran sebelum transpor dan (b) Membran setelah transpor

Hasil perbandingan dari kedua spektra menunjukkan bahwa gugus fungsi pada daerah $500\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ relatif tidak mengalami pergeseran maupun perbedaan intensitas yang signifikan. Puncak -OH stretching pada bilangan gelombang $3436,6\text{ cm}^{-1}$ terlihat mengalami pelebaran puncak. Hal ini karena selama proses transpor, membran berada di antara dua fasa dan digunakan untuk melewatkan fenol dari fasa sumber ke fasa penerima sehingga ada air yang masuk ke dalam pori-pori membran. Identifikasi gugus fungsi pada membran SLM sebelum dan setelah digunakan untuk transpor fenol menunjukkan beberapa gugus fungsi seperti yang disajikan pada Tabel 1 (Hadi, 2020).

Tabel 1. Perbandingan gugus fungsi hasil IR senyawa pembawa Co-EDVB 8%, membran SLM sebelum transpor dan setelah transpor

Bilangan Gelombang		Gugus Fungsi
Membran sebelum transpor	Membran setelah transport	
752,9	805,1	Aromatis tersubstitusi
1028,7	969,1	<i>Stretching</i> gugus eter (-C-O-C-)
1595,3	1595,3	<i>Stretching</i> gugus C=C aromatic
2922,2	2914,8	<i>Stretching</i> $\text{Csp}^3\text{-H}$
3436,6	3503,7	<i>Stretching</i> gugus -OH

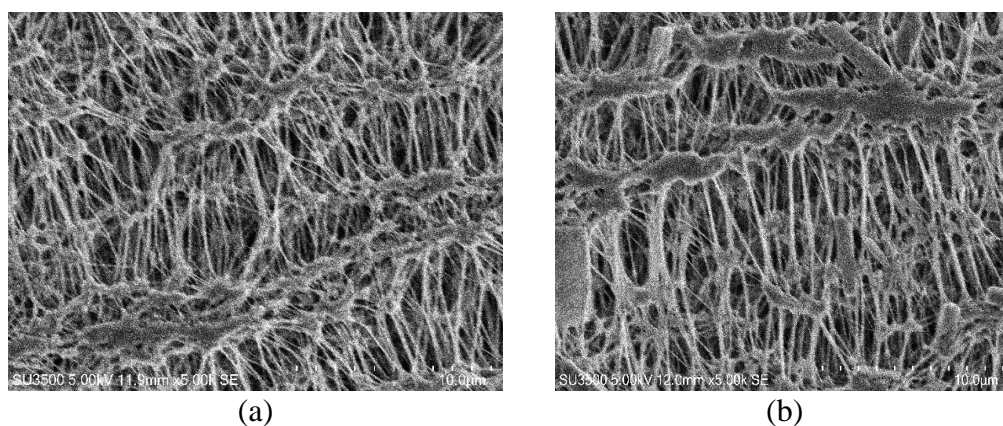
Rentang bilangan gelombang absorpsi infra merah tiap gugus fungsi yang dihasilkan pada penelitian Hadi (2020) mengacu pada teori Stuart (2004). Kelima gugus fungsi tersebut menjadi penting karena *peak* ini merupakan komponen penyusun membran sehingga dapat memberikan tambahan informasi komponen membran mana saja yang hilang saat terjadinya proses transpor.

2. Scanning Electron Microscope (SEM)

Karakterisasi selanjutnya yaitu menggunakan SEM (*Scanning Elektron Microscope*). SEM merupakan Metode analisis yang sangat penting dalam karakterisasi morfologi polimer. SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis, dapat menyelidiki permukaan dari objek solid secara langsung, yang memiliki perbesaran 10 – 3000000x, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. SEM banyak dimanfaatkan untuk mengamati struktur morfologi permukaan sampel dalam perbesaran yang tinggi dengan menggunakan berkas elektron berenergi tinggi. Pengamatan berbagai jenis material dengan beragam karakter dan properti fisis yang berbeda dapat dilakukan menggunakan SEM, namun tentu saja diperlukan pertimbangan dan pendekatan yang khusus untuk setiap jenis sampel yang berbeda agar pengamatan menggunakan SEM dapat dilakukan serta mampu memberikan hasil pengamatan SEM dengan kualitas yang baik dan mampu memberikan informasi keadaan struktur sampel yang sebenarnya (Andika *et al.*, 2018).

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

Data SEM memberikan informasi yang berguna terkait dengan sifat material, terutama morfologi permukaan material yang diselediki. Beberapa peneliti juga telah menggunakan SEM untuk tujuan tersebut (Malboubi *et al.*, 2011; Mohammadkhani *et al.*, 2011). Kemampuan transpor fenol juga dapat dianalisis menggunakan SEM, dimana jika transpor fenol sudah terjadi maka akan ada komponen membran cair yang hilang karena terjadinya *leaching*. Terjadinya kehilangan komponen membran pada fenol transpor juga dapat diamati dengan memeriksa hasil analisis SEM. Hasil SEM dapat 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). Contoh hasil karakterisasi membran SLM menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil SEM membran SLM
(a) sebelum transpor dan (b) sesudah transpor fenol

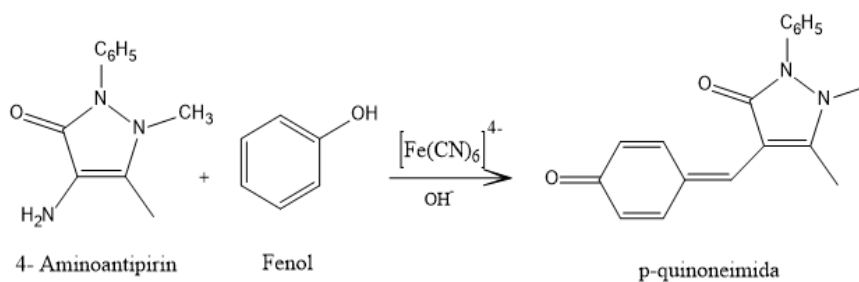
Berdasarkan perbandingan hasil SEM pada Gambar 8, terdapat perbedaan morfologi pori membran SLM, dimana membran SLM sebelum transpor lebih rapat dibandingkan membran SLM setelah transpor. Hal ini mengindikasikan bahwa adanya komponen membran yang mengalami *leaching*, akibat dari proses transpor fenol.

