

**EVALUASI STABILITAS DAN KEMAMPUAN MEMBRAN YANG  
MENGANDUNG KOPOLI EUGENOL DIALIL FTALAT 8% UNTUK  
TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN METODE *SUPPORTED LIQUID  
MEMBRANE* (SLM)**

**(Tesis)**

**Oleh**

**NURHUDAWATI NINGSIH  
2127011010**



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

## ABSTRAK

### EVALUASI STABILITAS DAN KEMAMPUAN MEMBRAN YANG MENGANDUNG KOPOLI EUGENOL DIALIL FTALAT 8% UNTUK TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN METODE *SUPPORTED LIQUID MEMBRANE* (SLM)

Oleh

NURHUDAWATI NINGSIH

Perkembangan sektor industri yang pesat memberikan dampak buruk berupa hasil samping senyawa organik yaitu fenol yang berbahaya karena bersifat korosif dan beracun. Penelitian mengenai transpor fenol menggunakan kopoli(eugenol-DAF) sebagai senyawa pembawa berbasis membran *polytetrafluoroetilene* (PTFE) dengan metode *Supported Liquid Membrane* (SLM) dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut. Pada penelitian ini dilakukan optimasi dengan parameter variasi pH fasa sumber, konsentrasi NaOH fasa penerima, waktu perendaman membran SLM, konsentrasi senyawa pembawa dan waktu transpor fenol. Selain itu dilakukan evaluasi dengan parameter kecepatan pengadukan, jenis dan konsentrasi garam, pemakaian berulang, dan *lifetime*. Karakterisasi membran sebelum dan sesudah transpor dilakukan dengan menggunakan SEM dan FTIR untuk mengetahui keberhasilan transpor fenol. Konsentrasi fenol setelah transpor ditentukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan reagen 4-aminoantipirin pada  $\lambda_{maks} = 455 \text{ nm}$ . Hasil uji transpor fenol menunjukkan bahwa SLM mengandung Ko-EDAF 8% mampu mentranspor fenol sebesar 87,77% pada pH 5,5 di fasa sumber, konsentrasi NaOH 0,25 M di fasa penerima, waktu perendaman membran selama 90 menit, konsentrasi senyawa pembawa 0,005 M selama 24 jam. Keberhasilan transpor ditunjukkan adanya kehilangan senyawa pembawa pada membran SLM pada hasil FTIR yaitu terjadi penurunan intensitas gugus -OH yaitu pada bilangan gelombang  $3534,57 \text{ cm}^{-1}$  dan hasil analisis SEM menunjukkan adanya celah yang besar pada permukaan membran dan juga susunan pori yang tidak rapat. Kemampuan dan stabilitas membran dicapai pada kecepatan pengadukan 800 rpm dengan penambahan garam  $\text{NaNO}_3$  0,001, teruji mampu mentranspor fenol sebanyak empat kali transpor dalam kondisi optimum dan umur membran (*lifetime*) menjadi lebih lama yaitu 15 hari dengan penambahan  $\text{NaNO}_3$  1 M.

**Kata kunci :** Evaluasi, Fenol, Ko-EDAF, SLM

## ABSTRACT

### EVALUATION STABILITY AND CAPABILITY OF MEMBRANES CONTAINING COPOLY EUGENOL DIALLYL PHTHALATE 8% FOR PHENOL TRANSPORT USING SUPPORTED LIQUID MEMBRANE (SLM) METHOD

By

**NURHUDAWATI NINGSIH**

The rapid development of the industrial sector has had a negative impact in the form of by-products of organic compounds, namely phenol which are dangerous because corrosive and toxic. Research on phenol transport using copoly(eugenol-DAF) as a carrier based on polytetrafluoroethylene (PTFE) membranes with the Supported Liquid Membrane (SLM) method was carried out to overcome this problem. In this research, optimization was carried out with parameters of variation of source phase pH, receiving phase NaOH concentration, SLM membrane immersion time, carrier concentration and phenol transport time. In addition, an evaluation was carried out with the parameters of stirring speed, type and concentration of salt, repeated use, and lifetime. Membrane characterization before and after transport was carried out using SEM and FTIR to determine the success of phenol transport. The concentration of phenol after transport was determined using a UV-Vis spectrophotometer with 4-aminoantipyrine reagent at  $\lambda_{\max} = 455$  nm. The results of the phenol transport test showed that SLM containing 8% Co-EDAF was able to transport 87.77% of phenol at pH 5.5 in the source phase, NaOH concentration of 0.25 M in the receiving phase, membrane immersion time of 90 minutes, concentration of carriers 0.005 M for 24 hours. The success of the transport was indicated by the loss of carriers on the SLM membrane on the FTIR results, namely a decrease in the intensity of the -OH group, namely at wave number 3534.57  $\text{cm}^{-1}$  and the results of SEM analysis showed that there were large gaps on the surface of the membrane and also that the pore arrangement was not tight. The ability and stability of the membrane was achieved at a stirring speed of 800 rpm with the addition of 0.001  $\text{NaNO}_3$  salt, it was tested to be able to transport phenol four times under optimum conditions and the membrane age (lifetime) was longer, namely 15 days with the addition of 1 M  $\text{NaNO}_3$ .

**Keywords:** Co-EDAF, Evaluation, Phenol, SLM

**EVALUASI STABILITAS DAN KEMAMPUAN MEMBRAN YANG  
MENGANDUNG KOPOLI EUGENOL DIALIL FTALAT 8% UNTUK  
TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN METODE *SUPPORTED LIQUID  
MEMBRANE* (SLM)**

Oleh

**NURHUDAWATI NINGSIH**

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
MAGISTER SAINS**

Pada

**Program Studi Magister Kimia  
Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



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

Judul : **EVALUASI STABILITAS DAN KEMAMPUAN MEMBRAN YANG MENGANDUNG KOPOLI EUGENOL MENGGUNAKAN DIALIL FTALAT 8% UNTUK TRANSPOR FENOL METODE *SUPPORTED LIQUID MEMBRANE* (SLM)**

Nama Mahasiswa : **Nurhudawati Ningsih**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2127011010

Prodi : **Magister Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



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

**Dr. Rinawati, M.Si.**  
NIP. 197104142000032001

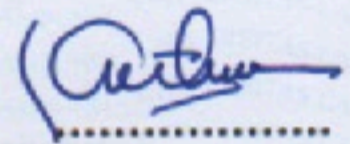
2. Ketua Prodi Magister Kimia

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

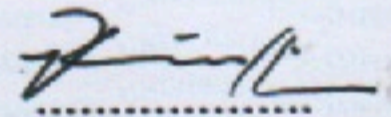
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

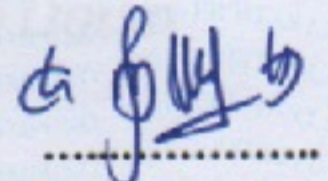
**Ketua : Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.**



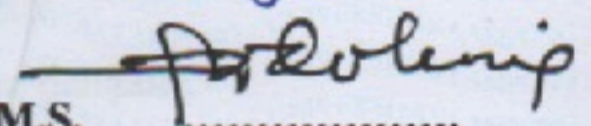
**Sekretaris : Dr. Rinawati, M.Si.**



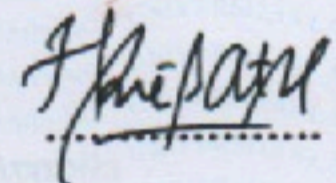
**Penguji  
Bukan Pembimbing 1 : Dr. Mita Rilyanti, M.Si**



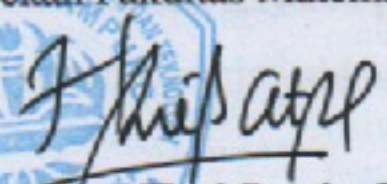
**Bukan Pembimbing 2 : Prof. Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S.**



**Bukan Pembimbing 3 : Dr. Eng. Heri Satria, M.Si.**




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



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

**3. Direktur Program Pascasarjana**



**Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.**  
NIP. 196403261989021001

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 13 Juni 2023**

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurhudawati Ningsih  
Nomor Pokok Mahasiswa : 2127011010  
Program studi : Magister Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa tesis saya berjudul:

**“ EVALUASI STABILITAS DAN KEMAMPUAN MEMBRAN YANG MENGANDUNG KOPOLI EUGENOL DIALIL FTALAT 8% UNTUK TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN METODE *SUPPORTED LIQUID MEMBRANE* (SLM) “**

Dengan ini menyatakan bahwa baik gagasan, tulisan, data, maupun pembahasannya adalah **benar** karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terbukti pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 19 Juni 2023  
Yang menyatakan,



Nurhudawati Ningsih  
NPM. 212701101

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Nurhudawati Ningsih lahir di Penantian, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung pada tanggal 15 April 1998. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Bapak Nurun Hamid dan Ibu Sunarwati. Pekerjaan orang tua petani dan ibu rumah tangga. Penulis sekarang bertempat tinggal di Dusun 2 Penantian Desa Penantian Kecamatan Pulau Pangung, Tanggamus.

Penulis menyelesaikan pendidikan SD Negeri 1 Penantian pada tahun 2010, lalu melanjutkan ke SMP Negeri 1 Pulaupanggung dan lulus pada tahun 2013, selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Pulaupanggung dan lulus pada tahun 2016. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi negeri melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN), tepatnya di Universitas Lampung Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam pada Program Studi Kimia Murni dan meraih gelar Sarjana Sains (S.Si) pada tahun 2021. Pada tahun yang sama yaitu 2021 penulis juga melanjutkan studinya ke jenjang magister. Penulis tercatat sebagai mahasiswa Program Studi Magister Kimia FMIPA Universitas Lampung. Penulis melakukan penelitian sebagai bahan penyusunan tesis di Laboratorium Kimia analitik



dan instrumentasi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung dan melakukan karakterisasi menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung. Hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan Magisternya pada bulan Mei tahun 2023 dengan tesis yang berjudul **EVALUASI STABILITAS DAN KEMAMPUAN MEMBRAN YANG MENGANDUNG KOPOLI EUGENOL DIALIL FTALAT 8% UNTUK TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN METODE *SUPPORTED LIQUID MEMBRANE* (SLM).**

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Kimia Analitik I dan Kimia analitik II. Penulis juga dipercaya sebagai asisten dosen atau tutor mata kuliah yang diampuh oleh Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc dan Prof. Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S. Selain itu, penulis juga belajar mengenai pengelolaan jurnal dan diberi kepercayaan sebagai asisten editor di Jurnal Analit : *Analytical and Enviromental Chemistry*. Penulis pernah menjadi pembicara (*oral presenter*) pada beberapa seminar internasional yaitu *The 4<sup>th</sup> International Conference on Applied Sciences, Mathematics, and Informatics (ICASMI)* tahun 2022 dengan judul “*Study of Phenol Transport Using Copoly-Eugenol Diallyl Phthalate (Co-EDAF) 8% Based on Supported Liquid Membrane (SLM)*” dan *The 3<sup>rd</sup> ULICoSTE Environmental Issues and Sustainability in the Digital Age* pada dua judul artikel yaitu *Analysis Of Air Pollutants Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>) And Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) At Four Different Locations In Lampung*

*Tengah dan Transport of Phenol using Supported Liquid Membrane method  
Based on Copoly (Eugenol-Diallyl Phthalate): Variations of pH and NaOH.*



Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang

**Dengan mengucap  
Alhamdulillahirabbilalamin  
Kebahagiaan ini dapat kuraih. Ku Persembahkan Karya  
kecilku. Buah manis dari perjuangan dan jerih payahku  
kepada**

Kedua orang tuaku tesayang **Bapak Nurun Hamid dan  
Ibu Sunarwati** yang telah memberikan kasih dan  
sayangnya yang sangat luar bisa dalam membesarkanku,  
mendidik, mendoakan serta merestui setiap langkahku  
ini dan mewujudkan harapan-harapan yang kita impikan  
bersama

**Adikku tercinta Nurwahid Saputra**  
Terima kasih untuk segalanya cinta dan dukungan yang  
kau berikan.

**Para dosen dan guru** yang sangat berjasa  
Tanpa kalian tak kan mungkin aku sampai disini

**Para sahabat dan Teman Seperjuanganku Magister  
Kimia 2021**  
Terima kasih untuk canda, tawa, tangis, dan perjuangan  
yang kita lewati Bersama serta kenangan manis yang  
telah kalian berikan kepada ku

**Almamater tercinta “Universitas Lampung”**

## MOTTO

*“Barang siapa yang menempuh satu jalan untuk mencari ilmu, niscaya Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surge.”*  
*-HR. Abu Hurairah-*

**Opportunities don't happen, we create them**

**"Allah tidak membebankan sesuatu kepada hamba-Nya, melainkan sesuai kemampuannya."  
-QS. Al-Baqarah : 286-**

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya tesis ini dapat diselesaikan.

Tesis dengan judul “Evaluasi Stabilitas dan Kemampuan Membran yang Mengandung Kopolimer Eugenol Dialil Ftalat 8% Untuk Transpor Fenol Menggunakan Metode *Supported Liquid Membrane* (SLM)” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister sains di Universitas Lampung

Penyusunan tesis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak berupa bimbingan, informasi, saran serta dukungan moril dan materil. Oleh karenanya dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc., selaku pembimbing utama dan pembimbing akademik yang menjadi ayah di kampus telah memberikan bimbingan, arahan, bantuan secara moril maupun materil, masukan, kritik, saran serta motivasi dalam pelaksanaan penulisan dan penyelesaian tesis.
2. Ibu Dr. Rinawati, M.Si selaku Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan, arahan, bantuan secara moril maupun materil, masukan, kritik, saran serta motivasi dalam pelaksanaan penulisan dan penyelesaian tesis
3. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si., selaku Dosen Pembahas I dan sebagai sekretaris jurusan kimia fmipa unila, yang telah memberikan bimbingan, arahan, bantuan secara moril maupun materil, masukan, kritik, saran serta motivasi dalam pelaksanaan penulisan dan penyelesaian tesis.
4. Bapak Prof. Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S., selaku Dosen Pembahas II yang telah memberikan bimbingan dan dukungan yang sangat luar biasa untuk

memacu semangat penulis, arahan, bantuan secara moril maupun materil, untuk kesempurnaan tesis.

5. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si., selaku Dosen Pembahas III dan sebagai Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang telah memberikan bimbingan, arahan, bantuan secara moril maupun materil, untuk kesempurnaan tesis.
6. Ibu Prof. Lusmeilia Afriani, D.E.A.,I.P.M. selaku Rektor Universitas Lampung.
7. Bapak Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung, terima kasih atas program beasiswa mahasiswa unggul yang diberikan.
8. Bapak Mulyono, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila atas seluruh ilmu, bimbingan, perhatian dan pengalaman yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan studi ini dengan baik, serta terimakasih kepada staff administrasi Jurusan Kimia FMIPA Unila yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan persyaratan administrasi selama kuliah. Semoga Allah SWT senantiasa membalas kebaikan bapak dan ibu.
10. Seluruh orang yang terlibat dalam proses ini sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini yang tidak dapat penulis tulis dan sebutkan satu-persatu, penulis ucapkan terimakasih.

Akhir kata, penulis menyadari atas segala kekurangan tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga tesis yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi yang membutuhkan. Aamiin.

