

**STABILITAS MEMBRAN YANG MENGANDUNG KOPOLI EUGENOL
DIVINIL BENZENA 8% UNTUK TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN
METODE *SUPPORTED LIQUID MEMBRANE***

(Tesis)

Oleh

ANISA RAHMAWATI



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

ABSTRAK

STABILITAS MEMBRAN YANG MENGANDUNG KOPOLI EUGENOL DIVINIL BENZENA 8% UNTUK TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN METODE *SUPPORTED LIQUID MEMBRANE*

Oleh

ANISA RAHMAWATI

Pemisahan dan pemurnian fenol dari air limbah dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi membran cair berbasis polieugenol sebagai senyawa pembawa. Membran cair yang mengandung senyawa pembawa dapat digunakan karena fenol dan senyawa pembawa memiliki sisi aktif yang sama. Salah satu metode pada membran cair yang dapat digunakan untuk memisahkan dan memurnikan fenol yaitu metode *Supported Liquid Membrane* (SLM). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui stabilitas dan ketahanan membran SLM yang mengandung senyawa pembawa kopoli eugenol divinil benzena (Ko-EDVB) 8%. Beberapa parameter yang mempengaruhi stabilitas dan ketahanan membran SLM antara lain pengaruh kecepatan pengadukan, pengaruh penambahan variasi jenis garam, pengaruh variasi konsentrasi garam, pengaruh logam kompetitor, pemakaian membran secara berulang dan masa pakai membran (*lifetime*). Membran SLM dipreparasi dengan cara merendamnya (*immersion*) ke dalam 10 mL pelarut kloroform yang mengandung senyawa pembawa Ko-EDVB 8% dengan konsentrasi 0,010 M. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran SLM yang mengandung politetrafluoroetilena (PTFE) sebagai polimer pendukung dan Ko-EDVB 8% sebagai senyawa pembawa memiliki stabilitas pada kecepatan pengadukan 800 rpm dengan persentase fenol yang berhasil tertransport sebesar 72,150%. Penambahan jenis garam NaCl pada fasa sumber menunjukkan hasil persentase transport fenol yang lebih besar dibandingkan dengan penambahan jenis garam lainnya, yakni mampu mentranspor fenol sebesar 48,690% di fasa penerima. Konsentrasi 0,010 M merupakan konsentrasi yang optimum untuk garam NaCl pada fasa sumber maupun fasa penerima, dengan keberhasilan persentase fenol yang tertransport masing-masing yaitu sebesar 48,643% dan 33,893%. Membran SLM memiliki kemampuan selektivitas yang baik, dibuktikan dengan adanya keberadaan logam Cu(II), Fe(III) dan Pb(II) pada fasa sumber tidak menghambat

membran SLM untuk dapat mentranspor fenol. Ketahanan membran SLM dibuktikan dengan pemakaian berulang dan *lifetime*. Membran SLM dapat digunakan untuk mentranspor fenol hingga empat kali pengulangan. Sedangkan membran SLM dengan penambahan garam pada fasa sumber memiliki umur yang lebih lama dibandingkan dengan membran SLM tanpa penambahan garam. Hal ini dibuktikan dengan nilai pH fenol pada fasa sumber di hari ke-25, membran SLM dengan penambahan garam lebih kecil (7,37-7,76) dibandingkan dengan pH pada membran SLM tanpa penambahan garam (8,41).

Kata kunci: Ko-EDVB, Fenol, Politetrafluoroetilena, Stabilitas, *Supported Liquid Membrane*

ABSTRACT

STABILITY OF MEMBRANES CONTAINING 8% COPOLY EUGENOL DIVINYL BENZENE FOR PHENOL TRANSPORT USING SUPPORTED LIQUID MEMBRANE METHOD

By

ANISA RAHMAWATI

Separation and purification of phenol from wastewater can be carried out using liquid membrane technology based on polyeugenol as a carrier. Liquid membranes containing carriers can be used because phenol and carriers have the same active site. One of the methods on liquid membranes that can be used to separate and purify phenol is the Supported Liquid Membrane (SLM) method. This study aims to determine the stability and resistance of SLM membranes containing copoly eugenol divinyl benzene (Co-EDVB) 8%. Some of the parameters that affect the stability and durability of SLM membranes include the effect of stirring speed, the effect of adding various types of salt, the effect of variations in salt concentration, the influence of metal competitors, the repeated use of membranes, and the lifetime of the membrane. The SLM membrane was prepared by immersion in 10 mL of chloroform solvent containing 8% Co-EDVB carrier at a concentration of 0.010 M. The results showed that the SLM membrane, which contained polytetrafluoroethylene (PTFE) as a supporting polymer and 8% Co-EDVB as a carrier, has stability at a stirring speed of 800 rpm with a percentage of phenol that is successfully transported at 72.150%. The addition of NaCl salt in the source phase showed a higher percentage of phenol transport compared to the addition of other types of salt, which was able to transport 48.690% of phenol in the receiving phase. The concentration of 0.010 M is the optimum concentration for NaCl salt in the source and receiving phases, with the percentage of phenol transported being 48.643% and 33.893%, respectively. The SLM membrane has good selectivity, as evidenced by the presence of Cu(II), Fe(III), and Pb(II) metals in the source phase, which do not inhibit the SLM membrane from being able to transport phenol. SLM membrane durability is proven by repeated use and lifetime. SLM membranes can be used to