3. Spektrofotometri Ultraviolet-Visible (UV-Vis)

Spektrofotometri UV-Vis adalah pengukuran panjang gelombang, intensitas sinar ultraviolet dan cahaya tampak yang diabsorpsi oleh sampel. Serapan cahaya UV

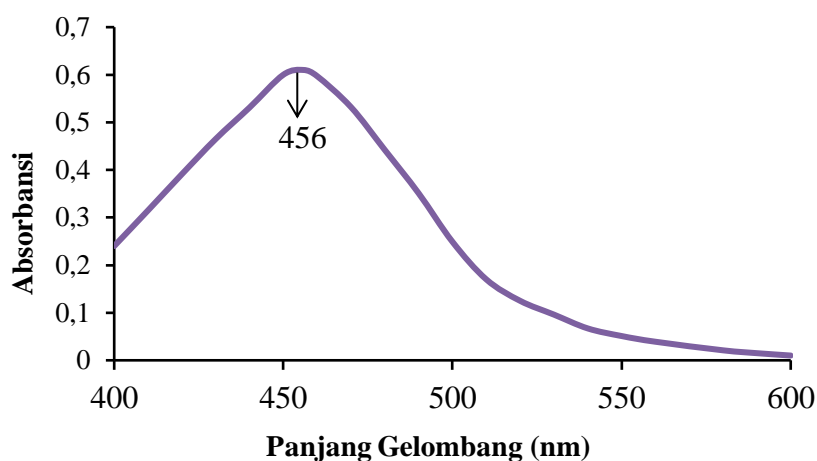
atau VIS (cahaya tampak) mengakibatkan transisi elektronik yaitu promosi elektron-elektron dari orbital keadaan dasar yang berenergi rendah ke orbital keadaan tereksitasi berenergi lebih tinggi. Spektrofotometri UV-Visible dapat digunakan untuk penentuan terhadap sampel yang berupa larutan, gas, atau uap. Kelebihan dari instrumen Spektrofotometer UV-Vis yaitu dapat digunakan untuk menganalisis banyak zat organik dan anorganik, selektif, mempunyai ketelitian yang tinggi dengan kesalahan relatif sebesar 1%-3%, analisis dapat dilakukan dengan cepat dan tepat, serta dapat digunakan untuk menetapkan kuantitas zat yang sangat kecil.

Metode umum yang digunakan dalam mengatasi limbah fenol dengan cara mengetahui kadar fenol yang terbuang ke dalam limbah industri yaitu metode spektrofotometri UV-Vis dengan menggunakan 4-Aminoantipirin sebagai reagen pengompleks (Venkateswaran *and* Palanivelu, 2006). Menurut Badan Standar Nasional SNI 06-6989.21-2004 analisis fenol dengan Spektrofotometer UV-Vis menggunakan 4-aminoantipirin sebagai reagen pengompleksnya, karena menunjukkan karakteristik yang lebih baik mengenai sensitivitas dan respon terhadap senyawa fenolik. Semua fenol dalam air prinsipnya akan bereaksi dengan 4-aminoantipirin dalam suasana kalium ferrosianida $K_4[Fe(CN)_6]$ dan akan membentuk warna merah kecoklatan dari antipirin. Larutan kompleks fenol yang terbentuk tersebut kemudian diekstraksi menggunakan pelarut kloroform dan diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum ($460 \text{ nm} \pm 5$). Absorbansi yang semakin tinggi menunjukkan bahwa panjang gelombang yang diperoleh semakin baik. Konsentrasi senyawa fenol dinyatakan dalam mg/L. Reaksi yang terjadi antara 4-Aminoantipirin dan fenol dapat dilihat pada Gambar 9 (Sousa *and* Transoso, 2009).



Gambar 9. Reaksi fenol dengan 4-aminoantipirin

Penelitian mengenai pengukuran panjang gelombang maksimum fenol telah dilakukan sebelumnya, diantaranya oleh Nusantari, (2020). Panjang gelombang maksimum fenol yang diperoleh pada penelitian tersebut yaitu 456 nm (Gambar 10). Panjang gelombang ini yang akan digunakan untuk penentuan konsentrasi fenol dalam sampel.



Gambar 10. Panjang gelombang maksimum fenol

Panjang gelombang maksimum yang diperoleh dapat dikatakan sesuai dengan Badan Standarisasi Nasional SNI 06-6989.21-2004. Hal ini dikarenakan panjang gelombang yang diperoleh dari penelitian ini masuk dalam rentang panjang gelombang menurut Badan Standarisasi Nasional SNI 06-6989.21-2004 yaitu $460 \text{ nm} \pm 5$.

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan November 2022 sampai April 2023. Karakterisasi membran SLM sebelum dan sesudah transpor menggunakan SEM dan FTIR, dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LSIT) Universitas Lampung. Pengukuran konsentrasi fenol menggunakan spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi FMIPA Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas ukur 25 mL dan 50 mL, labu ukur 25 mL dan 250 mL, spatula, gelas kimia 50 mL, 250 mL, 300 mL dan 400 mL, tabung reaksi, rak tabung reaksi, pipet tetes, batang pengaduk, neraca analitik, magnetic stirrer, spin bar, papan stirrer, pH meter, corong pisah, statif dan klem, botol gelap, selotip, plastik wrapping, aluminium foil, tisu, Spektrofotometer UV-Vis (Hitachi U-2010), Scanning Electron Microscope (SEM) (JSM 6360LA), Spektrofotometer Fourier Transform Infrared (FTIR) (Perkin Elmer 99951). Peralatan transpor terdiri dari dua chamber berbentuk silindris yang dipisahkan dengan sebuah membran. Diameter chamber 5 cm, volume chamber 50 mL dengan diameter efektif chamber (yang langsung bersentuhan dengan larutan fenol) 3,5 cm.

2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu membran politetrafluoroetilen (PTFE) diameter 47 μm dan ukuran pori-pori 0,45 μm (*Hawach scientific*), padatan Ko-EEGDMA 10%, selotip, plastic wrap, tisu, alumunium foil, aquabides, bahan kimia kualitas pro analis (pa) produksi *Merck* diantaranya kloroform (CHCl_3), fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$), amonium hidroksida (NH_4OH), natrium hidroksida (NaOH), asam klorida (HCl), 4-aminoantipirin ($\text{C}_{11}\text{H}_{13}\text{N}_3\text{O}$), kalium ferrosianida $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, natrium klorida (NaCl), natrium nitrat (NaNO_3), natrium sulfat (Na_2SO_4), kalium nitrat (KNO_3) dan dikalium fosfat (K_2HPO_4).

C. Prosedur Penelitian

1. Perendaman Membran SLM (*Immersion*)

Pembuatan membran cair berpendukung (SLM) mengikuti prosedur pada penelitian Hadi (2020), proses ini diawali dengan *immersion* membran politetrafluoroetilen (PTFE) menggunakan akuabides selama 2 jam kemudian dikeringkan menggunakan tisu setelah itu membran dicelupkan ke dalam pelarut kloroform sebanyak 10 mL yang mengandung Ko-EEGDMA 10% dengan konsentrasi 0,01 M. Proses pencelupan dilakukan selama 1 jam kemudian membran diangkat dan didiamkan selama 10 menit. Hasilnya berupa membran *Supported Liquid Membrane* (SLM) yang telah mengandung senyawa pembawa kemudian dilakukan karakterisasi menggunakan FTIR dan SEM.

2. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Fenol

Sebanyak 5 mL fenol 60 ppm ditambahkan dengan 5 mL akuades sehingga volumenya menjadi 10 mL dan pHnya diatur menjadi 9,8-10,2 menggunakan buffer fosfat dan dengan penambahan NH_4OH 1M atau HCl 1 M, kemudian ditambahkan dengan 1 mL larutan 4-aminoantipirin 2% dan 1 mL larutan kalium ferrosianida 8% lalu dikocok dan didiamkan selama 2 jam sampai terjadi perubahan warna (merah muda). Setelah terjadi perubahan warna, larutan dipindahkan ke dalam corong pisah dan ditambahkan dengan 5 mL kloroform. Corong pisah dikocok dan didiamkan beberapa saat hingga terjadi pemisahan, kemudian lapisan kloroform dipisahkan dan dilakukan pengukuran absorbansi

pada ekstrak larutan kloroform menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada λ (panjang gelombang) 400 nm sampai 600 nm untuk mendapatkan panjang gelombang maksimum (Standar Nasional Indonesia, 2004). Panjang gelombang maksimum akan digunakan pada tahapan optimasi dan evaluasi transport fenol.