Bandar Lampung, 19 Juni 2023

**Nurhudawati Ningsih**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	6
1.3 Manfaat Penelitian .....	7
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	8
2.1 Fenol.....	8
2.2 Penanggulangan Limbah Fenol.....	9
2.3 Teknologi Membran Cair.....	12
2.4 <i>Supported Liquid Membrane (SLM)</i> .....	14
2.5 Senyawa Pembawa.....	18
2.6 Polieugenol.....	20
2.7 Dialil Ftalat.....	21
2.8 Karakterisasi dan Analisis.....	22
2.8.1 Spektrofotometri <i>Ultra Violet-Visible (UV-Vis)</i> .....	23
2.8.2 Spektrofotometer <i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i> .....	27
2.8.3 <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i> .....	29
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	32
3.1 Waktu dan Tempat .....	32
3.2 Alat dan Bahan.....	32
3.3 Metode Penelitian.....	33
3.3.1 Perendaman ( <i>Immersion</i> ) Membran SLM .....	33
3.3.2 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Fenol .....	34

3.3.3 Pengukuran Konsentrasi Fenol dalam Sampel.....	34
3.3.4 Optimasi Transpor Fenol .....	35
3.3.5 Uji Kemampuan dan Stabilitas Membran SLM.....	37
3.3.8 Diagram Alir Penelitian .....	41
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>42</b>
4.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum .....	42
4.2 Optimasi Transpor Fenol.....	44
4.2.1 Transpor Fenol dengan Variasi pH pada Fasa Sumber.....	44
4.2.2 Transpor Fenol dengan Variasi NaOH pada Fasa Penerima.....	46
4.2.3 Transpor Fenol dengan Variasi Waktu <i>Immersion</i> (Perendaman Membran).....	50
4.2.4 Transpor Fenol dengan Variasi Konsentrasi Senyawa Pembawa....	51
4.2.5 Transpor Fenol dengan Variasi Waktu Transpor .....	54
4.3 Uji Kemampuan dan Stabilitas Membran .....	59
4.3.1 Variasi Kecepatan Pengadukan.....	60
4.3.2 Variasi Jenis Garam .....	63
4.3.3 Variasi Konsentrasi Garam .....	65
4.3.4 Variasi Pemakaian Berulang.....	68
4.3.5 <i>Lifetime</i> .....	70
4.5 Karakterisasi Membran .....	73
4.5.1 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) Membran SLM .....	73
4.5.2 <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR) Membran SLM .....	74
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>78</b>
5.1 Kesimpulan .....	78
5.2 Saran.....	79
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>80</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>87</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skema sel transpor .....	16
2. Prediksi struktur turunan polieugenol hasil taut silang dengan DAF .....	22
3. Skema alat Spektrofotometri UV-Vis .....	26
4. Reaksi fenol dengan 4-aminoantipirin .....	26
5. Panjang gelombang maksimum fenol .....	27
6. FT-IR spektrum membran SLM PTFE dengan senyawa pembawa	
7. Ko-EDAF .....	28
8. Hasil SEM membran SLM (a) sebelum transpor fenol (b) setelah transpor fenol .....	31
9. Alat transpor fenol ( <i>chamber</i> ).....	33
10. Diagram Alir Penelitian .....	41
11. Analisis UV-Vis panjang gelombang maksimum fenol .....	43
12. Pengaruh pH fenol terhadap % fenol yang tertranspor (Cs : Fasa Sumber, Cp : Fasa Penerima).....	45
13. Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap % fenol yang tertranspor (Cs : Fasa Sumber, Cp : Fasa Penerima).....	47
14. Perubahan senyawa fenol menjadi ion fenolat di fasa penerima .....	49
15. Pengaruh waktu <i>immersion</i> terhadap % fenol yang tertranspor (Cs :Fasa Sumber, Cp : Fasa Penerima).....	50
16. Pengaruh konsentrasi senyawa pembawa terhadap % fenol yang tertranspor (Cs : Fasa Sumber, Cp : Fasa Penerima).....	52
17. Pengaruh waktu transpor terhadap % fenol yang tertranspor (Cs : Fasa Sumber, Cp : Fasa Penerima).....	54
18. Hasil karakterisasi FTIR (a) senyawa pembawa Ko-EDAF 8%; (b) membran SLM sebelum transpor; (c) membran SLM setelah transpor fenol pada waktu transpor 24 jam .....	57
19. Pengaruh kecepatan pengadukan (Cs : Fasa Sumber, Cp : Fasa Penerima) ..	61
20. Pengaruh jenis Garam (Cs : Fasa Sumber, Cp : Fasa Penerima) .....	63

21. Pengaruh konsentrasi garam ( $C_s$ : Fasa Sumber, $C_p$ : Fasa Penerima) .....	66
22. Pengaruh pemakaian berulang terhadap konsentrasi fenol (TP : Tanpa Pencucian, DP : Dengan Pencucian).....	68
23. Perbandingan hasil karakterisasi SEM pada membran SLM (a) sebelum transpor fenol; (b) setelah transpor fenol .....	73
24. Hasil karakterisasi FTIR membran SLM (a) sebelum transpor; (b) setelah transpor pada kecepatan pengadukan 800 rpm; (c) setelah transpor fenol pada jenis garam $\text{NaNO}_3$ di fasa sumber; (d) setelah transpor fenol pada konsentrasi garam $\text{NaNO}_3$ 1 M di fasa sumber (e) setelah transpor fenol pada pemakaian berulang tanpa pencucian; (f) setelah transpor fenol pada pemakaian berulang dengan pencucian.....	75
25. Kurva standar fenol pada variasi pH Fasa Sumber .....	97
26. Kurva standar fenol pada variasi konsentrasi NaOH fasa penerima.....	99
27. Kurva standar fenol pada variasi waktu <i>immersion</i> .....	101
28. Kurva standar fenol pada variasi konsentrasi senyawa pembawa Ko-EDAF 8% .....	103
29. Kurva standar fenol pada variasi waktu transpor.....	105
30. Kurva standar fenol pada variasi kecepatan pengadukan .....	107
31. Kurva standar fenol pada variasi jenis garam .....	109
32. Kurva absorbansi fenol pada variasi konsentrasi garam $\text{NaNO}_3$ pada fasa sumber.....	111
33. Kurva absorbansi fenol pada pemakaian berulang tanpa pencucian.....	113
34. Kurva absorbansi fenol pada pemakaian berulang dengan pencucian.....	115
35. Pembuatan larutan (a) fenol, (b) Senyawa pembawa variasi konsentrasi NaOH 0,1 M.....	118
36. Pembuatan larutan (a) fenol, (b) Senyawa pembawa variasi konsentrasi....	118
37. Pengaturan pH larutan (a) fenol, (b) sampel .....	118
38. Perendaman ( <i>immersion</i> ) membran (a) akuabides (b) senyawa pembawa Ko-EDAF 8% dalam kloroform.....	119
39. Perakitan <i>chamber</i> untuk transpor fenol .....	119
40. Proses transpor fenol.....	119
41. Ekstrak fenol dalam kloroform .....	120
42. Pengompleksan sampel hasil transpor .....	120

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Perbandingan gugus fungsi hasil IR kopoli(Eugenol-DAF), membran PTFE sebelum transpor dan setelah transpor dengan waktu transpor 24 jam.....	58
2. Perbandingan persen transpor fenol terhadap kadar kation Na dan K dari beberapa beberapa garam [0,01 M].....	64
3. Pengukuran pH pada <i>Lifetime</i> membran SLM.....	71
4. Perbandingan gugus fungsi hasil IR PTFE sebelum transpor dan setelah transport .....	77
5. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi pH Fasa Sumber.....	97
6. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi pH Fasa Sumber (Pengulangan 1) .....	97
7. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi pH Fasa Sumber (Pengulangan 2) .....	98
8. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumbebr dan fasa penenerima variasi pH Fasa Sumber (Pengulangan 3).....	98
9. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada variasi pH fasa sumber.....	98
10. Data $\bar{x}$ , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi pH fasa sumber .....	98
11. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi konsentrasi NaOH di fasa penerima.....	99
12. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi NaOH di fasa penerima (Pengulangan 1) .....	99
13. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi NaOH di fasa penerima (Pengulangan 2) .....	100
14. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi NaOH di fasa penerima (Pengulangan 3) .....	100
15. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada variasi konsentrasi NaOH di fasa penerima.....	100

16. Data $\bar{x}$ , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi NaOH di fasa penerima.....	100
17. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi waktu <i>immersion</i> .....	101
18. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi waktu <i>immersion</i> (Pengulangan 1).....	101
19. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis waktu <i>immersion</i> (Pengulangan 2).....	102
20. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi waktu <i>immersion</i> (Pengulangan 3).....	102
21. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada variasi waktu <i>immersion</i> .....	102
22. Data $\bar{x}$ , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi waktu <i>immersion</i> .....	102
23. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi konsentrasi senyawa pembawa Ko-EDAF 8%.....	103
24. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi senyawa pembawa Ko-EDAF 8% (Pengulangan 1).....	103
25. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi senyawa pembawa Ko-EDAF 8% (Pengulangan 2).....	104
26. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi senyawa pembawa Ko-EDAF 8% (Pengulangan 3).....	104
27. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada variasi konsentrasi senyawa pembawa Ko-EDAF 8% .....	104
28. Data $\bar{x}$ , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi senyawa pembawa Ko-EDAF 8%.....	104
29. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi waktu transpor .....	105
30. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi waktu transpor (Pengulangan 1) .....	105
31. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi waktu transpor (Pengulangan 2) .....	106
32. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi waktu transpor (Pengulangan 3) .....	106
33. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada variasi waktu transpor .....	106
34. Data $\bar{x}$ , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi waktu transpor .....	106
35. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi kecepatan pengadukan.....	107

36. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi kecepatan pengadukan (Pengulangan 1) .....	107
37. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi kecepatan pengadukan (Pengulangan 2) .....	108
38. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi kecepatan pengadukan (Pengulangan 3) .....	108
39. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada variasi kecepatan pengadukan .....	108
40. Data $\bar{x}$ , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi kecepatan pengadukan.....	108
41. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi jenis garam.....	109
42. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis garam (Pengulangan 1).....	109
43. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis garam (Pengulangan 2).....	110
44. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis garam (Pengulangan 3).....	110
45. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada variasi jenis garam.....	110
46. Data $\bar{x}$ , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis garam .....	110
47. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi konsentrasi garam NaNO <sub>3</sub> pada fasa sumber .....	111
48. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam NaNO <sub>3</sub> pada fasa sumber (Pengulangan 1) .....	111
49. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam NaNO <sub>3</sub> pada fasa sumber (Pengulangan 2) .....	112
50. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam NaNO <sub>3</sub> pada fasa sumber (Pengulangan 3) .....	112
51. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada variasi konsentrasi garam NaNO <sub>3</sub> pada fasa sumber.....	112
52. Data $\bar{x}$ , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam NaNO <sub>3</sub> pada fasa sumber .....	112
53. Absorbansi larutan standar fenol pada pemakaian berulang tanpa pencucian .....	113
54. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang tanpa pencucian (Pengulangan 1) .....	113

55. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang tanpa pencucian (Pengulangan 2) .....	114
56. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang tanpa pencucian (Pengulangan 3) .....	114
57. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada pemakaian berulang tanpa pencucian.....	114
58. Data $\bar{x}$ , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang tanpa pencucian .....	114
59. Absorbansi larutan standar fenol pada pemakaian berulang dengan pencucian .....	115
60. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang dengan pencucian (Pengulangan 1) .....	115
61. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang dengan pencucian (Pengulangan 2) .....	116
62. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang dengan pencucian (Pengulangan 3) .....	116
63. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada pemakaian berulang dengan pencucian.....	116
64. Data $\bar{x}$ , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang dengan pencucian .....	116
65. Data pengamatan pH <i>lifetime</i> tanpa penambahan garam .....	116
66. Data pengamatan pH <i>lifetime</i> dengan penambahan garam NaCl.....	117
67. Data pengamatan pH <i>lifetime</i> dengan penambahan garam NaNO <sub>3</sub> 0,01 M. ....	117
68. Data pengamatan pH <i>lifetime</i> dengan penambahan garam NaNO <sub>3</sub> 0,1 M... ..	117
69. Data pengamatan pH <i>lifetime</i> dengan penambahan garam NaNO <sub>3</sub> 1 M.....	117

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan sektor industri yang sangat pesat tidak hanya memberikan dampak positif terhadap perkembangan perekonomian, kemajuan sosial serta teknologi bagi masyarakat, namun juga memberikan dampak negatif berupa hasil samping berbagai limbah termasuk limbah cair. Pada umumnya limbah cair tersebut masih mengandung sejumlah partikel polutan yang berbahaya bagi kesehatan manusia, kelestarian lingkungan, serta ekosistem. Limbah cair yang tidak diolah dengan baik dapat mengontaminasi sistem ekologi sumber air terbuka seperti laut, sungai dan danau, serta sistem ekologi di wilayah udara maupun tanah. Secara langsung maupun tidak langsung, keberadaan air yang terkontaminasi oleh berbagai polutan tersebut membawa dampak yang merugikan bagi kesehatan manusia dan kelangsungan hidup makhluk biotik serta kelestarian alam. Salah satu polutan organik berbahaya yang berasal dari buangan limbah industri adalah fenol (Kazemi *et al.*, 2014).

Fenol merupakan suatu material organik yang secara luas digunakan di industri plastik, pelumas, cat, obat-obatan, pertanian dan resin. Fenol diklasifikasikan menjadi salah satu polutan hasil industri yang sangat korosif dan beracun. Pengolahan limbah fenol yang efisien harus diupayakan untuk mengurangi efek berbahaya yang disebabkan oleh limbah fenol tersebut (Sygouni *et al.*, 2019). Kontaminasi fenol pada konsentrasi di atas ambang batas menyebabkan pencemaran air dan berbahaya bagi manusia baik jangka pendek maupun jangka panjang (Maslahat *et al.*, 2016; Refinel *et al.*, 2019). Apabila fenol masuk ke dalam tubuh dapat merusak protoplasma atau sel-sel darah, dapat mengalami

gangguan motoris berupa gangguan otak, trombosis vena, dan neurolisis kimiawi. Fenol juga dapat menimbulkan nekrosis kulit dan apabila terkena mata dapat menimbulkan iritasi (Suprasetyo dan Setiarso, 2016). Oleh karena itu, harus diberikan pengolahan atau pemulihan yang tepat untuk menangani limbah cair yang mengandung fenol sebelum dialirkan ke tempat pembuangan akhir.

Metode untuk pengolahan atau pemulihan limbah fenol dan turunannya banyak diterapkan seperti adsorpsi, fotodekomposisi, penguapan dan berbagai metode biologis dan non-biologis lainnya (Kulkarni *et al.*, 2013). Pengurangan dampak limbah fenol atau *recovery* fenol dengan metode klasik seperti adsorpsi (Gaber *et al.*, 2017), koagulasi (Pan *et al.*, 2016), distilasi (Sklavos *et al.*, 2015), dan biodegradasi (Praveen *et al.*, 2015). Namun, metode klasik seperti cara adsorpsi dan koagulasi, dan lain-lain, membutuhkan bahan kimia yang banyak. Oleh karena itu, pada saat ini banyak dikembangkan pemisahan fenol dengan menggunakan teknologi membran, salah satunya adalah membran cair. Villegas *et al.*, (2016) mengemukakan bahwa hasil pemisahan menggunakan membran cair dipercaya lebih sedikit penggunaan bahan kimia daripada metode klasik dan lebih ekonomis dibandingkan dengan metode ekstraksi cair-cair lain.

Membran adalah suatu lapisan antara dua fase bersebelahan yang bertindak sebagai suatu penghalang selektif yang mampu mengatur transpor komponen kimia yang berada pada sisi yang terpisah. Berdasarkan pada struktur dan prinsip pemisahannya, membran terdiri dari tiga jenis yaitu membran berpori, membran tidak berpori, dan membran cair. Teknik membran cair banyak digunakan untuk pemisahan fenol dari lingkungan perairan. Membran cair digunakan karena nilai difusivitasnya yang tinggi terhadap medium cair. Teknik *Supported Liquid Membrane* (SLM) adalah salah satu teknik membran cair metode kombinasi ekstraksi cair-cair simultan yang efisien dan berkemampuan tinggi dibuktikan oleh banyak penelitian (Venkateswaran *and* Palanivelu, 2006; Nosrati *et al.*, 2011; Kazemi *et al.*, 2013; Yang *et al.*, 2015; Amini *et al.*, 2018). Selama ini, banyak peneliti telah memanfaatkan SLM di berbagai bidang keilmuan antara lain kimia analitik, kimia organik dan anorganik, teknik kimia, bioteknologi dan biofarmasi.



Transpor dinamis, selektivitas tinggi, konsumsi energi yang rendah, dan biaya operasional yang rendah adalah bagian dari keuntungan yang dikaitkan dengan SLM (Amini *et al.*, 2018).

Teknologi membran cair memungkinkan untuk mencapai selektivitas yang tinggi serta penggunaan energi dan material yang relatif efisien dibandingkan dengan banyak teknik pemisahan lainnya dalam pemulihan limbah cair fenol. Namun, terlepas dari keunggulan yang diketahui dari membran cair tersebut, sangat sedikit contoh aplikasinya dalam industri karena terdapat kendala dengan stabilitas membran cair. Kelemahan utama dari sistem berbasis SLM adalah rendahnya stabilitas. Karena kelemahan ini, sebagian metode besar berbasis SLM tidak dapat ditingkatkan ke tingkat industri. Alasan metode SLM menjadi kurang stabil adalah mengeluarkan cairan pada fasa membran dari pori-pori dalam bahan pendukung (Kazemi *et al.*, 2014). Selain itu, penerapan SLM skala besar terbatas karena masa pakai membran yang relatif singkat (Zante *et al.*, 2021). Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan evaluasi penggunaan membran SLM agar aplikasinya dalam pemisahan fenol pada limbah cair menjadi lebih efektif dan efisien.