3. Pengukuran Konsentrasi Fenol Dalam Sampel

Sebanyak 5 mL sampel dari fasa sumber dan fasa penerima serta larutan standar fenol dengan beberapa variasi konsentrasi 10 ppm sampai 70 ppm (didapatkan absorbansi antara 0,2-0,8) masing-masing ditambahkan dengan 5 mL akuabides sehingga volumenya menjadi 10 mL. Larutan tersebut diatur pH-nya menjadi $10 \pm 0,2$ dengan menggunakan buffer fosfat, NH_4OH dan HCl , kemudian ditambahkan 1 mL 4-aminoantipirin 2% dan kalium ferrosianida 8% sambil diaduk. Larutan tersebut didiamkan selama 2 jam sampai terjadi perubahan warna menjadi merah muda. Setelah terjadi perubahan warna, larutan dipindahkan ke dalam corong pisah dan ditambahkan dengan 5 mL kloroform. Corong pisah dikocok dan didiamkan beberapa saat hingga terjadi pemisahan, kemudian lapisan organik atau lapisan kloroform (bagian bawah) dipisahkan. Ekstrak kloroform yang diperoleh diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang yang telah didapatkan pada Prosedur 2. Prosedur ini akan digunakan pada tahapan optimasi dan evaluasi transport fenol.

4. Optimasi Transpor Fenol

Transpor fenol dilakukan dalam alat *chamber* yang terdiri dari dua bagian dengan bentuk silindris, yang bersentuhan melalui membran SLM. Proses optimasi transpor fenol menggunakan SLM dilakukan merujuk pada prosedur Hadi (2020) dengan modifikasi.

a. Transpor fenol dengan variasi pH fasa sumber

Membran SLM PTFE ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL NaOH 0,1 M sebagai fasa penerima dan 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber yang telah diatur pHnya yaitu 3,5; 4,5; 5,5; 6,5 dan 7,5. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah selesai transpor, fasa sumber dan fasa penerima diambil

sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum mengikuti Prosedur 3.

b. Transpor fenol dengan variasi konsentrasi fasa penerima (NaOH)

Membran SLM PTFE ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber dengan pH optimum dan 50 mL NaOH 0,01; 0,05; 0,1; 0,25 dan 0,5 M sebagai fasa penerima, lalu pipa transpor ditutup dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah selesai transpor, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum mengikuti Prosedur 3.

c. Transpor fenol dengan variasi waktu perendaman membran SLM (*immersion*)

Membran SLM PTFE direndam ke dalam larutan yang telah mengandung senyawa pembawa Ko-EEGDMA 10% dengan variasi waktu *immersion* 0; 1; 30; 60 dan 90 menit ditempatkan di tengah pipa transpor fenol. Variasi waktu *immersion* 0 menit yaitu *immersion* dengan kloroform tanpa senyawa pembawa. Kemudian ditambahkan 50 mL NaOH sebagai fasa penerima dengan kondisi konsentrasi optimum dan 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber dengan kondisi pH fasa sumber dan konsentrasi fasa penerima optimum. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet pada fasa sumber dan fasa penerima selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah selesai transpor, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum mengikuti Prosedur 3.

d. Transpor fenol dengan variasi konsentrasi senyawa pembawa

Membran SLM PTFE dengan konsentrasi senyawa pembawa 0 M (*immersion* dengan kloroform tanpa senyawa pembawa); 0,005 M; 0,01 M; 0,015 M dan 0,020 M ditempatkan di tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL

NaOH sebagai fasa penerima dan 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber. Pipa transpor ditutup dan diaduk selama 9 jam dengan pengaduk magnet pada fasa sumber dan fasa penerima pada suhu kamar. Proses ini dilakukan pada kondisi pH fasa sumber, konsentrasi fasa penerima, dan waktu *immersion* optimum. Setelah selesai transpor, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum mengikuti Prosedur 3.

e. Transpor fenol pada variasi waktu transpor

Membran SLM PTFE ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL NaOH sebagai fasa penerima dan 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet dengan beberapa variasi waktu 6; 12; 18; 24 dan 30 jam pada suhu kamar. Proses ini dilakukan pada kondisi pH fasa sumber, konsentrasi fasa penerima, waktu *immersion* dan konsentrasi senyawa pembawa optimum. Setelah selesai transpor, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum mengikuti Prosedur 3.

5. Evaluasi Membran SLM

Evaluasi membran SLM pada proses transpor fenol dilakukan pada kondisi optimum berdasarkan hasil optimasi transpor fenol yang telah dilakukan pada prosedur sebelumnya. Prosedur evaluasi ini merujuk kepada penelitian yang telah dilakukan oleh Huidong *et al.* (2009), Alguacil *and* Lopez (2021), Asrami *and* Saien (2019) dan Kiswandono *et al.* (2022). Evaluasi membran SLM pada proses transport fenol meliputi:

a. Variasi kecepatan pengadukan

Membran SLM PTFE yang sudah dipersiapkan pada prosedur 1 ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor. Proses transpor fenol dilakukan pada kondisi optimum. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet *spin bar*

pada fasa penerima dan fasa sumber. Variasi kecepatan pengadukan yang dilakukan yaitu 0, 500, 800, 900, dan 1000 rpm. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum mengikuti Prosedur 3.

b. Variasi jenis garam pada fasa sumber

Membran SLM PTFE yang sudah di persiapkan pada prosedur 1 ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor. Proses transpor fenol dilakukan pada kondisi optimum. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet *spin bar* pada fasa penerima dan fasa sumber, dengan variasi garam NaCl, NaNO₃ dan Na₂SO₄ yang masing-masing konsentrasinya sebesar 0,01 M. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum mengikuti Prosedur 3.

c. Variasi konsentrasi garam terhadap stabilitas SLM

Membran SLM PTFE yang sudah di persiapkan pada prosedur 1 ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor. Proses transpor fenol dilakukan pada kondisi optimum. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet *spin bar* pada fasa penerima dan fasa sumber dengan variasi konsentrasi garam 0 M (kontrol); 0,001 M; 0,01 M; 0,1 M dan 1 M. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum mengikuti Prosedur 3.

d. Uji kemampuan membran SLM pada pemakaian berulang

Membran SLM PTFE yang sudah di persiapkan pada prosedur 1 ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor. Proses transpor fenol dilakukan pada kondisi optimum. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet *spin bar* pada fasa penerima dan fasa sumber. Membran SLM setelah pemakaian satu kali selanjutnya dicuci dengan akuades selama 30 menit kemudian dikeringkan,

selanjutnya membran SLM dipasang kembali pada alat transpor yaitu *chamber* dan dilakukan proses transpor fenol kembali pada kondisi optimum menggunakan larutan fenol yang baru. Membran SLM digunakan kembali untuk transpor fenol sampai empat kali pengulangan. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum mengikuti Prosedur 3.

Prosedur di atas diulang kembali, tetapi pada membran SLM yang berbeda. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan kecepatan pengadukan optimum menggunakan magnet spin bar pada fasa penerima dan fasa sumber. Membran SLM setelah pemakaian satu kali selanjutnya digunakan kembali tanpa proses pencucian, selanjutnya membran SLM dipasang kembali pada alat transpor yaitu *chamber* dan dilakukan proses transpor fenol kembali pada kondisi optimum menggunakan larutan fenol yang baru. Membran SLM digunakan kembali untuk transpor fenol sampai empat kali pengulangan. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum mengikuti Prosedur 3.

e. Lifetime

Membran SLM PTFE yang sudah dipersiapkan pada prosedur 1 ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor. Proses transpor fenol dilakukan pada kondisi optimum. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet *spin bar* pada fasa penerima dan fasa sumber. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum mengikuti Prosedur 3.

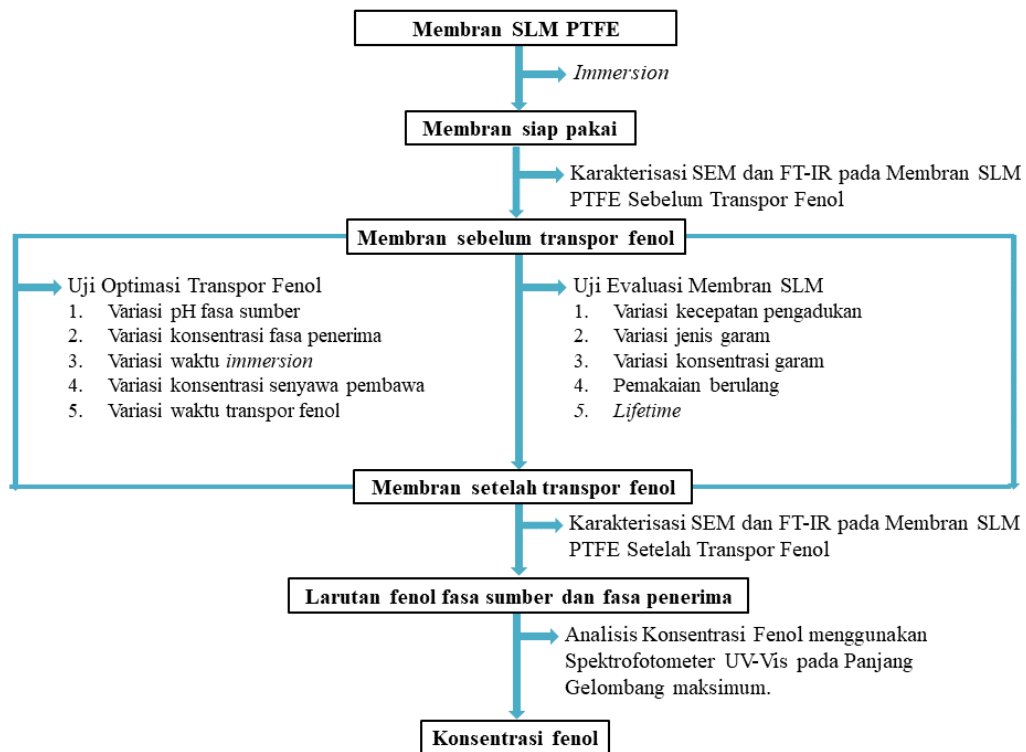
Lifetime ditentukan dengan cara mengukur nilai pH pada fasa sumber. Naiknya nilai pH pada fasa sumber mengindikasikan bahwa membran SLM sudah mengalami kebocoran. pH pada fasa sumber dicek secara berkala hingga pH pada

fasa sumber $\pm 9,0$. *Lifetime* dilakukan dengan beberapa variasi pada larutan fasa sumber, yaitu:

- Tanpa garam (kontrol)
- Menggunakan garam NaNO_3 0,01 M
- Menggunakan garam NaNO_3 0,1 M
- Menggunakan garam KNO_3 0,01 M
- Menggunakan garam KNO_3 0, 1 M

6. Diagram Alir Penelitian

Secara lengkap diagram alir (langkah kerja) dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan pembahasan yang telah diuraikan di atas, maka dapat diperoleh kesimpulan hasil optimasi transpor fenol dan evaluasi terhadap membran SLM didapatkan bahwa:

1. Transpor fenol menggunakan senyawa pembawa Ko-EEGDMA 10% dengan metode SLM mampu mencapai kondisi optimumnya yaitu pada pH fenol 6,5; konsentrasi NaOH 0,1 M; waktu *immersion* 60 menit; konsentrasi senyawa pembawa 0,01 M dan waktu transpor selama 24 jam dengan persentase fenol yang tertranspor sebesar 83,96%.
2. Stabilitas membran SLM dicapai pada kecepatan pengadukan 900 rpm dengan persentase fenol yang berhasil tertranspor ke fasa penerima yaitu sebesar 85,54%.
3. Penambahan garam pada fasa sumber membuat membran SLM menjadi lebih stabil karena dapat meningkatkan umur membran (*lifetime*) dan menahan kebocoran yang berasal dari larutan fasa penerima. Penambahan garam KNO_3 0,1 M di fasa sumber meningkatkan umur membran SLM hingga lebih dari 12 hari sedangkan umur membran SLM tanpa penambahan garam hanya sampai 3 hari.
4. Hasil pengujian ketahanan membran dengan pemakaian berulang menunjukkan bahwa membran SLM dapat digunakan untuk transpor fenol lebih dari tiga kali pemakaian walaupun persentase fenol yang berhasil tertranspor di fasa penerima nilainya menurun.
5. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya perbedaan intensitas dan bilangan gelombang pada membran sebelum transpor dan sesudah transpor. Terjadi penurunan intensitas puncak -OH untuk semua membran setelah

transpor yang mengindikasikan berkurangnya gugus –OH akibat transpor fenol yang terjadi.

6. Karakterisasi SEM terhadap membran SLM PTFE menunjukkan perbedaan morfologi membran sebelum dan sesudah transpor, membran sebelum transpor memiliki susunan dan kerapatan pori yang baik, permukaan menebal dan tidak adanya macrovoid (rongga besar) yang terbentuk, sedangkan membran setelah transpor terbentuknya celah yang besar dan susunan pori yang tidak rapat mengindikasikan bahwa komponen yang terdapat di dalam membran semakin berkurang akibat proses transport fenol.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka disarankan pada penelitian lebih lanjut mengenai:

1. Perlu dilakukan analisis konsentrasi fenol menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada uji umur membran SLM untuk mengetahui konsentrasi fenol pada akhir masa pakai membran SLM (*lifetime*).
2. Untuk meningkatkan stabilitas membran, perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai transpor fenol dengan jenis garam lain dan senyawa diena lain sebagai pembanding.
3. Uji ketahanan membran SLM pada pemakaian berulang dapat dikaji kembali menggunakan variasi jenis garam.
4. Perlu dilakukan analisis *Membrane Liquid Loss* (ML-Loss) untuk mengetahui jumlah komponen membran yang hilang