Metode SLM telah digunakan oleh Othman *et al.*, (2015) untuk memisahkan fenol dari limbah cair. SLM merupakan membran yang terdiri dari polimer pendukung dan senyawa pembawa (*Carrier*). Polimer pendukung juga memiliki peran penting untuk meningkatkan kinerja membran guna memurnikan air secara efektif dari polutan berbahaya (Mansoori *et al.*, 2020). Di sisi lain, meningkatkan stabilitas membran dengan polimer pendukung ini menjadi salah satu fokus dalam penelitian ini. Tinjauan ini berkaitan dengan memperkenalkan fitur polimer pendukung yang menjanjikan yang dapat digunakan sebagai bahan dalam membran untuk pengolahan limbah cair

Senyawa pembawa merupakan salah satu komponen dalam membran sehingga proses pemisahan dapat berjalan. Proses pemisahan menggunakan metode membran SLM selalu memerlukan suatu *carrier* sebagai senyawa yang

menginisiasi senyawa target untuk dapat tertransportasi dari fasa sumber ke fasa penerima. Senyawa pembawa memfasilitasi transport senyawa target dari fasa sumber ke fase penerima, senyawa ini dibuat dengan mempertimbangkan kemiripan sisi aktif antara senyawa pembawa dan senyawa target. Senyawa *carrier* berbasis senyawa bahan alam, salah satunya adalah polieugenol yaitu senyawa yang dihasilkan dari polimerisasi eugenol. Eugenol merupakan salah satu komponen kimia yang terdapat dalam minyak daun cengkeh yang dihasilkan melalui destilasi uap. Eugenol memiliki tiga gugus fungsional yaitu gugus alil, hidroksi dan metoksi. Keberadaan eugenol yang cukup melimpah di Indonesia menjadi salah satu alasan mengapa eugenol layak untuk dikembangkan. Oleh karena itu, pengembangan dan pemanfaatan polieugenol perlu diperluas untuk meningkatkan nilai ekonomis dari senyawa eugenol. Eugenol dalam daun cengkeh ini dapat digunakan sebagai bahan awal sintesis menjadi polieugenol melalui sintesis langsung menggunakan katalis baik asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) maupun boron triflorida dietil eter [ $BF_3O(C_2H_5)_2$ ]. Polimer hasil sintesis ini belum efektif karena memiliki kemampuan interaksi dengan senyawa target yang rendah. Hal ini dimungkinkan karena polimer hasil sintesis ini memiliki berat molekul yang rendah. Polimer dengan berat molekul yang rendah dimungkinkan memiliki sisi aktif terbatas (Kiswandono *et al.*, 2019).

Polieugenol dapat ditaut silang dengan senyawa diena melalui reaksi kopolimerisasi. Polieugenol dapat digunakan sebagai senyawa pembawa pada transport fenol dikarenakan polieugenol dan fenol adalah senyawa yang sama-sama memiliki gugus  $-OH$ . Selain itu, senyawa polieugenol dapat membentuk interaksi  $\pi-\pi$  dengan fenol karena keduanya memiliki cincin benzena. Salah satu senyawa diena yang dapat digunakan sebagai agen tautsilang adalah dialil ftalat (DAF). Reaksi kopolimerisasi antara polieugenol dengan senyawa DAF bertujuan untuk meningkatkan sisi aktif sehingga akan meningkatkan kemampuan membran dalam interaksi dengan senyawa target. Hal tersebut dikarenakan tautsilang ini akan menyebabkan berat molekul hasil polimer meningkat karena menghasilkan senyawa kopolimer eugenol DAF. Jika berat molekul semakin besar maka sisi aktif (gugus  $-OH$  dan cincin benzena) yang dimiliki akan semakin banyak.

Peningkatan sisi aktif pada polimer hasil sintesis ini diharapkan dapat meningkatkan kecepatan transpor sehingga proses transpor lebih cepat dan efisien (Kiswando *et al.*, 2019).

*Carrier* berbasis senyawa bahan alam lain yang dapat digunakan adalah Kopoli Eugenol Dialil Ftalat (Ko-EDAF). Kopoli Eugenol Dialil Ftalat merupakan senyawa hasil modifikasi kopolimerisasi dari senyawa eugenol yang diharapkan dapat meningkatkan jumlah sisi aktif pada polimer yang digunakan sebagai *carrier* pada proses transpor fenol. Pada proses transpor fenol, *carrier* berfungsi memfasilitasi senyawa target untuk melalui membran. Kopoli Eugenol Dialil Ftalat (Ko-EDAF) 8% telah digunakan oleh Kiswando, *et al.*, (2019) sebagai senyawa pembawa untuk menguji kemampuan transpor fenol menggunakan teknologi membran cair. Penelitian tersebut memberikan hasil bahwa Ko-EDAF dapat digunakan sebagai senyawa pembawa untuk transpor fenol dan mampu mentranspor fenol ke fasa penerima lebih dari 70% dengan waktu transpor 12 jam. Selain itu, membran dengan senyawa pembawa Ko-EDAF 8% tersebut dapat digunakan lebih dari satu kali transpor fenol dengan metode *Polimer Inclusion Membrane* (PIM).

Peneliti sebelumnya mengkaji transpor fenol menggunakan SLM telah banyak dilakukan, salah satunya adalah Yulita (2018) menggunakan *carrier* Ko-EDAF 8% untuk pemisahan fenol menggunakan SLM dengan membran pendukung Politetrafluoroetilen (PTFE). Hasil uji transpor fenol menunjukkan bahwa SLM menggunakan senyawa pembawa Ko-EDAF 8% mampu mentranspor fenol hingga sebesar 93,33% dengan waktu transport selama 13 jam. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode SLM mampu mentranspor fenol lebih banyak daripada menggunakan metode PIM. Namun, metode SLM sendiri memiliki masalah mengenai kestabilan yang rendah. Alasan sistem SLM menjadi tidak stabil adalah hilangnya fasa membran cair (*carrier*) dari pori-pori bahan pendukung membran. Ketidakstabilan ini (kehilangan *carrier*) dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter, seperti perbedaan tekanan osmotik yang melintasi membran, kelarutan senyawa pembawa, degradasi kimiawi dari fase penerima,

dan pembasahan pori-pori pendukung membran oleh fase air (Van de Voorde *et al.*, 2004 dan Kazemi *et al.*, 2013).

Berdasarkan hal di atas, pada penelitian ini mempelajari transpor fenol menggunakan metode SLM yang mengandung senyawa pembawa Ko-EDAF 8% dengan parameter seperti variasi pH fasa sumber, konsentrasi fasa penerima, waktu *immersion* membran SLM, konsentrasi senyawa pembawa Ko-EDAF 8% dan waktu transpor fenol. Selain itu akan dilakukan evaluasi untuk mengetahui stabilitas dan kemampuan metode SLM untuk pemisahan fenol yang mengandung senyawa pembawa Ko-EDAF 8% dengan parameter kecepatan pengadukan, jenis dan konsentrasi garam, pemakaian berulang, dan umur membran (*lifetime*). Penelitian ini akan difokuskan pada optimasi dan evaluasi membran SLM untuk pemisahan fenol, sehingga akan diperoleh hasil mengenai efektivitas metode SLM yang mengandung Ko-EDAF 8% dalam hal transpor fenol.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan optimasi membran SLM yang mengandung Ko-EDAF 8% dengan parameter pH fasa sumber, konsentrasi fasa penerima, waktu *immersion* membran SLM, konsentrasi senyawa pembawa Ko-EDAF 8% dan waktu transpor fenol menggunakan membran SLM.
2. Melakukan uji stabilitas dan kemampuan membran SLM yang mengandung Ko-EDAF 8% meliputi kecepatan pengadukan, jenis dan konsentrasi garam, pemakaian berulang, dan umur membran (*lifetime*).
3. Menganalisis membran SLM yang mengandung Ko-EDAF 8% sebelum dan sesudah transpor menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan *Scanning Elektron Microscope* (SEM).

### **1.3 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengoptimalkan pemanfaatan senyawa alam eugenol sebagai kontribusi dalam upaya pengurangan limbah cair fenol menggunakan metode SLM dengan senyawa pembawa Ko-EDAF 8%.
2. Memberi manfaat terhadap instansi pendiri industri maupun laboratorium yang menghasilkan buangan limbah, dalam melakukan pengolahan air yang tercemar oleh polutan organik fenol sehingga pengelola dapat mengolah limbah secara mandiri dalam mengurangi pencemaran terhadap lingkungan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Fenol

Fenol adalah senyawa organik yang digunakan secara luas dalam aplikasinya. 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. Fenol bersifat korosif terhadap kulit serta karsinogenik dan dianggap sebagai salah satu pencemar lingkungan dalam berbagai limbah industri yang perlu dihilangkan. Fenol merupakan salah satu polutan berbahaya yang terakumulasi dalam perairan dan bersifat stabil (Rosly *et al.*, 2018). Fenol yang dikenal juga sebagai monohidroksibenzena merupakan kristal putih dengan titik leleh 40,85 °C dan titik didih 182 °C. Fenol larut dalam air pada temperatur kamar, setiap 1 g fenol larut dalam 15 mL air, larut dalam 12 mL benzena dan sangat larut dalam alkohol, kloroform, eter, gliserol dan karbon disulfida. Fenol merupakan asam lemah dengan pKa 9,98. Pada kondisi asam, fenol akan berada dalam bentuk molekular, sedangkan pada kondisi basa, fenol akan berada dalam bentuk fenolat. Molekul fenol mempunyai kecenderungan untuk melepas ion H<sup>+</sup> dengan penambahan basa kuat seperti NaOH menjadi ion fenolat (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sup>-</sup>) yang larut dalam air (Kiswando *et al.*, 2020).

Fenol adalah alkohol aromatik kristal tidak berwarna yang memiliki bau manis. Fenol merupakan senyawa fenolik yang memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan hidrogen dengan molekul lain. Senyawa fenolik dianggap sebagai produk kimia yang berharga dalam berbagai aplikasi seperti perekat, pewarna, germisida dan bahan kimia perantara. Namun, pencemaran fenol dapat mengancam lingkungan yang meliputi flora dan fauna, dan kesehatan manusia (Jiao *et al.*,

2013). Fenol dan turunannya termasuk di antara bentuk polutan kimia yang paling umum dalam air limbah. Mereka hadir dalam limbah cair berbagai industri, seperti kilang minyak (6-500 mg / L), pengolahan batubara (9-6800 mg / L), dan pembuatan petrokimia (2,8- 1220 mg / L). Sumber lain dari air aliran limbah yang mengandung fenol adalah industri farmasi, plastik, kayu, cat, pulp dan kertas (0,1-1600 mg / L). Limbah fenol yang dibuang ke sistem air dapat menghasilkan bau yang tidak sedap dan berbahaya bagi kesehatan manusia. Limbah fenol bersifat toksisitas dan memiliki efek karsinogenik sehingga fenol dianggap sebagai polutan di lingkungan. Oleh karena itu, air limbah fenolik menjadi perhatian besar dalam pengolahan air limbah (Othman *et al.*, 2015). Berbagai metode potensial untuk pemisahan dan pemulihan senyawa fenolik dikembangkan untuk menghilangkan fenol yang tidak diinginkan dan mendapatkan senyawa fenol yang berharga agar dapat dimanfaatkan kembali.

Fenol adalah senyawa yang memiliki gugus –OH dan cincin benzena, maka senyawa yang akan berhasil mentranspor fenol adalah senyawa yang juga memiliki sisi aktif tersebut atau senyawa yang memungkinkan dapat terjadinya interaksi diantara keduanya. Interaksi yang mungkin adalah pembentukan ikatan hidrogen dan interaksi ikatan  $\pi$ - $\pi$  dengan fenol. Pembentukan ikatan ini berdasarkan pada teori ikatan hidrogen dan interaksi ikatan  $\pi$ - $\pi$ . Atom hidrogen dari suatu molekul yang bersifat parsial positif dapat ditarik oleh pasangan elektron bebas dari atom suatu molekul lain yang bersifat elektronegatif. Tarikan ini disebut ikatan hidrogen (Benosmane *et al.*, 2018).

## 2.2 Penanggulangan Limbah Fenol

Ada berbagai teknik penghilangan dan pemulihan fenol yang dapat diklasifikasikan menjadi tradisional, dan teknik lanjutan. Teknik tradisional menggabungkan adsorpsi, ekstraksi cair-cair, distilasi uap, oksidasi kimia, dan biodegradasi, sedangkan teknik lanjutan menggabungkan proses oksidasi foto dan teknologi pemisahan membran. Perlakuan konvensional seperti distilasi, adsorpsi, ekstraksi, oksidasi kimia, dan oksidasi elektrokimia menunjukkan efisiensi tinggi

dengan berbagai senyawa fenolik, sementara teknik lanjutan seperti proses fenton, ozonasi, oksidasi udara basah, teknologi membran dan fotokimia menggunakan lebih sedikit bahan kimia dibandingkan dengan konvensional tetapi memiliki biaya energi yang tinggi (Villegas *et al.*, 2016).

Pada dasarnya, kelayakan teknik pemisahan direvisi sesuai dengan: jenis air limbah, komposisi air limbah, efisiensi pengolahan, dan biaya operasi. Teknik pemisahan yang paling umum untuk penghilangan fenol adalah adsorpsi. Pemisahan dan pemulihan (*recovery*) ditujukan untuk menghilangkan fenol yang tidak diinginkan dan mendapatkan senyawa fenol yang berharga serta dapat dimanfaatkan kembali dalam proses perindustrian. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa penggunaan salah satu zeolit *imidazolate frameworks*, sebagai penyerap dalam penghilangan fenol meningkatkan kapasitas adsorpsi fenol yang tinggi (Pan *et al.*, 2016).

Kesulitan dalam pemulihan adsorben seperti karbon aktif dari air yang diolah dan biaya tinggi telah menjadi kelemahan utama dari proses adsorpsi. Teknik lain dalam penghilangan dan pemulihan fenol, yang merupakan ultrafiltrasi telah dipelajari oleh banyak peneliti. Masalah mengenai teknik ini adalah tidak mampu untuk menghilangkan berat molekul kecil ion logam dan zat terlarut organik seperti fenol di mana ultrafiltrasi sistem dengan banyak ukuran membran pori kecil diperlukan untuk menghilangkan ion logam atau organik dengan berat molekul kecil polutan dan ini secara signifikan akan meningkatkan modal dan biaya operasi. Ekstraksi cair-cair juga salah satunya dari teknik penghilangan fenol. Namun, penggunaan pelarut berbasis minyak bumi seperti minyak tanah, benzena dan toluena terbatas karena sifat mudah terbakar dan toksisitasnya yang tinggi (Othman *et al.*, 2015).

Beberapa peneliti juga melakukan berbagai macam metode lain dalam upaya mengatasi limbah fenol. Pemulihan senyawa fenol menggunakan metode distilasi hanya mampu memindahkan 4% dari total fenol limbah cair industri minyak zaitun (Sklavos *et al.*, 2015). Urtiaga *et al.*, (2009) melakukan *recovery* fenol dari resin fenolat dengan menggunakan *emulsion pertraction technology* (EPT). Pan



*et al.*, (2016) melakukan kajian adsorpsi menggunakan zeolit *imidazolate frameworks*. Metode-metode tersebut mempunyai kekurangan, seperti biaya operasional yang tinggi, pembentukan produk samping yang berbahaya, efisiensi dan konsentrasi terbatas untuk metode tertentu dan tidak ekonomis karena membutuhkan bahan, biaya dan energi yang besar (Sun *et al.*, 2017). Salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk menangani limbah fenol adalah teknologi membran.

Membran adalah lapisan tipis semipermeabel yang berada diantara dua fasa dan berfungsi sebagai media pemisah yang selektif. Membran berfungsi sebagai rintangan yang selektif terhadap aliran molekul atau ion yang terdapat dalam cairan atau uap yang berhubungan dengan kedua sisinya. Membran memisahkan dua komponen dengan cara menahan dan melewatkan komponen tertentu melalui pori-pori. 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 (Benosmane *et al.*, 2018).

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. Metode potensial dari teknologi membran untuk penghilangan dan pemulihan fenol adalah dengan menggunakan *Supported Liquid Membrane* (SLM). Mekanisme ekstraksi membran cair SLM 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 cair ini diyakini mempunyai keuntungan dibandingkan dengan metode pengolahan lainnya, antara lain dari segi teknik, ekonomi dan energi (Amini *et al.*, 2018).