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S. (2006). Teknologi Membran dalam Pengolahan Limbah Cair. *Buletin Penelitian*, 28(1), 18-24. <https://doi.org/10.24817/jkk.v0i0.3281>
- Agustina, W. (2020). *Studi Transpor Fenol Menggunakan Senyawa Carrier Kopoli Eugenol-Dialil Ftalat (Co-Edaf) 10% dengan Metode Supported Liquid Membrane (SLM)*. (Skripsi Sarjana, Universitas Lampung).
- Alguacil, F.J., & Lopez, F.A. (2021). Separation Iron(III)-Manganese(II) via Supported Liquid Membrane Technology in the Treatment of Spent Alkaline Batteries. *Membranes*, 11(991), 1-9. <https://doi.org/10.3390/membranes11120991>
- Alva, V.A., & Peyton, B.M. (2003). Phenol and Catechol Biodegradation by the Haloalkaliphile *Halomonas Campisalis*: Influence of pH and Salinity. *Environment Sciences Technology*, 37(19), 4397-4402. <https://doi:10.1021/es0341844>
- Andika, D.R., Anindya, A.L., Tanuwijaya, V.V., & Rachmawati, H. (2018). Teknik Pengamatan Sampel Biologi dan Non-konduktif Menggunakan Scanning Electron Microscopy. *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO)*, 10-11 Desember 2018, ITB, Bandung. <https://doi.org/10.5614/sniko.2018.8>
- Asrami, M.R., & Saien, J. (2019). Salt Effects on Liquid-Liquid Equilibria of Water + Phenol + (Propan-2-yl) Benzene + Salts Systems. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 64(6), 2414-2422. <https://doi.org/10.1021/acs.jced.8b01202>
- Aufa, R. (2017, Desember). Teknik Penyisihan Fenol dari Air Limbah. *Research Gate*. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.1133812>
- Bartsch, R.A., & Way, J.D. (1996). Chemical Separations with Liquid Membranes: of Chemistry and Biochemistry an Overview. *American Chemical Society*, 642, 1-10. <https://DOI:10.1021/bk-1996-0642.ch001>
- Basir, D.N. (2015). Kemurnian dan Nilai Faktor Pemisahan Transpor Unsur La Terhadap Unsur Nd, Gd, Lu, dengan Teknik Membran Cair Berpendukung. *Jurnal Alam dan Lingkungan*, 6(11), 49-55.
- Chen, Y., Xiong, K., Shen, S., Wang, H., Zhou, S., & Li, L. (2019). Salt Effect on the Liquid-Liquid Equilibrium of the Ternary (Water+Phenol+Methyl Isobutyl Ketone) System: Experimental Data and Correlation. *Chinese*

- Journal of Chemical Engineering*, 27(1), 168-173.
<https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.02.013>
- Chimuka, L., Megersa, N., Nonberg, J., Mathiasson & Ai., J. (1998). Incomplete Trapping in Supported Liquid Membrane Extraction with a Stagnant Acceptor for Weak Bases. *Analytical Chemistry*, 70(18), 3906-3911.
<https://doi.org/10.1021/AC971327U>
- Considine, D.M., & Considine, G.D. (1982). Food and Food Production Encyclopedia. *Food Policy*, 8(2), 162-163. [https://doi.org/10.1016/0306-9192\(83\)90013-1](https://doi.org/10.1016/0306-9192(83)90013-1)
- Dhahbi, M., Kouki, N., Tayeb, R., & Zarrougui., R. (2010). Transpor of Salicylic Acid Through Supported Liquid Membrane Based on Ionic Liquids. *Journal of Separation and Purification Technology*, 76(1), 8-14.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2010.09.013>
- Dhahbi, M., Tayeb, R., & Zidi, C. (2011). Extraction of Phenol from Aqueous Solutions by Means of Supported Liquid Membrane (MLS) Containing Tri-n-Octyl Phosphine Oxide (TOPO). *Journal of Hazardous Materials*, 194, 62-68. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.07.071>
- Djunaidi, M.C. (2016). *Adsorpsi Selektif Molekular Fenol Oleh Polieugenol*. (Disertasi, Universitas Gajah Mada).
- Dz'yguel, P., & Wiczorek, P.P. (2010). *Liquid Membranes: Principles and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment, Chapter 3: Supported Liquid Membranes and Their Modifications: Definition, Classification, Theory, Stability, Application and Perspectives*. First edition. 1000 AE Amsterdam. The Netherlands. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53218-3.00003-9>
- Elma, M. (2016). *Proses Pemisahan Menggunakan Teknologi Membrane*. Universitas Lambung Mangkurat. University Press. Banjarmasin.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2002). *Toxicological Review Phenol*. USA.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2008). *Toxic Release Inventory National Analysis*. USA.
- Fan, J., Fan, Y., Pei, Y., Wu, K., Wang, J., & Fan, M. (2008). Solvent Extraction of Selected Endocrine-Disrupting Phenols Using Ionic Liquids. *Purification Technology*, 61(3), 324-331. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.11.005>
- Febriasari, A., Siswanta, D., Hidayat, N., & Kiswandono, A.A. (2016). Evaluation of Phenol Transpor using Polymer Inclusion Membrane (PIM) with Poly Eugenol as a Carrier. *Jurnal Reakayasa Kimia dan Lingkungan*, 11(2), 99-106. <https://doi.org/10.23955/rkl.v11i2.5112>
- Ferraz, H., Duarte, L.T., Lucio, M.D., Habert, A.C., & Borges, C.P. (2007). Recent Achievements in Facilitated Transport Membranes for Separation Processes. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 24(01), 101-118.
<https://doi.org/10.1590/S0104-66322007000100010>

- Fessenden, R.J., & Fessenden, J.S. (1990). *Kimia Organik Jilid 1 Edisi 3*. Alih bahasa A.H., Pudjaatmaka. Erlangga. Jakarta.
- Finch, C.H. (1996). *Industrial Water Soluble Polymer*. Pentajin Associates, Aylesbury, UK., The Royal Society of Chemistry.
- Fontas, C., Pont, N., & Salvadó, V. (2018). Applicability of a Supported Liquid Membrane in the Enrichment and Determination of Cadmium from Complex Aqueous Samples. *Membranes*, 8(2), 1-11.
<https://doi.org/10.3390/membranes8020021>
- Ghalami-Choobar, B., Fazli, M., & Hasannezhad, S.F. (2016). Salt Effect on the Liquid-Liquid Equilibrium of (Water+Diethanolamine+Isobutanol/Cyclohexanol) Systems at T = (298.2 and 308.2) K. *Journal of Molecular Liquids*, 222, 558-563.
DOI:[10.1016/j.molliq.2016.07.084](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.07.084)
- Gherrou, A., Kerdjoudj, H., Molinari, R., & Drioli, E. (2001). Modelization of The Transport of Silver & Copper IN Acidic Thiourea Medium Through a Supported Liquid Membrane. *Desalination*, 139(1-3), 317-325.
[https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(01\)00325-3](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(01)00325-3)
- Guo, H., Yang, X., Duan, H., Shi, D., Yang, R., & Wang, S. (2015). Facilitated Transport of Phenol Through Supported Liquid Membrane Containing bis(2-ethylhexyl) Sulfoxide (BESO) as the Carrier. *Journal of Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 93, 79-86.
DOI:[10.1016/j.cep.2015.05.003](https://doi.org/10.1016/j.cep.2015.05.003)
- Hadi, N. (2020). *Transpor Fenol Menggunakan Kopoli Eugenol Divinil Benzena (Co-Edivb) 10% Sebagai Carrier dengan Metode Supported Liquid Membrane (SLM)*. (Skripsi Sarjana, Universitas Lampung).
- Hakim, T.W. (2018). *Studi Transpor Fenol Menggunakan Polymer Inclusion Membranes (PIM) dengan Senyawa Carrier Kopoli (Eugenol- Etilen Glikol Dimetakrilat)*. (Skripsi Sarjana, Universitas Lampung).
- Hashim, M.A., Ng, Y.S., & Jayakumar, N.S. (2010). Performance Evaluation of Organic Emulsion Liquid Membrane on Phenol Removal. *Journal of Hazardous Materials*, 184(1-3), 255-260.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.08.030>
- Huidong, Z., Biyu, W., Yanxiang, W.U., & Qilong, R.E.N. (2009). Instability Mechanisms of Supported Liquid Membrane for Phenol Transport. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 17(5), 750-755. DOI:[10.1016/S1004-9541\(08\)60272-4](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(08)60272-4)
- Hoffmeister, F. (1888). *Zur lehre Von Der Wirkung Der Salze*. Arch. Exp. Pathol. Pharmacol, 25, 1-30. <https://doi.org/10.1007/BF01838161>
- Indarti, D., Novitasari., & Yudi, A.S. (2017). Pemisahan Pb(II) Menggunakan *Supported Liquid Membrane* (SLM) dengan Variasi Jumlah Senyawa Pembawa dan Konsentrasi Larutan Umpan. *Jurnal Ilmu Dasar*, 18(2), 139-144. <https://doi.org/10.19184/jid.v18i2.4708>

- Kislik, V.S. (2010). *Liquid Membranes: Principles and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment*. Elsevier. UK.
- Kiswandono, A.A. (2010). *Studi Transpor Fenol dengan Menggunakan Membran Cair Polieugenol*. (Tesis, Universitas Gadjah Mada).
- Kiswandono, A.A. (2014). *Kajian Transpor Fenol Melalui Membran Berbasis Polieugenol Tertaut Silang Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane (PIM)*. (Disertasi, Universitas Gadjah Mada).
- Kiswandono, A.A. (2016). Metode Membran Cair untuk Pemisahan Fenol. *Analytical & Environmental Chemistry*, 1 (1), 78–91.
<http://dx.doi.org/10.23960/2Faec.v1i1.2016.p>
- Kiswandono, A. A., Hadi, S., Mudasir, Sinjia, F., Sari, M. Y., & Irfan, M. (2019). Copoly Eugenol Crosslinked Dialylphthalate 8% as a Carrier in Phenol and Pb(II) Metal Transport. *Journal of Physics: Conference Series*, 1338(1), 1-8.
<https://10.1088/1742-6596/1338/1/012004>
- Kiswandono, A.A., Hadi, S., Nusantari, C.S., & Rinawati. (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(3), 1-13. <https://doi.org/10.3390/membranes12030295>
- Kiswandono, A.A., Maslahat, M. (2011). Studi Transpor Senyawa Fenol Menggunakan Membran Cair Polieugenol dengan Pelarut Diklorometana. *Jurnal sains Natural Universitas Nusa Bangs*, 1(2), 145-155.
<https://doi.org/10.31938/jsn.v1i2.24>
- Kiswandono, A.A., Mudasir., Siswanta, D., Aprilita, N.H., Santosa, S.J., & Hadi, S. (2020). Synthesis of a New Crosslinked Poly-Bisphenol a Diglycidyl Ether (Poly-BADGE) as a Carrier in Phenol Transport. *Kuwait Journal of Science*, 47(4), 39-48.
- Kiswandono, A.A., Siswanta, D., Aprilita, N.H., & Santosa, S.J. (2012). Transpor of Phenol Through Polymer Inclusion Membrane (PIM) Using Copoly(eugenol-DVB) as Membrane Carriers. *Indonesian Journal of Chemistry*, 12(2), 105-112. <https://doi.org/10.22146/ijc.21348>
- Kiswandono, A.A., Siswanta, D., Aprilita, N.H., Santosa, S.J., & Hayashita, T. (2014). The Capability of Copoly(Eugenol-Divinylbenzene) as a Carrier for Phenol Transport with Polymer Inclusion Membrane (PIM). *Journal of Environmentally Friendly Processes*, 2(2), 57-68.
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1857.0961>
- Kiswandono, A.A., Supriyanto., Nuryaman, A., Siswanta, D., Aprilita, N.H., & Santosa, S.J. (2017). Sintesis dan Uji Kemampuan Senyawa Co-EEGDMA Sebagai Senyawa Pembawa pada Transpor Fenol Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane. *Jurnal penelitian saintek*, 22, 114-125.
<https://doi.org/10.31938/jsn.v3i1.50>
- Kocherginsky, N.M., Yang, Q., & Seelam, L. (2007). Recent Advances in Supported Liquid Membrane Technology. *Journal of Environmentally*, 53(2), 171-177. doi:[10.1016/j.seppur.2006.06.022](https://doi.org/10.1016/j.seppur.2006.06.022)

- Kolev, S.D., St John, A.M., & Cattrall, R.W. (2013). Mathematical Modeling of the Extraction of Uranium(VI) Into a Polymer Inclusion Membrane Composed of PVC and di-(2-ethylhexyl) Phosphoric Acid. *Journal of Membrane Science*, 425-426, 169-175. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2012.08.050>
- Kusumastuti, A. (2007). *Pemulihan Fenol dari Air Limbah Dengan Membran Cair Emulsi (Abstrak)*. (Tesis, Institut Teknologi Bandung. Bandung).
- Li, J. M., Meng, X. G., Hu, C. W., & Du, J. (2009). Adsorption of Phenol, p-Chlorophenol and p-Nitrophenol Onto Functional Chitosan. *Bioresource Technology*, 100(3), 1168-1173. <https://doi:10.1016/j.biortech.2008.09.015>
- Liu, J., Xie, J., Ren, Z., & Zhang, W. (2013). Solvent Extraction of Phenol with Cumene from Wastewater. *Desalin Water Treat*, 51(19-21), 3826-3831. <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2013.796993>
- Malboubi, M., Gu, Y., & Jiang, K. (2011). Characterization of Surface Properties of Glass Micropipettes Using SEM Stereoscopic Technique. *Microelectronic Engineering*, 88(8), 2666-2670. <https://doi.org/10.1016/j.mee.2011.02.029>
- Mei, X., Li, J., Jiang, C., Wang, C., Liu, Y., Wang, Y., Liu, J., Bi, S., Chen, Y., Xiao, Y., Yang, X., Xiao, Y., Wu, S., & Ding, Y. (2020). Separation and Recovery of Phenols from an Aqueous Solution by a Green Membrane System. *Journal of Cleaner Production*, 251, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119675>
- Mohammad, S., Grundl, G., Müller, R., Kunz, W., Sadowski, G., & Held, C. (2016). Influence of Electrolytes in Liquid-Liquid Equilibria of Water/1-Butanol and on the Partitioning of 5-Hydroxymethylfurfural in Water/1-Butanol. *Fluid Phase Equilib*, 428, 102-111. DOI:[10.1016/j.fluid.2016.05.001](https://doi.org/10.1016/j.fluid.2016.05.001)
- Mohammadkhani A., Malboubi M., Anthony C., & Jiang, K. (2011). Characterization of Surface Properties of Ordered Nanostructures Using SEM Stereoscopic Technique. *Microelectronic Engineering*, 88(8), 2687-2690. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mee.2010.12.039>
- Molva, M. (2004). *Removal of Phenol from Industrial Wastewaters Using Lignitic Coals*. (Thesis, Izmir Institute of Technology Izmir).
- Muktiarti, N. (2011). *Transpor Fenol Melalui Supported Liquid Membrane (SLM) Berbasis Polyvinyl Chloride (PVC) Menggunakan Kopolimer (Eugenol-DVB) sebagai Molekul Carrier*. (Skripsi, Universitas Gadjah Mada).
- Mulder, M. (1996). *Basic Principle of Membranes Technology*. 2nd edition, 1-8. Kluwer Academic Publisher. The Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-1766-8>
- Nadavala, S.K., Che, M.A.H., & Woo, H.S. (2014). Biosorption of Phenolic Compounds from Aqueous Solutions using Pine (*Pinus densiflora* Sieb). *Bark Powder*, 9(3), 5155-5174. <http://dx.doi.org/10.15376/biores.9.3.5155-5174>