Salah satu aplikasi SLM adalah pemisahan senyawa organik seperti fenol (Yang *et al.*, 2015). Teknik ini mampu mentranspor fenol menggunakan senyawa pembawa *bis-(2-ethylhexyl) sulfoxide*, dengan menggunakan membran SLM, hasil eksperimen menunjukkan bahwa lebih dari 91 % fenol dapat tertransportasi dengan waktu transport selama 12 jam. Venkateswaran *and* Palanivelu, (2006) menggunakan SLM yang mengandung minyak nabati sebagai membrannya, dan *Poly-tetrafluoroethylene* (PTFE) yang menghasilkan efisiensi penyisihan fenol 95%. Operator lain seperti sebagai *organosiloxane dodecane* dan garam 1-n-alkil-3-metylimidazolium telah digunakan dalam struktur SLM. Dalam sistem ini, NaOH digunakan sebagai agen pelucut yang menghasilkan efisiensi yang menguntungkan (Nosrati *et al.*, 2011).

### 2.3 Teknologi Membran Cair

Teknologi membran telah muncul sebagai teknologi baru yang menjanjikan untuk mengatasi masalah pengolahan dan pemulihan limbah cair fenol melalui karakteristik unggulannya seperti efisiensi pemisahan yang tinggi, selektivitas yang ditingkatkan, masa pakai dengan rentang yang lebih lama, stabilitas yang baik, biaya rendah, dan pemeliharaan yang minimum (Amini *et al.*, 2018). Selain itu, kelebihan menggunakan metode membran sebagai salah satu metode pemisahan adalah tidak berubahnya struktur molekul senyawa yang dipisahkan, sehingga menyebabkan prosesnya lebih sederhana. Teknologi pemurnian menggunakan membran memungkinkan untuk meningkatkan desain industri dengan menghilangkan segala jenis bahan kimia tambahan dan berbahaya sebagai produk sampingan. 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).

Berdasarkan pada struktur dan prinsip pemisahannya, membran terdiri dari tiga jenis yaitu membran berpori (*porous membrane*), membran tidak berpori (*non porous membrane*), dan membran cair (*liquid/carrier membrane*). Teknik

membran cair banyak digunakan untuk pemisahan fenol dari lingkungan perairan. Membran cair digunakan karena nilai difusivitasnya yang tinggi terhadap medium cair. Pada membran cair, terdapat molekul pembawa (*carrier*) yang dapat meningkatkan permeabilitas membran. Pemisahan fenol dengan menggunakan membran cair didasarkan atas perbedaan kelarutan fenol yang berada dalam fasa larutan dan fasa organik, hal ini sesuai dengan definisi membran cair yaitu lapisan cair tipis yang bersifat *semipermeable* yang memisahkan dua fasa cair atau dua fasa gas. Prinsip pemisahan pada membran cair tidak ditentukan oleh membran itu sendiri, tetapi oleh sifat molekul pembawa spesifik. *Carrier* tetap berada di dalam membran dan diimobilisasi pada suatu pori polimer pendukung (Basir, 2015).

Mekanisme transpor senyawa melewati membran cair dibagi menjadi beberapa tahap:

1. Penyerapan pada permukaan fasa sumber.
2. Terjadinya reaksi kompleks dengan *carrier*.
3. Difusi antara senyawa target atau kompleks senyawa target dengan *carrier* melewati membran cair.
4. Penguraian kompleks *carrier* pada permukaan fasa penerima.
5. Pelepasan senyawa target (Ferraz *et al.*, 2007).

Transpor fenol melalui membran secara keseluruhan meliputi 2 tahap, yaitu transpor senyawa target melewati 2 permukaan (permukaan fasa sumber dan permukaan *carrier*) dan difusi melewati membran. Tahap pertama, senyawa target yang telah berdifusi pada fasa sumber bereaksi dengan *carrier* membentuk kompleks dan selanjutnya akan ditranspor melewati membran cair menuju fasa penerima. Kompleks antara senyawa target dan *carrier* kemudian terpisah dan senyawa target terlepas menuju fasa pelucut, sehingga reaksi ini dapat terjadi secara terus menerus (Nghiem *et al.*, 2006).

Teknologi membran cair telah diaplikasikan pada bidang teknologi kimia dan farmasi, bioteknologi, pengolahan makanan dan rekayasa lingkungan. Di sisi lain, penggunaannya di bidang lain, seperti di kasus pemisahan hidrogen, pemulihan

senyawa aroma dari buah-buahan, penerapan cairan ionik dalam membran formulasi, dan lain-lain., juga telah meningkat dengan pesat. Membran juga memiliki ruang lingkup yang luas dan mudah diperoleh dalam bahan pembuatnya. Secara umum, bahan membran dapat dikategorikan menjadi tiga kelas yang berbeda secara fundamental termasuk organik (polimer), bahan anorganik (keramik) dan bahan biologis (Goh *and* Ismail, 2018). Polimer membran dianggap sebagai membran yang paling menguntungkan untuk pengolahan limbah cair aplikasi pemurnian karena sifat mekanik, termal, kimia, dan perlawanan korosi (Zahid *et al.*, 2018).

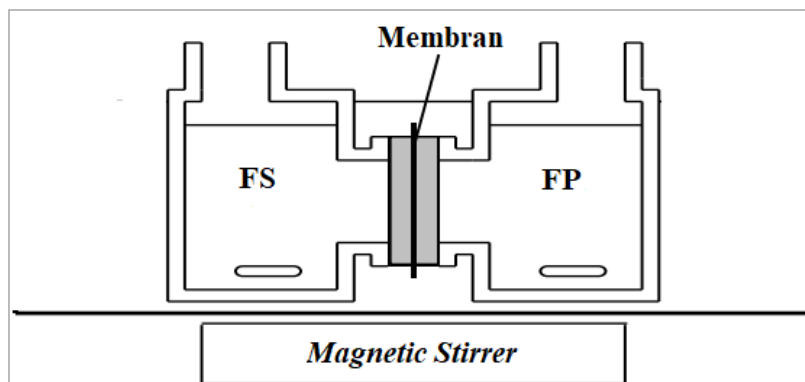
Salah satu teknologi membran adalah membran cair. Membran cair sangat menarik dalam hal pemisahan dan efektif pada berbagai aplikasi. Beberapa jenis membran cair telah digunakan dalam teknik kimia, kimia anorganik, analitik, bioteknologi dan biomedikal. Proses pemisahan dengan membran cair dapat dilakukan pada suhu kamar, tidak bersifat destruktif dan dapat dikombinasikan dengan proses lainnya tanpa penambahan zat lain. Membran cair terbagi menjadi tiga, yaitu membran cair ruah (*Bulk Liquid Membranes*, BLM) (Djunaidi *et al.*, 2018), membran cair emulsi (*Emulsion Liquid Membranes*, ELM) (Rosly *et al.*, 2018) dan membran cair berpendukung (*Supported Liquid Membranes*, SLM) (Bhatluri *et al.*, 2015; Alguacil *and* Lopez, 2021). Pemisahan fenol menggunakan membran cair dapat dilakukan menggunakan metode BLM, SLM, ataupun ELM. Kekurangan dari BLM adalah luas permukaan membrannya kecil sehingga penggunaan BLM hanya terbatas skala kecil yaitu skala laboratorium. ELM memiliki kekurangan yaitu dapat merusak pemisahan, hal ini karena adanya pembawa emulsi yang tidak cukup stabil dan sulit memecah emulsi. Para peneliti biasanya menggunakan membran SLM untuk mengatasi kelemahan yang terjadi pada membran BLM dan ELM (Bhatluri *et al.*, 2015).

#### **2.4 *Supported Liquid Membrane (SLM)***

Membran cair berpendukung adalah salah satu metode pemisahan berbasis membran yang dikembangkan dari teknik ekstraksi pelarut, yaitu dengan

mengamobilkan zat pengestraksi (*carrier*) pada suatu membran polimer berpori. Salah satu jenis metode membran cair dimana cairan organik yang dipakai tidak bercampur antara fasa sumber dan fasa penerima yaitu SLM. Teknik SLM didasarkan pada distribusi cair-cair pada kondisi non kesetimbangan. Senyawa pembawa yang digunakan berupa zat organik yang ditempatkan dalam membran polimer berpori. Teknik SLM telah memperlihatkan kemampuannya yang efektif dan luas untuk ekstraksi berbagai larutan encer, seperti logam-logam (Indarti dkk., 2017; Pont *et al.*, 2018; Duan *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2022), pemisahan CO<sub>2</sub> dari udara (Li *et al.*, 2016), dan pemisahan fenol dari air limbah (Othman *et al.*, 2015; Benosmane *et al.*, 2018; Kiswandono *et al.*, 2022).

Prinsip kerja dari SLM sama seperti membran cair yaitu komponen yang dipisahkan dari fase sumber berdifusi melewati fase membran dan menuju ke fase penerima. Daya dorongnya adalah perbedaan konsentrasi antara kedua komponen tersebut. Efisiensi transpor membran bergantung pada perbedaan koefisien partisi pada sistem membran. Komponen yang mampu tertranspor adalah komponen yang mudah berdifusi dari fase sumber ke fase membran, dan mudah terlepas dari fase membran ke fase penerima. Membran cair berpendukung merupakan salah satu dari sistem membran tiga fase yang mana fase membran (cair) didesain dengan gaya kapilaritas dalam pori dari suatu lapisan polimer atau lapisan anorganik yang berpori sangat kecil. Membran SLM memiliki dua komponen senyawa yang terdiri dari polimer sebagai senyawa pendukung dan bahan-bahan pendukung anorganik. Pemisahan fenol menggunakan membran cair dapat dilakukan menggunakan metode SLM, kajian transpor fenol ini biasanya menggunakan *chamber* sebagai alat transpor yang memisahkan antara fasa sumber dan fasa penerima (Kiswandono *et al.*, 2019). Skema sel transpor fenol menggunakan membran SLM dapat dilihat pada Gambar 1 (Benjjar *et al.*, 2012).



**Gambar 1.** Skema sel transpor

Penelitian menggunakan metode SLM telah banyak dilakukan, Alguacil *and* Lopez (2021) melakukan penghilangan besi(III) dari campuran. Kazemi *et al.*, (2013) juga melakukan pemisahan zat warna metilan biru dari limbah cair industri tekstil dengan menggunakan metode SLM. Pemisahan dilakukan dengan membran SLM yang menggunakan *mono-(2-ethylhexyl) ester of phosphoric acid* (M<sub>2</sub>EHPA) dan *bis-(2-ethylhexyl) ester of phosphoric acid* (D<sub>2</sub>EHPA) sebagai *carrier* dan minyak sayur sebagai membran cair. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keadaan optimum zat warna metilen biru mampu tertranspor dengan baik pada pH 6 pada fasa sumber dan konsentrasi asam asetat pada fasa penerima yaitu 0,4 M. Metode SLM juga mampu memperoleh kembali (*recovery*) bismuth dari perairan menggunakan Cyanex 921 sebagai ekstraktan (Reyes *et al.*, 2008). Penambahan HCl pada fasa sumber meningkatkan efisiensi SLM. Persentase *recovery* bismuth paling tinggi dicapai dengan menggunakan HCl 0,5 M yaitu sebesar 90%. Muthuraman dan Palanivelu, (2006) menggunakan minyak sayur sebagai *carrier* dalam membran untuk *recovery* zat warna tekstil dengan sistem SLM.

Metode SLM juga dapat digunakan untuk *recovery* atau transpor suatu logam. Pemisahan efektif kation logam alkali menggunakan SLM, selektivitas membran pada dasarnya didasarkan pada perbedaan energi dehidrasi dan mobilitas antara ion jenis (Qian *et al.*, 2020). Jariah dkk., (2017) melakukan *recovery* perak dari limbah dengan menggunakan membran SLM. *Carrier* yang digunakan yaitu campuran D<sub>2</sub>EHPA dan tibatil fosfat (TPB) dan pelarut yang digunakan yaitu

kerosen. Penelitian ini dilakukan dengan menambahkan senyawa pengkompleks berupa  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  dan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ke dalam asam nitrat yang berada pada fase penerima yang bertujuan untuk memaksimalkan proses transpor. Hasil yang didapatkan yaitu senyawa perak dapat tertranspor dengan baik ketika penambahan senyawa kompleks  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ , sedangkan penambahan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  pada fasa penerima tidak menaikkan persen transpor.

Pemisahan tembaga(II) dari larutan amonia/amonium sulfat dan pemisahan Cd dari dalam salinitas atau keasaman media berair menggunakan SLM telah terbukti berhasil (Pont *et al.*, 2018; Duan *et al.*, 2020). Hasilnya menunjukkan bahwa kondisi optimum ion Pb dapat tertranspor dengan baik pada variasi jumlah senyawa pembawa paling besar dan konsentrasi larutan fasa sumber paling kecil. Pemisahan tembaga dari larutan amoniak menggunakan SLM yang mengandung ekstrak N902 senyawa pembawa (Duan *et al.*, 2020). Pada pemisahan Logam Ga(III) dengan SLM menunjukkan stabilitas waktu yang sangat baik dalam lima siklus transporasi berulang. Transporasi yang sangat selektif dan kinerja pemisahan dicapai dengan menggunakan SLM yang mengandung Bif-IL, menunjukkan potensi untuk aplikasi dalam pemulihan Ga(III) (Zhou *et al.*, 2022).

Penelitian mengenai *recovery* fenol dari perairan dengan menggunakan minyak sayur dengan sistem SLM juga telah dilakukan oleh Venkateswaran *and* Palanivelu (2006). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kondisi transpor optimum dicapai pada pH 2 di fasa sumber yang berisi larutan fenol dan konsentrasi fasa penerima (NaOH) yaitu 0,2 M, serta minyak kelapa dapat membentuk SLM PTFE yang stabil. 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 tertranspor dengan baik pada kondisi optimum yaitu pH 4 pada fasa sumber yang berisi larutan fenol dengan kecepatan laju alir 150 mL/menit, dan konsentrasi NaOH pada fasa penerima sebesar 1 M. Transpor tersebut dilakukan selama 5 jam dan menunjukkan bahwa fenol dapat tertranspor sebanyak 43%.

Metode SLM memiliki beberapa kelebihan apabila dibandingkan dengan metode membran lainnya, yaitu 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. Selain itu, SLM mempunyai kelebihan yaitu membutuhkan biaya yang sedikit, operasional yang mudah, penggunaan energi yang rendah, dengan jumlah ekstraktan mahal yang dikurangi tetap menghasilkan selektivitas yang baik (Venkateswaran *and* Palanivelu, 2006). Akan tetapi metode SLM masih memiliki beberapa kekurangan yakni stabilitas yang rendah karena ada beberapa komponen membran cair yang keluar dari pori polimer dengan mudah. Selain itu, penerapan SLM skala besar terbatas karena masa pakai membran yang relatif singkat (Zante *et al.*, 2021).

## **2.5 Senyawa Pembawa**

Pada teknik membran cair, *carrier* sebagai fasilitator yang terdapat pada fasa membran memainkan peranan penting dan merupakan hal penentu dalam kinerja pemisahan (Huidong *et al.*, 2009). Proses transpor senyawa target diawali dengan difusi senyawa target pada fasa sumber melewati pembatas *layer* (lapisan), kemudian terjadi penyerapan senyawa target pada fasa antarmuka sumber-membran. Senyawa target tertranspor ke fasa membran dan melewati fasa membran kemudian terjadi desorpsi pada fasa antarmuka membran-penerima, akhirnya senyawa target terdifusi kembali di fasa penerima. Senyawa pembawa digunakan dalam teknik SLM untuk memisahkan logam ataupun senyawa organik termasuk fenol (Kiswandono *et al.*, 2020). Beberapa penelitian tentang membran untuk transpor, baik polutan organik maupun logam berat sudah banyak dilakukan. Misalnya pemisahan logam Fe (III)-Mn(II) ( Alguacil *and* Lopez, 2021).

Senyawa pembawa berinteraksi dan membantu transpor suatu komponen pada fasa sumber melewati membran menuju fasa penerima. Pada proses transpor



membran terfasilitasi, membran cair yang mengandung senyawa pembawa memiliki interaksi kimia dengan senyawa yang akan ditranspor. Transpor terfasilitasi senyawa pembawa biasanya melibatkan membran cair sehingga disebut transpor membran cair. Pembuatan senyawa pembawa perlu memperhatikan kesamaan atau kemiripan sisi aktif antara senyawa pembawa dengan senyawa target karena akan memudahkan senyawa pembawa untuk memfasilitasi senyawa target sehingga akan mempercepat pemisahan (Kiswandono *et al.*, 2019).