- Ngadiwiyan, Ismiyanto, Jumina, & Chairil Anwar. (2008). Polimerisasi Eugenol dengan Katalis Asam Sulfat Pekat. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 11(2), 38-4. <http://dx.doi.org/10.15408/jkv.v0i0.4685>
- Nusantari, C.S. (2020). *Sintesis dan Evaluasi Kopolimer (Eugenol-Divinil Benzena) 4% Sebagai Senyawa Pembawa Untuk Transpor Fenol Menggunakan metode polymer inclusion membrane (PIM)*. (Tesis, Jurusan Kimia Universitas Lampung).
- Othman, N., Heng, L.C., Noah, N.F.M., Jusoh, N., Yi, O.Z.N., Ali, N., & Nasrudin, N.A. (2015). Removal of Phenol from Wastewater by Supported Liquid Membrane Process. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 74(7), 117-121. <http://dx.doi.org/10.11113/jt.v74.4709>
- Othman, N., Noah, N.F.M., Shu, L.Y., Ooi, Z.Y., Jusoh, N., Idroas, M., & Goto, M. (2017). Easy Removing of Phenol from Wastewater using Vegetable Oil-Based Organic Solvent in Emulsion Liquid Membrane Process. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 25(1), 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2016.06.002>
- Palma, M.S.A., Shibata, C., Paiva, J.L., Zilli, M., & Converti, A. (2010). Batch Liquid-Liquid Extraction of Phenol from Aqueous Solutions. *Chemical Engineering & Technology*, 33(1), 39-43. <https://doi.org/10.1002/ceat.200900279>
- Pavón, S., Blaesing, L., Jahn, A., Aabel, I., Bertau, M. (2021). Liquid Membranes for Efficient Recovery of Phenolic Compounds such as Vanillin and Catechol. *Membranes*, 11(1), 1-17. <https://doi.org/10.3390/membranes11010020>
- Pavón, S., Fortuny, A., Coll, M.T., Bertau, M., & Sastre, A.M. (2020). Permeability Dependencies on the Carrier Concentration and Membrane Viscosity for Y(III) and Eu(III) Transport by Using Liquid Membranes. *Separation and Purification Technology*, 239, 116573. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116573>
- Praveen. P., Nguyen, D.T.T., & Loh, K.C. (2015). Biodegradation of Phenol from Saline Wastewater using Forward Osmotic Hollow Fiber Membrane Bioreactor Coupled Chemostat. *Biochemical Engineering Journal*, 94, 125-133. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bej.2014.11.014>
- Pratomo. (2003). Pembuatan dan Karakterisasi Membran Komposit Polisulfonselulosa Asetat untuk Proses Ultrafiltrasi. *Jurnal Pendidikan Matematika Dall Saills*, Edisi 3, tahun ketiga, 45-53. <http://eprints.uny.ac.id/id/eprint/4851>
- Purwasih, Ratih. (2013). *Studi Transpor Fenol Menggunakan Polymer Inclusion Membrane (PIM) dengan Molekul Pembawa Kopolimer (Eugenol-Dialil Ftalat)*. (Skripsi, Jurusan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada).
- Reynolds, J.G. (2018). Salt Solubilities in Aqueous Solutions of NaNO₃, NaNO₂, NaCl, and NaOH: A Hofmeister-like Series for Understanding Alkaline

- Nuclear Waste. *American Chemical Society Omega*, 3(11), 15149–15157. <https://DOI:10.1021/acsomega.8b02052>
- Saka, C., Kiswandono, A.A., & Hadi, S. (2020). Synthesis of Polymer Inclusion Membranes Based on PVC Containing Copoly-EDVB 4% as a Carrier for Removal of Phenol Solutions. *Pollution Research Journal*, 39(4), 1009-1016.
- Santoso, I.S.T., Ratna, I.R., Kartika & Titriyama, H. (2010). Ekstraksi Emas dari Limbah Papan Sirkuit Telepon Genggam Menggunakan Teknik Membran Cair Emulsi. *Valensi*, 4(1), 45-50. <https://doi.org/10.15408/jkv.v4i1.1076>
- San Román, M.F., Bringas, E., Ibañez, R. & Ortiz, I. (2010) Liquid membrane technology: fundamentals and review of its applications. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 85(1), 2-10. <https://doi.org/10.1002/jctb.2252>
- Sastrohamidjodjo, H. (1981). *A Study of Some Indonesian Essential Oils*. (Disertasi, Universitas Gadjah Mada).
- Sastrohamidjodjo, H. (2002). *Kimia Minyak Atsiri*. Yogyakarta: FMIPA-UGM.
- Setyowati, L., & Anwar, D.C. (1998). *Pengaruh Penambahan Divinil Benzena (DVB) pada kopolimerisasi kationik Eugenol- DVB dan Sifat Pertukaran Kation Kopoligaramnya*. (Tesis, Universitas Gajah Mada).
- Singh, R., & Hankins, N. (2016). *Emerging Membrane Technology for Sustainable Water Treatment*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands.
- Sklavos, S., Gatidou, G., Stasinakis, A. S., & Haralambopoulos, D. (2015). Use of Solar Distillation for Olive Mill Wastewater Drying and Recovery of Polyphenolic Compounds. *Journal of Environmental Management*, 162, 46-52. <https://doi:10.1016/j.jenvman.2015.07.034>
- Slamet., Arbianti, R., & Daryanto. (2005). Pengolahan Limbah Organik (Fenol) dan Logam Berat (Cr^{6+} atau Pt^{4+}) secara Simultan dengan Fotokatalis TiO_2 , Zn-O dan CdS- TiO_2 . *Makara Teknologi*, 9(2), 66-71. <https://dx.doi.org/10.7454/mst.v9i2.363>
- Slamet, Bismo, S., Arbianti, A., & Sari, Z. (2006). Penyisihan Fenol Dengan Kombinasi Proses Adsorpsi Dan Fotokatalisis Menggunakan Karbon Aktif Dan TiO_2 . *Jurnal Teknologi*, 20(4), 3-11. <https://doi.org/10.14710/reaktor.11.2.78-85>
- SNI 06-6989.21-2004. Metode Penentuan Fenol. Badan Standardisasi Nasional.
- Sousa, A.R., Maria, A.T. (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(3), 796-803. <https://doi:10.1016/j.talanta.2009.05.009>
- Stanisavljevic, M., & Nidic, L. (2004). Removal of Phenol from Industrial Wastewaters by Horseradish (*Cochlearia Armoracia L*) Peroxidase. *Working and Living Environmental Protection*, 2(4), 345-349.
- Stuart, B. H. (2004). *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*, John Wiley and Sons, Ltd., West Sussex.