Senyawa pembawa mempunyai kemiripan dengan senyawa fenol sehingga pemisahan fenol dapat berlangsung dan proses pemisahannya akan dapat berlangsung lebih efektif. Eugenol menjadi alternatif senyawa pembawa yang mempunyai kemiripan sisi aktif dengan fenol, yaitu gugus hidroksi. Eugenol dapat dipolimerisasi menjadi senyawa polieugenol dan turunannya dengan memanfaatkan gugus alil yang dimilikinya dan diharapkan mampu berfungsi sebagai media transpor yang selektif. Berat molekul juga akan mempengaruhi kemampuan senyawa pembawa dalam menjalankan perannya. Penambahan berat molekul artinya terjadi penambahan rantai polimer sehingga akan menambah jumlah sisi aktif yang dimiliki oleh senyawa pembawa tersebut. Polimerisasi menggunakan senyawa-senyawa vinil sebagai agen penaut silang merupakan jalan keluar untuk memperbesar berat molekul senyawa pembawa. Reaksi polimerisasi senyawa vinil sebagian besar adalah polimerisasi adisi. Polimerisasi adisi ini hanya terjadi pada ujung rantai yang memiliki ikatan rangkap dua sehingga dapat dihasilkan berat molekul yang tinggi (Kiswandono *et al.*, 2019).

Senyawa pembawa yang digunakan pada teknologi pemisahan menggunakan SLM sudah dipelajari oleh para peneliti. Misalnya senyawa pembawa *Dithiodiglycolamide* (DTDGA) yang digunakan untuk transpor logam Pd(II) pada media asam nitrat (Panja *et al.*, 2014). Penghilangan asam asetat dari larutan berair melalui proses membran cair terdukung (SLM) dengan menggunakan tri-n-oktilamin (TOA) sebagai pembawa dan natrium hidroksida sebagai fasa penerima (Harruddin *et al.*, 2016). Beberapa studi telah dilakukan untuk memisahkan fenol

menggunakan senyawa pembawa dalam metode SLM. Contohnya penelitian yang dilakukan oleh Kazemi *et al.*, (2014) memisahkan fenol menggunakan metode SLM PTFE dengan minyak wijen sebagai pelarut organik, NaOH sebagai agen pelucut pada fase penerima, dan *tri-n-butyl-phosphat* (TBP) sebagai senyawa pembawa. Pada penelitian tersebut optimasi transpor fenol dengan parameter-parameter seperti konsentrasi fenol awal, konsentrasi senyawa pembawa, pH fasa sumber dan konsentrasi fasa penerima diselidiki. Hasilnya menunjukkan bahwa kondisi optimum konsentrasi fasa sumber: 200mg/L; konsentrasi pembawa (%TBP): 40%; pH fasa sumber: 2; konsentrasi fase penerima: 1,1 M untuk transpor fenol 93,14%. Selain itu, penggunaan senyawa pembawa dalam metode SLM seperti Cyanex 923 telah dipelajari untuk pemulihan Y(III) dan Eu(III) dari lindi lampu neon (Pavon *et al.*, 2020). Amina tersier (*Tri-n-dodecylamine*) digunakan sebagai pembawa organik dan membran cair yang didukung dari pemisah polipropilen digunakan dalam pemisahan selektif tungsten W (VI) dari larutan garam campuran dilakukan melalui teknologi membran cair (Ali *et al.*, 2020). Pengangkutan Ga(III) dari larutan klorida dengan SLM menggunakan asam organofosfat sebagai senyawa pembawa (Zhou *et al.*, 2019).

## 2.6 Polieugenol

Senyawa eugenol merupakan salah satu komponen kimia dalam minyak cengkeh yang memberikan bau dan aroma yang khas pada minyak cengkeh. Eugenol merupakan senyawa dari golongan hidrokarbon beroksigen (*oxygenated hydrocarbon*) yang merupakan cairan minyak tidak berwarna atau sedikit kekuningan, mudah menguap, akan menjadi coklat jika kontak dengan udara. Senyawa ini dapat sedikit larut di dalam air dan larut dalam pelarut organik.

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. Dengan melakukan polimerisasi eugenol menjadi polieugenol dan pemasangan gugus aktif yang diharapkan selektif, maka dapat ditingkatkan pemanfaatan

potensi eugenol yang melimpah di Indonesia sebagai bahan jadi untuk *carrier* dengan teknik membran cair (Djunaidi *et al.*, 2018). Turunan polieugenol sebagai senyawa pembawa dapat dihasilkan melalui proses polimerisasi dengan agen taut silang dan kemudian digunakan dalam pemisahan fenol menggunakan membran cair (Kiswando *et al.*, 2020).

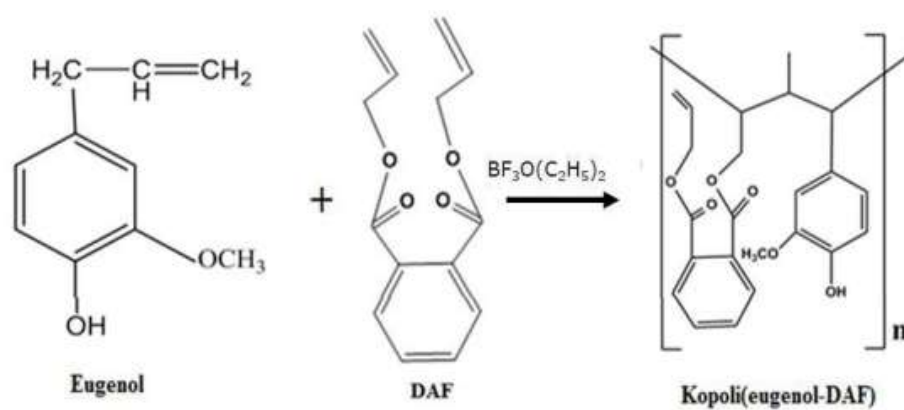
Fenol dan polieugenol adalah dua senyawa yang sama-sama memiliki gugus  $-OH$ , sehingga dimungkinkan interaksi yang terjadi dikarenakan terbentuknya ikatan hidrogen antara ke dua gugus  $-OH$  tersebut, sehingga semua molekul fenol dan polieugenol bersama-sama membentuk sejumlah besar ikatan hidrogen. Meskipun ikatan hidrogen tunggal sendiri adalah lemah, tetapi kombinasi elektron dari kedua molekul menyebabkan terjadinya ikatan hidrogen yang cukup kuat, sehingga dalam spektra inframerah dapat memberikan kekhasan pada fenol-polieugenol dibandingkan inframerah fenol maupun polieugenolnya sendiri. Polieugenol dan fenol juga sama-sama mempunyai cincin benzena, sehingga dimungkinkan keduanya membentuk interaksi  $\pi-\pi$ . Suatu polimer yang mempunyai kemampuan untuk membentuk interaksi  $\pi-\pi$  dengan senyawa lain akan membentuk suatu interaksi yang lebih stabil. Polieugenol dapat membentuk interaksi  $\pi-\pi$  karena mempunyai dua atau lebih cincin benzena, sehingga dimungkinkan fenol dan polieugenol juga dapat berinteraksi karena adanya ikatan  $\pi$  (Kiswando *et al.*, 2020).

## 2.7 Dialil Ftalat

Senyawa dialil ftalat sebagai senyawa pembawa sebelumnya telah dipelajari oleh Kiswando *et al.*, (2019) dan ditaut silang dengan senyawa polieugenol untuk transpor fenol dan logam Pb (II). Mekanisme transpor fenol dengan membran kopoli(eugenol-DAF) diprediksi terjadi melalui ikatan hidrogen dan interaksi  $\pi-\pi$  antara fenol dan kopoli(eugenol- DAF). Selain itu, reaksi fenol dengan NaOH pada fasa penerima menyebabkan anion fenolat tidak dapat kembali ke membran hidrofobik maupun ke fasa sumber. Transpor pada membran terjadi jika komponen fenolik berada pada keadaan tidak terdisosiasi pada fasa sumber dan

sebagai ion fenolat pada fasa penerima. Pada kondisi ini pH sumber berpengaruh terhadap proses transpor fenol.

Prediksi Struktur polieugenol hasil taut silang dengan DAF (Gambar 2) mengikuti prosedur atau metode yang telah dilakukan oleh Kiswandono *et al.*, (2019), yakni eugenol dan dialil ftalat dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer, kemudian ditambahkan katalis  $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  dan diaduk dengan pengaduk magnet. Reaksi terjadi ditandai dengan perubahan warna.



**Gambar 2.** Prediksi struktur turunan polieugenol hasil taut silang dengan DAF

Kopolimerisasi eugenol dengan DAF merupakan reaksi polimerisasi adisi kationik karena gugus vinil dari polieugenol mengalami reaksi adisi. Dengan kopolimerisasi eugenol ini diharapkan dapat meningkatkan jumlah sisi aktif pada polimer yakni cincin benzena dan gugus hidroksi maka dapat menyebabkan berat molekul semakin tinggi sehingga dapat meningkatkan transpor fenol. DAF merupakan monomer yang memiliki gugus diena sehingga dapat digunakan kopolimerisasi untuk memperoleh struktur tersambung silang dalam hasil akhirnya (Kiswandono *et al.*, 2019).

## 2.8 Karakterisasi dan Analisis

Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi dan analisis untuk menunjang hasil dari analisis yang dilakukan. Pengukuran panjang gelombang menggunakan

spektrofotometer UV-Vis, analisis gugus fungsi dan komponen kimia terhadap membran setelah transpor fenol menggunakan *fourier transform infra red* (FTIR), dan analisis morfologi permukaan membran menggunakan *scanning electron microscope* (SEM).

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

Spektrofotometri UV-Vis adalah pengukuran panjang gelombang, intensitas sinar ultraviolet, dan cahaya tampak yang diabsorpsi oleh sampel. Sinar ultraviolet dan cahaya tampak memiliki energi yang cukup untuk mempromosikan elektron pada kulit terluar ke tingkat energi yang lebih tinggi. Spektroskopi UV-Vis biasanya digunakan untuk molekul dan ion anorganik atau kompleks di dalam larutan atau untuk penentuan terhadap sampel yang berupa larutan, gas, atau uap. Pada umumnya sampel harus diubah menjadi suatu larutan yang jernih. Sampel yang berupa larutan perlu diperhatikan beberapa persyaratan pelarut yang dipakai antara lain (Suhartati, 2017):

1. Harus melarutkan sampel dengan sempurna.
2. Pelarut yang dipakai tidak mengandung ikatan rangkap terkonjugasi pada struktur molekulnya dan tidak berwarna (tidak boleh mengabsorpsi sinar yang dipakai oleh sampel)
3. Tidak terjadi interaksi dengan molekul senyawa yang dianalisis
4. Kemurniannya harus tinggi.

Spektrum UV-Vis mempunyai bentuk yang lebar dan hanya sedikit informasi tentang struktur yang bisa didapatkan dari spektrum ini sangat berguna untuk pengukuran secara kuantitatif. Ultraviolet jauh memiliki rentang panjang gelombang  $\pm 10 - 200$  nm, sedangkan ultraviolet dekat memiliki rentang panjang gelombang  $\pm 200-400$  nm. Interaksi senyawa organik dengan sinar ultraviolet dan sinar tampak, dapat digunakan untuk menentukan struktur molekul senyawa organik. Bagian dari molekul yang paling cepat bereaksi dengan sinar tersebut adalah elektron-elektron ikatan dan elektron-elektron nonikatan (elektron bebas). Sinar ultralembayung dan sinar tampak merupakan energi, yang bila mengenai elektron-elektron tersebut, maka elektron akan tereksitasi dari keadaan dasar ke

tingkat energi yang lebih tinggi, eksitasi elektron-elektron ini, direkam dalam bentuk spektrum yang dinyatakan sebagai panjang gelombang dan absorbansi, sesuai dengan jenis elektron-elektron yang terdapat dalam molekul yang dianalisis. Makin mudah elektron-elektron bereksitasi makin besar panjang gelombang yang diabsorpsi, makin banyak elektron yang bereksitasi makin tinggi absorbansi. Kebanyakan penerapan spektrofotometri UV-Vis pada senyawa organik didasarkan  $n-\pi^*$  ataupun  $\pi-\pi^*$  karena spektrofotometri UV-Vis memerlukan hadirnya gugus kromofor dalam molekul itu. Kromofor adalah molekul atau bagian molekul yang mengabsorpsi sinar dengan kuat di daerah UV-Vis, misalnya heksana, aseton, asetilen, benzena, karbonil, karbondioksida, karbonmonoksida, gas nitrogen (Suhartati, 2017).

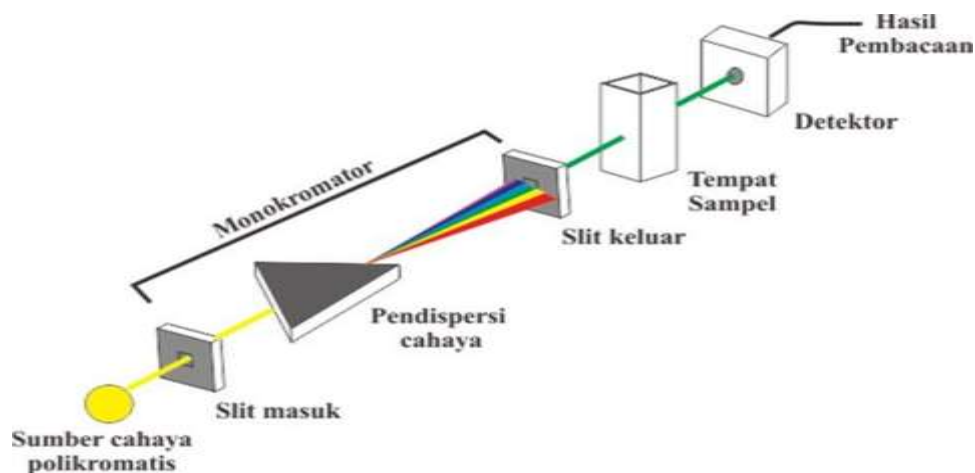
Identifikasi kualitatif senyawa organik dalam daerah ini jauh lebih terbatas daripada dalam daerah inframerah. Ini karena pita serapan terlalu lebar dan kurang terinci. Tetapi, gugus-gugus fungsional tertentu seperti karbonil, nitro, sistem tergabung, benar-benar menunjukkan puncak yang karakteristik,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

1. Sumber sinar polikromatis, berfungsi sebagai sumber sinar polikromatis dengan berbagai macam rentang panjang gelombang. Sumber yang biasa digunakan pada daerah UV adalah lampu deuterium atau disebut juga *heavy* hidrogen, sedangkan pada daerah visibel menggunakan lampu tungsten yang sering disebut lampu wolfram, spektrofotometer UV-Vis menggunakan *photodiode* yang telah dilengkapi monokromator.
2. Monokromator, merupakan alat yang memecah cahaya polikromatis menjadi cahaya tunggal (monokromatis) dengan komponen panjang gelombang tertentu. Monokromator berfungsi untuk mendapatkan radiasi monokromator dari sumber radiasi yang memancarkan radiasi polikromatis. Monokromator

terdiri dari susunan: celah (slit) masuk – filter - kisi (*grating*) – celah (slit) keluar.

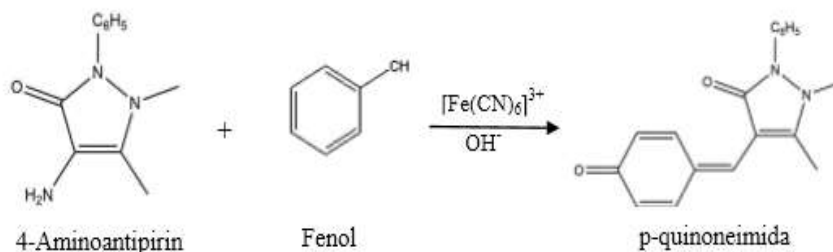
3. Wadah sampel (kuvet), merupakan wadah sampel yang akan dianalisis. Kuvet dari leburan silika (kuarsa) dipakai untuk analisis kualitatif dan kuantitatif pada daerah pengukuran 190-1100 nm, dan kuvet dari bahan gelas dipakai pada daerah pengukuran 380-1100 nm karena bahan dari gelas mengabsorpsi radiasi UV.
4. Detektor, menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel. Cahaya kemudian diubah menjadi sinyal listrik oleh amplifier dan dalam rekorder akan ditampilkan dalam bentuk angka-angka pada reader (komputer).
5. *Visual display/read out*, merupakan suatu sistem baca yang menangkap besarnya isyarat listrik yang berasal dari detektor. Menyatakan dalam bentuk % transmittan maupun absorbansi.