- Sudrajat, R., & Ning, A.P.J. (1993). Pemisahan Senyawa Fenol dari Limbah Cair Industri Pulp (Black Liquor) dengan Cara Fraksinasi-Distilasi. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 11(1), 12-20.
- Suhandi, D., Purwoko, T., & Pangastuti, A. (2006). Biodegradasi Fenol oleh Isolat *Bacillus* spp asal Sumur Kawengan Cepu. *Bioteknologi*, 3(1), 8-13.
<https://doi.org/10.13057/biotek/c030102>
- Supriyanto, R. (1996). *Ekstraksi Lantanum(III) dari Mineral Xenotim (Pasir Ikutan Timah Bangka) dengan Teknik Membran Cair Berpendukung*. (Tesis, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung).
- Swain, B., Jeong, J., Lee, J., & Lee, G. (2007). Separation of Co(II) and Li(I) by Supported Liquid Membran Using Cyanex 272 as Mobile Carrier. *Journal of Membrane Sciences*, 297(1-2), 253-261.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2007.03.051>
- Tayeb, R., Fontas, C., Dhahbi, M., Tingry, S., & Seta, P. (2007). Cd(II) Transpor Across Supported Liquid Membranes (SLM) and Polymeric Plasticized Membranes (PPM) Mediated by Lasalocid A. *Puri Technology*, 42(2), 189-193. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2004.07.006>
- Tetra, O.N., Alif, A., Refinel., Aziz, H., & Desniwati. (2013). Uji Selektifitas Transpor Fenol Melalui Teknik Membran Cair Fasa Ruah. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*. Halaman: 319-324.
- Thermo, N. (2001). *Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry*. Thermo Nicolet Corporation. USA.
- Uddin, M.T., Islam, M.S., & Abedin, M.Z. (2007). Adsorption of Phenol from Aqueous Solution by Water Hyacinth Ash. *ARPJ: Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(2), 11-17.
- Valenzuela, F., Salinas, C., Basualto, C., Sapag, J., & Hagar, C. (2003). Influence Of Nonionic Surfactant Compound on Coupled Transpor of Copper (II) Through A Liquid Membrane. *Journal of Chilean Chemical Society*, 48(1), .
<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-97072003000100014>
- Venkateswaran, P., & Palanivelu, K. (2006). Recovery of Phenol from Aqueous Solution by Supported Liquid Membrane Using Vegetable Oils as Liquid Membrane. *Journal of Hazard Material*, 17;131(1-3), 146-152.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.09.025>
- Venkateswaran, P., Gopalakrishnan, A.N., & Palanivelu, K. (2007). Di(2-ethyl hexyl) Phosphoric Acid-Coconut Oil Supported Liquid Membrane for The Separation of Copper Ions From Copper Plating Wastewater. *Journal of Environmental Science*, 19(12), 1446-1453. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60236-8](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60236-8)
- Walkowiak, W., Ulewicz, M., & Kozlowski, C.A. (2002). Application of Macrocyclic Compounds for Metal Ions Separation and Removal-A Review. *Ars Separatoria Acta*, 1, 87-98.

- Wissiaek, R., & Rosenberg, E. (2002). Universal Screening Method for the Determination of US Environmental Protection Agency Phenols at the Lower Ng L-1 Level in Water Samples by on-Line Solid-Phase Extraction-High-Performance Liquid Chromatography-Atmospheric Pressure Chemical Ionization Mass Spectrometry Within A Single Run. *Journal of Chromatography A*, 963(1-2), 149-157. [https://doi:10.1016/s0021-9673\(02\)00546-0](https://doi:10.1016/s0021-9673(02)00546-0)
- Yang, X.J., Duan H., Shi D., Yang R., Wang S., & Guo, H. (2015). Facilitated Transport of Phenol Through Supported Liquid Membrane Containing bis(2-ethylhexyl) Sulfoxide (BESO) as The Carrier. *Chemical Engineering and Processing*, 93, 79-86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cep.2015.05.003>
- Yurtov, E.V., & Koroleva, M.Y. (2014). Liquid membranes for extraction. *Petroleum Chemistry*, 54(8), 581-594. <https://DOI:10.1134/S0965544114080192>
- Zainuddin, N.F., Abdullah, A.Z., & Mochamed, A.R. (2008). Development of Supported TiO₂ Photocatalyst Based Adsorbent for Photocatalytic Degradation of Phenol. *Proceeding International Conference on Environment Health*, 1, 1-7.
- Zha, F.F., Fane, A.G., & Fell, C.J.D. (1995). Instability Mechanisms of Supported Liquid Membranes in Phenol Transport Process. *Journal of Membrane Science*, 107(1-2), 59-74. [https://doi:10.1016/0376-7388\(95\)00104-k](https://doi:10.1016/0376-7388(95)00104-k)
- Zhang, B., G. Gozzelino, G., dan Baldi. (2001). Membrane liquid loss of supported liquid membrane based on *n*-decanol. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 193(1-3), 61-70. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(01\)00688-4](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(01)00688-4)
- Zheng, H.D., Biyu, W., Yanxiang, W., Qilong, R. (2009). Instability Mechanisms of Supported Liquid Membranes for Copper(II) Ion Extraction. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 351(1), 38-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2009.09.028>
- Zhou, H., Ye.Y., Tan, Y., Zhu, K., Liu, X., Tian, H., Guo, Q., Wang, L., & Liu, Y. (2022). Supported Liquid Membranes Based on Bifunctional Ionic Liquids for Selective Recovery of Gallium. *Membranes*, 12(4), 376. <https://doi.org/10.3390/membranes12040376>
- Zidi, C., Tayeb, R., & Dhahbi, M. (2011). Extraction of Phenol from Aqueous Solutions by Means of Supported Liquid Membrane (MLS) Containing Tri-*n*-Octyl Phosphine Oxide (TOPO). *Journal of Hazardous Materials*, 194, 62-68. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.07.071>
- Zidi, C., Tayeb, R., Ali, M.B.S., & Dhahbi, M. (2010). Liquid-Liquid Extraction and Transport Across Supported Liquid Membrane of Phenol Using Tributyl Phosphate. *Journal of Membrane Science*, 360(1-2), 334-340. <https://doi:10.1016/j.memsci.2010.05.027>