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. Selain itu, hasil yang diperoleh cukup akurat, dimana angka yang terbaca langsung dicatat oleh detektor dan tercetak dalam bentuk angka digital ataupun grafik yang sudah diregresikan. Cara kerja alat spektrofotometer UV-Vis yaitu sinar dari sumber radiasi diteruskan menuju monokromator. Cahaya dari monokromator diarahkan terpisah melalui sampel dengan sebuah cermin berotasi. Detektor menerima cahaya dari sampel secara bergantian secara berulang-ulang. Sinyal listrik dari detektor diproses, diubah ke digital dan dilihat hasilnya, selanjutnya perhitungan dilakukan dengan komputer yang sudah terprogram. Skema alat spektroskopi UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 3 (Suhartati, 2017).



**Gambar 3.** Skema alat Spektrofotometri UV-Vis

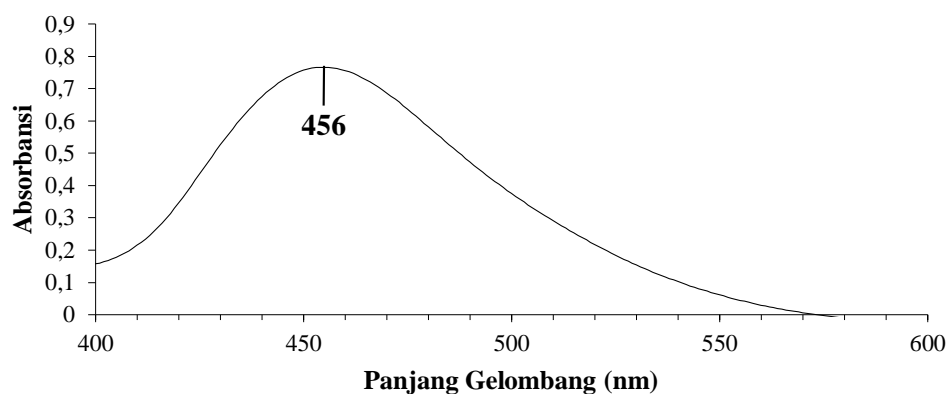
Metode umum yang digunakan dalam mengatasi limbah fenol dengan cara mengetahui kadar fenol yang terbuang ke dalam limbah industri yaitu metode spektrofotometri UV-Vis dengan menggunakan 4-Amino Antipirin sebagai reagen pengompleks (Venkateswaran *and* Palanivelu, 2006). Menurut Badan Standarisasi Nasional SNI 06-6989.21-2004, pada prinsipnya semua fenol dalam air akan bereaksi dengan 4-aminoantipirin dalam suasana kalium ferri sianida ( $K_3Fe(CN)_6$ ) yang akan membentuk warna merah kecoklatan dari antipirin. Jika larutan berwarna sudah terbentuk kemudian diekstraksi dari larutan fenol menggunakan kloroform dan absorbansinya diukur pada panjang gelombang 460 nm atau 500 nm. Konsentrasi senyawa fenol dinyatakan dalam mg/L. Reaksi yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4 (Sousa *and* Transcoso, 2009).



**Gambar 4.** Reaksi fenol dengan 4-aminoantipirin



Absorbansi yang semakin tinggi menunjukkan bahwa panjang gelombang yang diperoleh semakin baik. Panjang gelombang maksimum fenol yang diperoleh pada penelitian ini yaitu 456 nm (Gambar 5). Panjang gelombang ini yang akan digunakan untuk penentuan konsentrasi fenol pada prosedur selanjutnya (Yulita, 2018).



**Gambar 5.** Panjang gelombang maksimum fenol

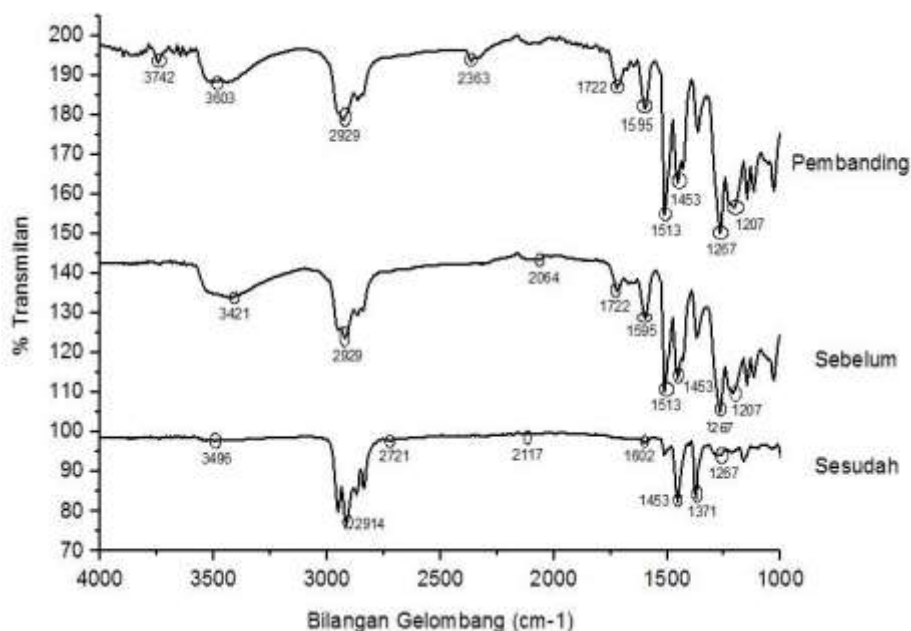
Panjang gelombang maksimum yang diperoleh dapat dikatakan sesuai dengan Badan Standarisasi Nasional SNI 06-6989.21-2004 yaitu 460 nm. Hal ini dikarenakan panjang gelombang yang diperoleh dengan panjang gelombang fenol menurut Badan Standarisasi Nasional SNI 06-6989.21-2004 memiliki rentang tidak jauh berbeda ( $460 \text{ nm} \pm 5$ ). Penelitian lain mengenai panjang gelombang maksimum fenol telah dilakukan sebelumnya, yaitu pada panjang gelombang 455 nm (Kiswando *et al.*, 2019).

### 2.8.2 Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) adalah suatu instrumen yang digunakan untuk menganalisis struktur molekul dengan cara mengidentifikasi gugus fungsi dan jenis ikatan pada suatu molekul. Prinsip alat ini adalah molekul menyerap energi radiasi elektromagnetik di area spektrum infra merah yang menyebabkan terjadinya transisi rotasi dan getaran molekul pada keadaan tingkat energi elektronik rendah. Tujuan karakterisasi dengan menggunakan FT-IR yaitu untuk mengetahui jenis-jenis vibrasi antar atom.

Selain itu FT-IR juga digunakan untuk menganalisis senyawa organik dan anorganik serta analisis kualitatif dan analisa kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan dengan melihat bentuk puncak-puncak spektrumnya yang spesifik sesuai dengan gugus-gugus fungsional yang dimiliki oleh senyawa yang dianalisis. Sedangkan untuk analisis secara kuantitatif dilakukan menggunakan senyawa standar berdasarkan pada variasi konsentrasi lalu dibuat spektrumnya (Susila, 2019).

Uji kemampuan transpor fenol menggunakan Ko-EDAF sebagai senyawa pembawa dapat dilihat menggunakan karakterisasi FTIR. Keberadaan komponen membran yang hilang juga dapat dengan jelas dideteksi dengan memeriksa spektrum IR membran setelah tiga kali transpor. Pada Gambar 6 menunjukkan spektrum FT-IR membran SLM PTFE dengan senyawa pembawa Ko-EDAF 8% (Yulita, 2018).



**Gambar 6.** FT-IR spektrum membran SLM PTFE dengan senyawa pembawa Ko-EDAF

Berdasarkan gambar di atas dapat dijelaskan bahwa yang dimaksud spektra IR pembanding adalah spektra hasil analisis senyawa pembawa yang digunakan yaitu Ko-EDAF 8%, sedangkan spektra IR sebelum adalah spektra hasil analisis membran PTFE yang telah berisi senyawa pembawa sebelum transpor fenol

dilakukan dan spektra IR sesudah adalah spektra hasil analisis membran PTFE yang telah berisi senyawa pembawa setelah digunakan untuk transpor fenol.

Membran sebelum digunakan untuk transpor fenol terdapat puncak-puncak khas yang menunjukkan adanya *-OH stretching*, *-C-H stretching* alkil, *C=O stretching*, *C=C stretching* aromatis, *C-H bending* dan *C-O stretching*. Serapan yang muncul merupakan serapan milik molekul pembawa kopoli(eugenol-DAF). Hasil perbandingan dari kedua spektra menunjukkan bahwa gugus fungsi pada bilangan gelombang 1200-1500  $\text{cm}^{-1}$  relatif tidak mengalami pergeseran bilangan gelombang. Pada bilangan gelombang 1722  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan serapan *C=O stretching* karbonil setelah proses transpor serapan tersebut tidak terbaca. Pada bilangan gelombang 3421  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan serapan *-OH stretching* terlihat mengalami pergeseran bilangan gelombang setelah digunakan untuk transpor. Hal ini dikarenakan adanya emulsi dari air pada membran dan juga mengindikasikan telah terjadinya ikatan hidrogen antara fenol dengan molekul pembawa pada saat transpor fenol. Pada bilangan gelombang 1595  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan serapan *C=C* yang diharapkan mengindikasikan terjadinya interaksi  $\pi$ - $\pi$  terjadi pergeseran bilangan gelombang. Hal ini mengindikasikan bahwa interaksi  $\pi$ - $\pi$  antar cincin benzena pada molekul pembawa kopoli(eugenol-DAF) dan fenol pada saat transpor fenol hanya mampu menggeser kearah bilangan gelombang yang sedikit lebih besar, karena kuatnya interaksi yang terjadi.

### **2.8.3 Scanning Electron Microscopy (SEM)**

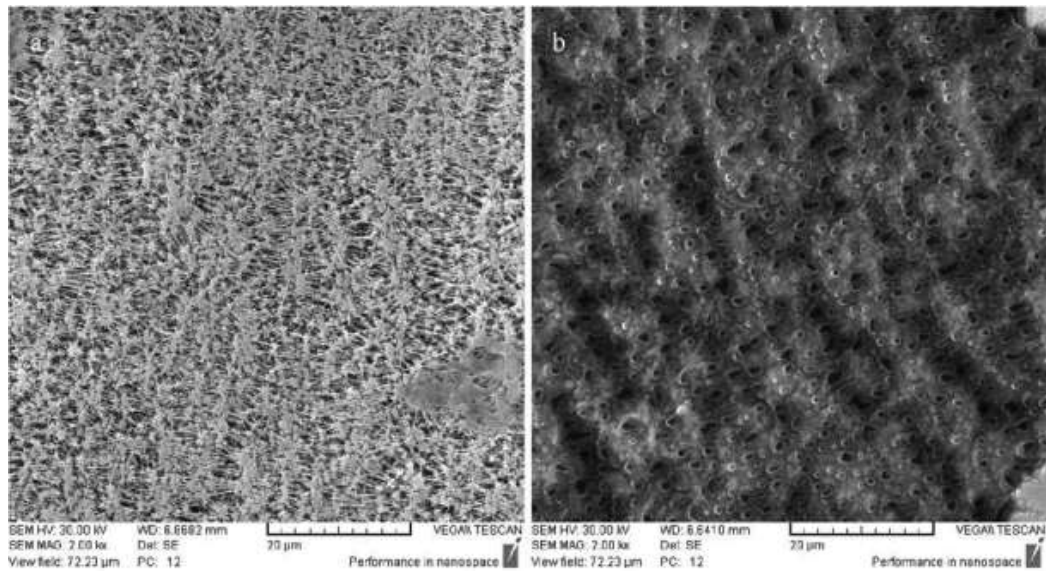
Karakterisasi selanjutnya yaitu menggunakan SEM (*Scanning Elektron Microscope*). SEM merupakan metode analisis yang sangat penting dalam karakterisasi morfologi polimer. SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material 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. Karakterisasi membran SLM menggunakan

SEM bertujuan untuk mengetahui penampakan dari permukaan membran secara morfologis dan untuk memeriksa distribusi pembawa yang terdapat pada membran (Kazemi *et al.*, 2013)

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 phenol transpor juga dapat diamati dengan memeriksa hasil analisis SEM (Gambar 7). Hasil SEM tersebut 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 (Kiswando *et al.*, 2019).

Kajian morfologi dilakukan oleh Kazemi *et al.*, (2013) pada membran SLM PTFE sebelum dan setelah *immersion* senyawa pembawa campuran *bis-(2-ethylhexyl) ester of phosphoric acid / mono-(2-ethylhexyl) ester of phosphoric acid* (D2EHPA/M2EHPA) dan minyak wijen. Karakterisasi struktur membran SLM PTFE sebelum *immersion* senyawa pembawa menunjukkan serat-serat tebal dan

sejajar yang dihubungkan oleh fibril halus. Gambar 7b setelah *immersion* senyawa pembawa menunjukkan struktur PTFE dengan campuran dari D2EHPA, M2EHPA, dan minyak wijen dimasukkan di pori-pori membran mengkonfirmasi bahwa mereka tetap di sana karena gaya kapiler. Kajian morfologi menunjukkan bahwa pada umumnya setelah *immersion*, pori-pori membran menjadi tertutup atau terisi sebagian oleh campuran D2EHPA, M2EHPA, dan minyak wijen. Kelebihan pembawa dan wijen minyak muncul di permukaan luar membran (terdapat bintik-bintik). Hasil karakterisasi membran SLM PTFE sebelum dan setelah *immersion* senyawa pembawa campuran (D2EHPA/M2EHPA) dan minyak wijen menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Hasil SEM membran SLM (a) sebelum transpor fenol (b) setelah transpor fenol

### III. METODOLOGI PENELITIAN

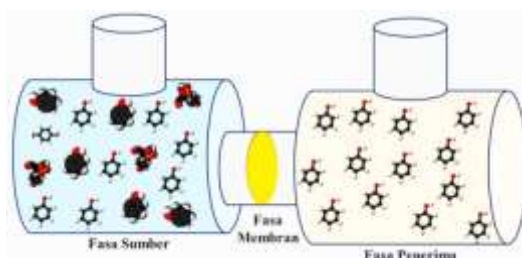
#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September tahun 2022 sampai dengan Februari tahun 2023 di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi, Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Lampung. Analisis konsentrasi fenol menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi, Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi membran SLM menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas ukur, labu ukur, pipet tetes, spatula, batang pengaduk, gelas kimia, gelas ukur, neraca analitik, *magnetic stirrer*, *spin bar*, papan *stirrer*, pH meter, corong pisah, statif dan klem, botol gelap, 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 (Gambar 8). Diameter *chamber* 5 cm, volume *chamber* 50 mL dengan diameter efektif *chamber* (yang langsung bersentuhan dengan larutan fenol) 2,5 cm.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah selotip, plastik *wrap*, aluminium foil, tisu, akuabides, membran politetrafluoroetilen (PTFE, diameter 47 mm dan ukuran pori-pori 0,45  $\mu\text{m}$  (*Hawach scientific*), bahan kimia kualitas pro analis (pa) produksi *Merck* antara lain fenol ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ), kloroform ( $\text{CHCl}_3$ ), natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ), asam klorida ( $\text{HCl}$ ), 4-aminoantipirin ( $\text{C}_{11}\text{H}_{13}\text{N}_3\text{O}$ ), kalium ferrisianida [ $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ ], ammonium hidroksida ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), natrium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), dikalium fosfat ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ), monopotassium fosfat ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), natrium nitrat ( $\text{NaNO}_3$ ), natrium klorida ( $\text{NaCl}$ ), kalium klorida ( $\text{KCl}$ ) dan kalium nitrat ( $\text{KNO}_3$ ).



**Gambar 8.** Alat transpor fenol (*chamber*)

### 3.3 Metode Penelitian

#### 3.3.1 Perendaman (*Immersion*) Membran SLM

Persiapan membran cair berpendukung (*Supported Liquid Membrane, SLM*) *polytetrafluoroethylene* (PTFE) mengikuti prosedur pada penelitian Benjjar *et al.*, (2012) dengan modifikasi. Prosedur ini diawali dengan perendaman membran SLM menggunakan akuabides selama 2 jam kemudian dikeringkan menggunakan tisu. Setelah itu membran direndam ke dalam pelarut kloroform sebanyak 10 mL yang mengandung senyawa pembawa kopoli(eugenol-dialil ftalat) atau Ko-EDAF 8% dengan konsentrasi 0,01 M. Senyawa Ko-EDAF 8% sebelumnya telah disintesis oleh Kiswandono *et al.*, (2019) yang akan digunakan sebagai senyawa pembawa untuk uji optimasi dan evaluasi transpor fenol menggunakan metode SLM PTFE. Proses perendaman dilakukan selama 1 jam kemudian membran diangkat dan didiamkan selama 10 menit. Hasilnya berupa membran SLM yang

telah mengandung senyawa pembawa kemudian dilakukan karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

### 3.3.2 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Fenol

Sebanyak 5 mL fenol 60 ppm ditambahkan dengan 5 mL akuabides sehingga volumenya menjadi 10 mL, pHnya diatur menjadi 9,8-10,2 menggunakan buffer fosfat dengan penambahan dengan  $\text{NH}_4\text{OH}$  1M atau  $\text{HCl}$  1 M. Kemudian, ditambahkan dengan 1 mL larutan 4-aminoantipirin (AAP) 2% dan 1 mL larutan kalium ferrisianida ( $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ ) 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. Kemudian dilakukan ekstraksi dan selanjutnya didiamkan beberapa saat hingga terjadi pemisahan, kemudian lapisan organik atau lapisan kloroform (bagian bawah) dipisahkan. Dilakukan pengukuran absorbansi pada ekstrak larutan kloroform menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada  $\lambda$  (panjang gelombang) 400 nm sampai 600 nm untuk mendapatkan panjang gelombang maksimum (Badan Standar Nasional SNI 06-6989.21-2004). Panjang gelombang optimum akan digunakan pada tahapan optimasi dan evaluasi transpor fenol.

### 3.3.3 Pengukuran Konsentrasi Fenol dalam Sampel

Konsentrasi fenol dalam sampel pada fasa sumber dan fasa penerima diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis setelah proses transpor berlangsung. Sampel pada fasa sumber, fasa penerima dan larutan standar fenol (10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, 50 ppm, 60 ppm, dan 70 ppm) masing-masing dimasukkan sebanyak 5 mL ke dalam gelas kimia. Kemudian ditambahkan 5 mL akuabides ke dalam masing-masing gelas kimia yang telah terisi sampel sehingga volumenya menjadi 10 mL. pH larutan tersebut selanjutnya diatur menjadi 9,8-10,2. Kemudian ditambahkan kalium ferrisianida 8% sebanyak 1 mL dan larutan 4-aminoantipirin 2% sebanyak 1 mL sambil diaduk. Larutan tersebut didiamkan



sekitar 2 jam ditempat yang gelap sampai terjadi perubahan warna menjadi merah muda. Setelah terjadi perubahan warna, larutan dipindahkan ke dalam corong pisah dan ditambahkan dengan 5 mL kloroform. Kemudian dilakukan ekstraksi dan selanjutnya didiamkan beberapa saat hingga terjadi pemisahan, kemudian lapisan organik atau lapisan kloroform (bagian bawah) dipisahkan. Ekstrak kloroform yang diperoleh diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang yang didapatkan pada prosedur 2. Prosedur pengukuran konsentrasi fenol dalam sampel akan digunakan pada tahapan optimasi dan evaluasi transpor fenol.

### **3.3.4 Optimasi Transpor Fenol**

Transpor fenol dilakukan dengan alat *chamber* yang terdiri dari dua bagian berbentuk silindris yang dipisahkan oleh membran SLM PTFE. Proses optimasi transpor fenol menggunakan SLM ini dilakukan merujuk pada penelitian Benosmane *et al.*, (2018); Kiswandono *et al.*, (2020), dan Duan *et al.*, (2020) dengan modifikasi.

#### **a) Transpor fenol dengan variasi pH fasa sumber**

Membran 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 tahapan Prosedur 3.

**b) Transpor fenol dengan variasi konsentrasi fasa penerima (NaOH) pada pH optimum fasa sumber**

Membran 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 tahapan Prosedur 3.

**c) Transpor fenol dengan variasi waktu *immersion* pada pH fasa sumber dan konsentrasi fasa penerima optimum**

Membran PTFE direndam ke dalam larutan yang telah mengandung senyawa pembawa Ko-EDAF 8% dengan dengan variasi waktu *immersion* 1 menit, 30 menit, 60 menit dan 90 menit ditempatkan di tengah pipa transpor fenol. Kemudian ditambahkan 50 mL NaOH sebagai fasa penerima dan 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber dengan kondisi 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 tahapan Prosedur 3.

**d) Transpor fenol dengan variasi konsentrasi senyawa pembawa**

Membran PTFE dengan konsentrasi senyawa pembawa 0 M; 0,005 M; 0,01 M; 0,015 M dan 0,020 M ditempatkan di tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL NaOH 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 dengan waktu optimum 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 tahapan Prosedur 3.

#### e) **Transpor fenol pada variasi waktu**

Membran PTFE ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL NaOH sebagai fasa penerima dan 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber dengan kondisi optimum. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet dengan beberapa variasi waktu 3 jam, 9 jam, 15 jam, 24 jam, dan 36 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 tahapan Prosedur 3. Membran SLM SLM PTFE setelah proses optimasi transpor fenol dilakukan karakterisasi menggunakan FTIR dan SEM.

#### **3.3.5 Uji Kemampuan dan Stabilitas Membran SLM**

Proses uji kemampuan dan stabilitas membran SLM dilakukan pada kondisi optimum dengan variasi yang telah dilakukan oleh Huidong *et al.*, (2009), Alguacil *and Lopez*, (2021), Asrami dan Saien, (2019), Kiswandono, *et al.*, (2022), dan Kazemi *et al.*, (2014) dengan beberapa modifikasi. Uji kemampuan dan stabilitas membran SLM dilakukan dalam kondisi optimasi optimum.

**a) Variasi Kecepatan Pengadukan**

Membran SLM PTFE yang sudah di persiapkan pada prosedur 1 ditimbang sebelum digunakan untuk transpor dan ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor. 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 tahapan Prosedur 3.

**b) Variasi Jenis Garam**

Membran SLM PTFE yang sudah di persiapkan pada prosedur 1 ditimbang sebelum digunakan untuk transpor dan ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan kecepatan pengadukan optimum menggunakan magnet *spin bar* pada fasa penerima dan fasa sumber dengan variasi garam NaCl, NaNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan KNO<sub>3</sub> yang masing-masing konsentrasi garamnya 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 tahapan Prosedur 3.

**c) Variasi Konsentrasi Garam**

Membran SLM PTFE yang sudah di persiapkan pada prosedur 1 ditimbang sebelum digunakan untuk transpor dan ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan kecepatan pengadukan dan jenis garam optimum. Pengadukan dilakukan menggunakan magnet *spin bar* pada 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 tahapan Prosedur 3.

#### **d) Uji Kemampuan Membran SLM pada Pemakaian Berulang**

Uji kemampuan membran SLM PTFE pada pemakaian berulang dilakukan dengan dua variasi yaitu dengan pencucian dan tanpa pencucian. Variasi dengan pencucian dilakukan dengan cara membran SLM PTFE yang sudah di persiapkan pada prosedur 1 digunakan untuk transpor dan ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan kecepatan pengadukan optimum. Pengadukan dilakukan menggunakan magnet *spin bar* pada fasa penerima dan fasa sumber. Membran SLM setelah pemakaian satu kali selanjutnya dicuci dengan akuades selama 30 menit kemudian dikeringkan dan 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 tahapan Prosedur 3.

Variasi tanpa pencucian dilakukan dengan prosedur diatas diulang kembali, tetapi pada membran SLM PTFE yang berbeda. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan kecepatan pengadukan optimum. Pengadukan dilakukan menggunakan magnet *spin bar* pada fasa penerima dan fasa sumber. Membran SLM PTFE 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 tahapan Prosedur 3.

e) *Lifetime*

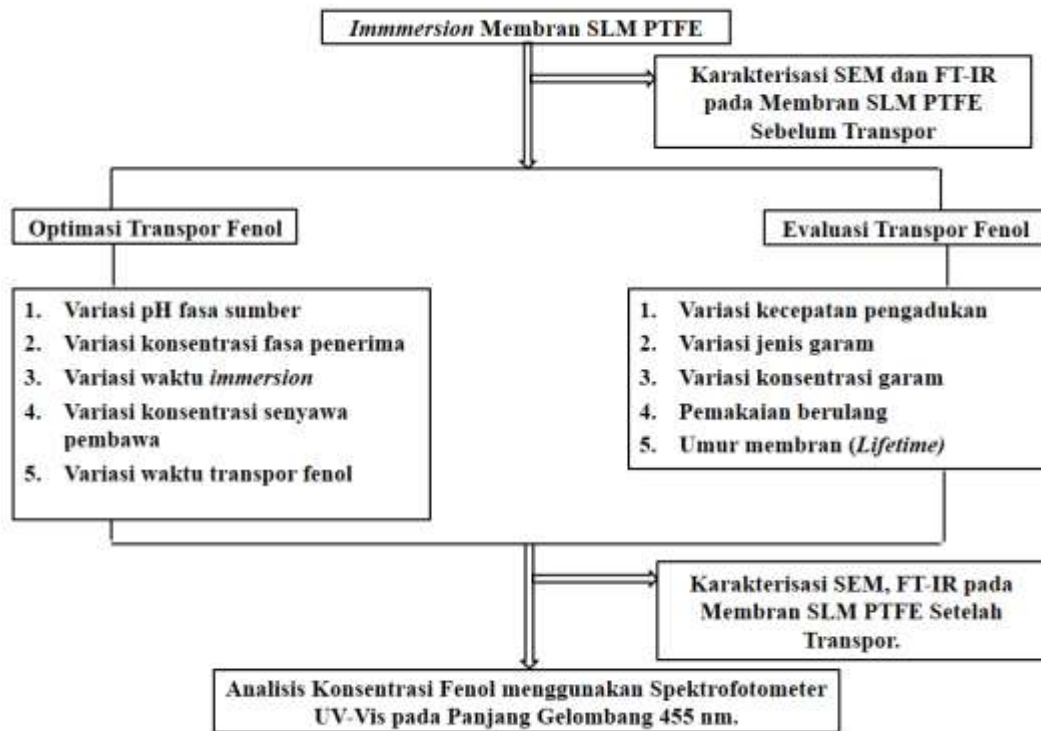
Membran SLM PTFE yang sudah di persiapkan pada prosedur 1 ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor. Proses transpor fenol dilakukan pada kondisi optimasi optimum. Pipa transpor ditutup dan diaduk pada kecepatan optimum dengan pengaduk magnet *spin bar* pada fasa penerima dan fasa sumber. Setelah selesai 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 tahapan 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  $\pm 9,0$ , setelah itu proses transpor fenol dihentikan (Zha *et al.*, 1995; Kiswando, *et al.*, 2022). Diketahui kemampuan membran akan semakin meningkat dengan penambahan garam pada fasa sumber dikarenakan garam seperti NaCl dan NaNO<sub>3</sub>, sehingga pada penelitian ini proses *lifetime* dilakukan dengan beberapa variasi pada larutan fasa sumber, yaitu:

- a. Tanpa penambahan garam (kontrol)
- b. Dengan penambahan garam NaCl 0,01 M
- c. Dengan Penambahan garam NaNO<sub>3</sub> 0,01 M
- d. Dengan Penambahan garam NaNO<sub>3</sub> 0,1 M
- e. Dengan penambahan garam NaNO<sub>3</sub> 1 M

### 3.3.8 Diagram Alir Penelitian

Secara lengkap diagram penelitian dapat dilihat pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Diagram Alir Penelitian

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Transpor fenol mencapai kondisi optimum pada kondisi pH larutan fenol fase sumber 5,5, konsentrasi larutan NaOH fase penerima 0,25 M, dengan waktu *immersion* selama 90 menit, konsentrasi senyawa pembawa 0,005 M dan waktu transpor 24 jam dengan persentase fenol yang tertranspor sebesar 87,77% atau setara dengan 52,66 ppm.
2. Berdasarkan hasil analisis FTIR terjadi penurunan intensitas gugus –OH yaitu pada bilangan gelombang 3534,57  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya kehilangan senyawa pembawa pada membran SLM. Hasil analisis SEM juga menunjukkan hal yang sama yang ditunjukkan dengan adanya celah yang besar pada permukaan membran dan juga susunan pori yang tidak rapat.
3. Stabilitas membran dicapai pada kecepatan pengadukan 800 rpm dengan 86,66% atau setara dengan 51,99 ppm. Penambahan garam  $\text{NaNO}_3$  0,001 M pada fasa sumber sebanyak 60,60% atau setara dengan 36,36 ppm.
4. Membran SLM memiliki kemampuan empat kali pengulangan tanpa pencucian dan dengan pencucian untuk transpor fenol walaupun persentase konsentrasi fenol yang berhasil tertranspor ke fasa penerima nilainya semakin menurun.
5. Penambahan garam  $\text{NaNO}_3$  1 M di fasa sumber pada transpor fenol membuat umur membran (*lifetime*) menjadi lebih lama yaitu 15 hari dibandingkan dengan tanpa penambahan garam serta garam  $\text{NaNO}_3$  0,01 M,  $\text{NaNO}_3$  0,1 M, dan NaCl dengan umur kurang dari 15 hari.



6. Ketidakstabilan membran SLM yang mengandung senyawa pembawa Ko-EDAF 8% disebabkan karena hilangnya komponen membran yang dibuktikan dengan terjadinya perubahan pada puncak –OH pada bilangan gelombang  $3534,57 \text{ cm}^{-1}$ .

## 5.2 Saran

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

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang stabilitas dan kemampuan membran SLM dengan menggunakan senyawa pembawa turunan polieugenol yang lain dan mengembangkan metode SLM untuk menangani permasalahan limbah selain fenol.
2. Penelitian lebih lanjut mengenai uji pengaruh logam terhadap transpor fenol sebagai kompetitor dengan menggunakan metode *Supported Liquid Membrane* (SLM) menggunakan senyawa pembawa (*carrier*) kopoli (eugenol-DAF).
3. Kajian lebih lanjut mengenai kestabilan dan ketahanan membran SLM dengan jenis garam lainnya dan senyawa diena lain, serta faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, W. 2020. Studi Transpor Fenol Menggunakan Senyawa *Carrier* Kopoli Eugenol-Dialil Ftalat (Co-EDAF) 10% dengan Metode *Supported Liquid Membrane* (SLM). *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Alguacil, F.J.; and 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.
- Ali, N., Shah, S., Khan, A., Khan, S.B., Kamal, T., and Asiri, A.M. 2020. Selective separation of tungsten from the model and industrial effluents through supported liquid membrane. *Chemical Papers*. 75 : 553–563.
- Amini, M., Kelishami, A.R., Alipor, M., and Vahidi, O. 2018. Supported Liquid Membrane in Metal Ion Separation: An Overview. *Journal of Membrane Science and Research*. 4:121-135.
- Asrami, M.R and 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.
- Basir, Djabal Nur. 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.
- Benjjar, A., Hor, M., Riri, M., Eljaddi, T., Kamal, O., lebrun, L., and Hlaibi. 2012. A new supported liquid membrane (SLM) with methyl cholate for facilitated transpor of dichromate ions from mineral acids: parameters and mechanism relating to the transpor. *J. Mater. Environ. Sci*. 3(5) :826-839
- Bhatluri, K.K., Manna, M.S., Ghoshal, A.K., and Saha, P. 2015. Supported liquid membrane based removal of lead (II) and cadmium (II) from mixed feed: conversion to solid waste by precipitation. *Journal of Hazardous Materials*. 299: 504-512.
- Benosmane, N., Boutemour, B., Hamdi, S.M., and Hamdi, M., 2018. Removal of phenol from aqueous solution using polymer inclusion membrane based on mixture of CTA and CA. *Applied Water Science*. 8(1): 1-6.
- Correia, P. F. M. M., & de Carvalho, J. M. R. 2005. Salt Effects on the Recovery of Phenol by Liquid-Liquid Extraction with Cyanex 923. *Separation Science and Technology*. 40(16), 3365–3380.

- Chakrabarty, K., Saha, P., and Ghoshal, A. K. (2010). Separation of mercury from its aqueous solution through supported liquid membrane using environmentally benign diluent. *Journal of Membrane Science*. 350: 395–401.
- Djunaidi, M.C., Wibawa, P.J., and Murti, R.H. 2018. Synthesis of A Novel Carrier Compound Thiazoethyl Methyl Eugenoxyacetate from Eugenol and Its Use in the Bulk Liquid Membrane Technique. *Indonesian Journal of Chemistry*. 18(1): 121-126.
- Duan, H., Liu, H., Hu, C., Cheng, W., and Wang, X. 2020. Facilitated recovery of copper from ammoniacal solution by supported liquid membrane following multiple cooperative effects. *Chem Pap*. 74 : 3335–3345.
- Ferraz, H., L. T. Duarte, M. D. Lucio, A. C. Habert, and C. P. Borges. 2007. Recent Achievements in Facilitated Transport Membranes for Separation Processes. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 24: 101–118.
- Gaber, D., Abu Haija, M., Eskhan, A., and Banat, F. 2017. Graphene as an Efficient and Reusable Adsorbent Compared to Activated Carbons for the Removal of Phenol from Aqueous Solutions. *Water, Air, and Soil Pollution*., 228(9).
- Goh, P., and Ismail, A. 2018. A review on inorganic membranes for desalination and wastewater treatment. *Desalination*. 434:60–80.
- Harruddin, N., Saufia, S.M., Faizal, C.K.M., and Mohammad, A.W. 2016. Evaluation of Different Polymeric Membrane Support for Acetic Acid Removal by Supported Liquid Membrane Process. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*. eISSN 2180–3722. 78(12) :13–18.
- Huidong, Z., Biyu, W., Yanxiang, W.U., and Qilong, R.E.N. 2009. Instability mechanisms of supported liquid membrane for phenol transport. *Chin. J. Chem. Eng.* Vol. 17 (5): 750-755.
- Indarti, Dwi., 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.
- Jariah, A., Yeti, K., dan Yusran, Khery. 2017. *Pengaruh Penambahan Senyawa Pengompleks Pada Fasa Penerima Terhadap Pemisahan Logam Perak dengan Teknik SLM (Supported Liquid Membrane)*. (Prosiding Seminar Nasional Pendidik dan Pengembang Pendidikan Indonesia). Jurusan Kimia. Fakultas Ilmu Keguruan dan Pendidikan. IKIP Mataram. Nusa Tenggara Barat.
- Jiao, H., Peng, W., Zhao, J. and Xu, C. 2013. Extraction performance of bisphenol A from aqueous solutions by emulsion liquid membrane using response surface methodology. *Desalination*. 313: 36-43.
- Kazemi, P., Mohammad, P., Alireza, B., Toraj, M., and Omid, Bakhtiari. 2013. Pertraction of Methylene Blue Using a Mixture of D2EHPA/M2EHPA and Sesame Oil as a Liquid Membrane. *Chemical*. 67 (7) : 722–729.

- Kazemi, P., Peydayesh, M., Bandegi, A., Mohammadi, T., and Bakhtiari, O. 2014. Stability and Extraction Study of Phenolic Wastewater Treatment by Supported Liquid Membrane Using Tributyl Phosphate and Sesame Oil As Liquid Membrane. *Chemical Engineering Research and Design*. 92: 375–383.
- Khopkar, S.M. 2003. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press. Jakarta.
- Kiswandono, A.A. 2014. Kajian Transpor Fenol Melalui Membran Berbasis Polieugenol Tertaut Silang Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane (PIM). *Disertasi*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Kiswandono, A.A., Siswanta, D., Aprilita, N.H., and Santosa, S.J. 2012. Transport of Phenol Through Inclusion Polymer Membrane (PIM) Using Copoly(Eugenol-Dvb) as Membrane Carriers. *Indo. J. Chem.* 12 (2): 105 – 112.
- Kiswandono, A.A., Mudasir., Siswanta, D., Aprilita, N.H., Santosa, S.J., and Hadi, S. 2019. Synthesis and characterization of Ko-EDAF and its application test as a carrier membrane for phenol transpor using polymer inclusion membrane (PIM). *Res. J. Chem. Environ.* 23(5).
- Kiswandono, A.A., Mudasir, Siswanta, D., Aprilita, N.H., Santosa, S.J., and Hadi, S. 2020. Synthesis of a new crosslinked Poly-Bisphenol A Diglycidyl Ether (Poly-BADGE) as a carrier in Phenol transpor. *Kuwait J. Sci.* 47 (4) : 39-48.
- Kiswandono, A.A.; Nusantari, C.S.; Rinawati, R.; Hadi, S. 2022. Optimization and Evaluation of Polymer Inclusion Membranes Based on PVC Containing Copoly-EDVB 4% as a Carrier for the Removal of Phenol Solutions. *Membranes*. 12 (295): 1-13.
- Kolev, S.D., St John, A.M., and 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*. Vol. 425–426: 169 – 175.
- Kulkarni, S.J., Jayant., and Kaware, P. 2013. Review on Research for Removal of Phenol from Wastewater. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 3(4): ISSN 2250-3153.
- Li, J., T. Zhao., G. Sui and S. Jia. 2016. CO<sub>2</sub> Separation from Air Using Microporous Polyvinylidene Fluoride-Supported Triethylene Glycol/Alkanolamine Liquid Membranes. *Matter Express* 6: 183–190.
- Mansoori, S., Davarnejad, R., Matsuura, T., and Ismail, A.F. 2020. Membranes based on non-synthetic (natural) polymers for wastewater treatment. *Polymer Testing*. 84:106381.
- Maslahat, M., dan Kiswandono A.A. 2011. Studi Transpor Senyawa Fenol Menggunakan Membran Cair Polieugenol dengan Pelarut Diklorometana. *Journal of Sains Natural Universitas Nusa Bangsa*. 1: 145-155
- Maslahat, M., Paramitha, M and Wardoyo, S.E . 2016. Modification of Palm Oil Empty Fruit Bunches Biosorbent Using Egg Shells for Phenol Sorption. *Journal of Lignocellulose Technology* 1: 43–50.

- Malboubi, M., Gu Y. and Jiang K. 2011. Characterization of Surface Properties of Glass Micropipettes Using SEM Stereoscopic Technique. *Microelectron Eng.* 88, 2666-2670.
- Malmay, G., Faizal, M., Albet, J., and Molinier, J. 1997. Liquid-liquid equilibria of acetic, formic, and oxalic acids between water and tributyl phosphate + dodecane. *J. Chem. Eng. Data.* 42: 985-987.
- Mohammad, S., Grundl, G., Müller, R., Kunz, W., Sadowski, G., and Held, C. 2016. Influence of electrolytes on liquid-liquid equilibria of water/1-butanol and on the partitioning of 5-hydroxymethylfurfural in water/1-butanol. *Fluid Phase Equilibria.* 428: 102–111.
- Mohammadkhani, A., Malboubi M., Anthony C. and Jiang K. 2011. Characterization of Surface Properties of Ordered Nanostructures Using SEM Stereoscopic Technique. *Microelectron Eng.* 88, 2687-2690.
- Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membrane Technology.* 2<sup>nd</sup> Edition. Kluwer Academic Publisher. The Netherlands. 564 pp.
- Muthuraman, G., and Palanivelu, K. 2006. Transpor of Textile Dye in Vegetable Oils Based Supported Liquid Membrane. *Dyes Pigments.* 70 : 99 – 104.
- Nghiem, L.D., Mornane, P., Potter, I.D., Perera, J.M., Cattrall, R.W., and Kolev, S.D. 2006. Extraction *and* Transpor of Metal Ions *and* Small Organic Compounds Using Polymer Inclusion Membranes (PIMs): Review. *J. Membr. Sci.* Vol. 281: 7–41.
- Nosrati, S., Jayakumar, N.S., and Hashim, M.A. 2011. Performance evaluation of supported ionic liquid membrane for removal of phenol. *J. Hazard. Mater.* 192:1283–1290.
- Othman, N., Ling, C.H., Norul, F. M. N., Ooi, Z.Y., Norela, J., Nur, A.N., and Nora'aini, A.S. H. 2015. Removal of Phenol from Wastewater by Supported Liquid Membrane Process. *Sciences and Engineering.* 74 (7) : 117–121.
- Othman, N., Noah, N. F. M., Shu, L. Y., Ooi, Z. Y., Jusoh, N., Idroas, M. and Goto, M. 2016. 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.
- Pan, Y., Li, Z., Zhang, Z., Tong, X. S., Li, H., Jia, C. Z., Liu, B., Sun, C. Y., Yang, L. Y., Chen, G. J. and Ma, D. Y. 2016. Adsorptive removal of phenol from aqueous solution with zeolitic imidazolate framework-67. *Journal of Environmental Management.* 169: 167-173.
- Panja, S., Ruhela, R., Das, A., Tripathi, S.C., Singh, A.K., Gandhi, P.M., and Hubli, R.C. 2014. Carrier mediated transpor of Pd(II) from nitric acid medium using Dithiodiglycolamide(DTDGA) across a supported liquid membrane (SLM). *Journal of Membrane Science.* 449:67–73.
- Pavon, S., Fortunya, A., Collc, M.T., Bertaub, M., and Sastre. A.M. 2020. Permeability dependencies on the carrier concentration and membrane viscosity for Y(III) and Eu(III) transpor by using liquid membranes. *Separation and Purification Technology.* 239 : 116573.

- Pont, N., Salvadó, V., and Fontàs, C. 2018. Applicability of a Supported Liquid Membrane in the Enrichment and Determination of Cadmium from Complex Aqueous Samples. *Membranes*. 8(21).
- Praveen. P., Nguyen, D.T.T., and Loh, K.C. 2015. Biodegradation of Phenol from Saline Wastewater using Forward Osmotic Hollow Fiber Membrane Bioreactor Coupled Chemostat. *Biochem. Eng. J.* 94: 125–133.
- Qian, Z., Miedemab, H., Sahinc, S., Smet, L.C.P.M.D., and Sudhölter, E.J.R. 2020. Separation of alkali metal cations by a supported liquid membrane (SLM) operating under electro dialysis (ED) conditions. *Desalination*. 495:114631.
- Refinel, Salim, E., and Astuti, I.T. 2019. Transport of Phenol by Bulk Liquid Membrane Using FeCl<sub>3</sub> Solution as Stripping Phase. *Jurnal Zarah*. 7(1):29-34.
- Reyes, A.J.A., Gonzalez, M.P., Navarro, R., Saucedo, T.I., and Avila- Rodriguez, M. 2008. Supported Liquid Membranes (SLM) for Recovery of Bismuth from Aqueous Solutions. *Journal Membrane Sciences*. 310 : 13–19.
- Rosly, M.B., Othman, N., and Rahman, H.A. 2018. Liquid Membrane Component Selection for Removal of Phenol from Simulated Aqueous Waste Solution. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*. 22(4):702 – 714.
- Saka, C., Kiswandono, A.A., and Hadi, S. 2020. Synthesis of Polymer Inclusion Membranes Based On PVC Containing Copoly-EDVB 4% As A Carrier For Removal Of Phenol Solutions. *Poll Res*. 39 (4) : 1009-1016.
- Sklavos, S., Gatidou G., Stasinakis AS., and Haralambopoulos D. 2015. Use of Solar Distillation For olive Mill Wastewater Drying and Recovery of Polyphenolic Compounds. *J Environ Manag.*, Vol. 162:46–52.
- Sousa, A. R. and Trancoso, M. A. 2009. Validation of An Environmental Friendly Segmented Flow Method for The Determination of Phenol Index in Waters as Alternative to The Conventional One. *Talanta*. 79: 796–803.
- Standar Nasional Indonesia *SNI 06-6989.21-2004*. Air dan air limbah Bagian 21: Cara uji kadar fenol secara Spektrofotometri. ICS 13.060.50. BSN.
- Suhartati, T. 2017. *Dasar-Dasar Spektrofotometri Uv-Vis Dan Spektrometri Massa Untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. AURA CV. Anugrah Utama Raharja. Bandar Lampung.
- Sun, H., Yao, J., Li, D., Li, Q., Liu, B., Liu, S., Cong, H., van Agtmaal, S., and Feng, C. 2017. Removal of phenols from coal gasification wastewater through polypropylene hollow fiber supported liquid membrane. *Chemical Engineering Research and Design*. 123: 277-283.
- Susila, K. 2019. *Pemisahan Dengan Membrane*. Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta : 5-18.
- Suprasetyo, A. dan Setiarso, P. 2016. Penentuan Kadar Fenol Pada Air Sungai Secara Cyclic Stripping Voltammetry dengan Menggunakan Elektroda Pasta Karbon Termodifikasi Zeolit. *Prosiding Seminar Kimia dan*

- Pembelajarannya*, ISBN : 978-602-0951-12-6. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Surabaya. Surabaya. Hal. 6-12.
- Sygouni, V., Pantziaros, A.G., Iakovides, I.C., Sfetsa, E., Bogdou, P.I., Christoforou, E.A., and Paraskeva, C.A. 2019. Treatment of Two-Phase Olive Mill Wastewater and Recovery of Phenolic Compounds Using Membrane Technology. *Membranes*. 9(27).
- Urriaga, A., Gutierrez, R., and Ortiz, I. 2009. Phenol Recovery from Phenolic Resin Manufacturing: Viability of The Emulsion Pertraction Technology. *Desalination*. 245 : 444-450.
- Venkateswaran, P., and Palanivelu, K. 2006. Recovery of Phenol from Aqueous Solution by Supported Liquid Membrane Using Vegetable Oils as Liquid Membrane. *J. Hazard. Mater.* B131 : 146 – 152.
- Villegas, L.G.C., Mashhadi, N., Chen, M., Mukherjeel, D., Taylor, K.E., and Biswas, N. 2016. A Short Review of Techniques for Phenol Removal from Wastewater. *Curr Pollution Rep.* 2:157–167.
- Van de Voorde, I., Pinoy, L., and De Ketelaere, R. F. (2004). Recovery of nickel ions by supported liquid membrane (SLM) extraction. *Journal of Membrane Science*. 234, 11–21.
- Yang, X., Duan, H., Shi, D., Yang, R., Wang, S., and Guo, H. 2015. Facilitated Transpor of Phenol Through Supported Liquid Membrane Containin (Bis(2-ethylhexyl) Sulfoxide (BESO) as the Carrier. *Journal Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 93: 79-86.
- Yulita, D. F. 2018. Transpor Fenol Menggunakan Kopoli (Eugenol-Dialil Ftalat) Sebagai Senyawa *Carrier* Dengan Metode *Supported Liquid Membrane* (SLM). *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Zahid, M., Rashid, A., Akram, S., Rehan, Z., and Razzaq, W. 2018. A comprehensive review on polymeric nano-composite membranes for water treatment. *J. Membr. Sci. Technol.* 8:1–20.
- Zante, G., Boltoeva, M., Masmoudi, A., Barillon, R., and Trébouet, D. 2021. Supported ionic liquid and polymer inclusion membranes for metal separation. *Separation and Purification Reviews*. 1-18.
- Zha, F. F., Fane, A. G., and Fell, C. J. D. 1995. Instability mechanisms of supported liquid membranes in phenol transpor process. *Journal of Membrane Science*. 107(1-2) : 59–74.
- Zha, F.F., Fane, A.G., and Feel, C.J.D. 2006. Phenol Removal by Supported Liquid Membranes. *Separation Science and Technology*. 29: 2317-2343.
- Zhang, B., G. Gozzelino, G., and Baldi. 2001. Membrane liquid loss of supported liquid membrane based on n-decanol. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. Vol. 193: 61 – 70.
- Zheng, H.D., Biyu, W., Yanxiang, W., and Qilong, R. 2009. Instability Mechanisms of Supported Liquid Membranes for Copper (II) Ion Extraction. *Colloids and Surfaces A: Physicochem and Engineering Aspects*. Vol. 351: 38–45.

- Zhou, H., Zhang, X., Lv, T., Guo, Q., and Wang, L. 2019. Comparative study of solvent extraction and supported liquid membrane for the extraction of gallium (III) from chloride solution using organophosphorus acids as extractants. *Separation Science and Technology*. ISSN 1520-5754.
- Zhou, H., Ye, Y., Tan, Y., Zhu, K., Liu, X., Tian, H., Guo, Q., Wang, L., Zhao, S., and Liu, Y. 2022. Supported Liquid Membranes Based on Bifunctional Ionic Liquids for Selective Recovery of Gallium. *Membranes*. 12(376).
- Zidi, C., Tayeb, R., Ali, M.B.S., and Dhahbi, M. 2010. Liquid–Liquid Extraction and Transport Across Supported Liquid Membrane of Phenol Using Tributyl Phosphat. *Journal of Membrane Science*. 360: 334–340.
- Zidi, C., Tayeb, R., and Dhahbi, M. 2011. Extraction of phenol from aqueous solutions by means of supported liquid membrane (MLS) containing tri-n-octyl phosphine oxide (TOPO). *J. Hazard. Mater.* 194:62–68.