transport phenol up to four times. Meanwhile, the SLM membrane with the addition of salt in the source phase has a longer life compared to the SLM membrane without the addition of salt. This is evidenced by the pH value of phenol in the source phase on day 25; the SLM membrane with the addition of salt is smaller (7.37–7.76) compared to the pH of the SLM membrane without the addition of salt (8.41).

Keywords: Co-EDVB, Phenol, Polytetrafluoroethylene, Stability, Supported Liquid Membrane

**STABILITAS MEMBRAN YANG MENGANDUNG KOPOLI EUGENOL
DIVINIL BENZENA 8% UNTUK TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN
METODE *SUPPORTED LIQUID MEMBRANE***

Oleh

Anisa Rahmawati

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER SAINS

Pada

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



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

Judul Tesis : **STABILITAS MEMBRAN YANG
MENGANDUNG KOPOLI EUGENOL
DIVINIL BENZENA 8% UNTUK TRANSPOR
FENOL MENGGUNAKAN METODE
SUPPORTED LIQUID MEMBRANE**

Nama Mahasiswa : **Anisa Rahmawati**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2127011011

Program Studi : **Magister Kimia**

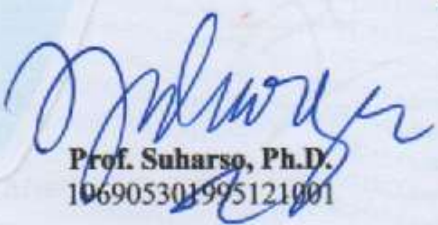
Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**




Pembimbing 1

Pembimbing 2


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


Prof. Suharso, Ph.D.
106905301995121001

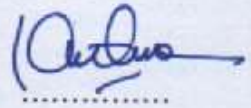
2. Ketua Program Studi Magister Kimia
FMIPA Unila


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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

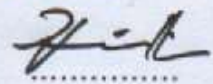
Ketua : Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Sc.



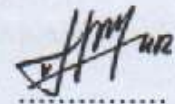
Sekretaris : Prof. Suharso, Ph.D.



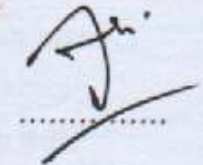
Penguji
Bukan Pembimbing 1 : Dr. Rinawati, S.Si., M.Si.



Bukan Pembimbing 2 : Dr. Nurhasanah, S.Si., M.Si.



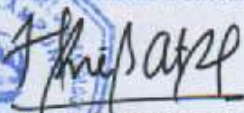
Bukan Pembimbing 3 : Prof. Andi Setiawan, Ph.D.



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197410012005011002



3. Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Murchadi, M.Si.
NIP. 196403261989021001



Tangga Lulus Ujian Tesis: 12 Juni 2023

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anisa Rahmawati
Nomor Pokok Mahasiswa : 2127011011
Program Studi : Magister Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Tesis yang berjudul:

**“STABILITAS MEMBRAN YANG MENGANDUNG KOPOLI EUGENOL
DIVINIL BENZENA 8% UNTUK TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN
METODE SUPPORTED LIQUID MEMBRANE”**

tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 19 Juni 2023
Yang Menyatakan



Anisa Rahmawati
NPM. 2127011011

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Anisa Rahmawati, lahir di Natar pada tanggal 29 Juni 1998. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Raudhatul Athfal Aulia pada tahun 2004, lalu melanjutkan ke SD Negeri 1 Natar lulus pada tahun 2010, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 1 Natar lulus pada tahun 2013, dan selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Natar lulus pada tahun 2016.

Pada tahun 2016 penulis melanjutkan Pendidikan di Perguruan Tinggi Negeri Universitas Lampung, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada Jurusan Kimia dan meraih gelar Sarjana Sains (S.Si) pada tahun 2020. Pada tahun 2021, penulis tercatat sebagai mahasiswa Pascasarjana Program Studi Magister Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa Magister Kimia, penulis pernah menjadi Asisten Praktikum Kimia Analitik I dan Analitik II. Selain itu, penulis juga memiliki pengalaman sebagai Tutor Dosen pada mata kuliah Teknik Pemisahan Kimia. Penulis melakukan penelitian sebagai bahan penyusunan tugas akhir di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan Magister Sains pada bulan Juni tahun 2023 dengan tesis yang berjudul **“STABILITAS MEMBRAN YANG MENGANDUNG KOPOLI EUGENOL DIVINIL BENZENA 8% UNTUK TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN METODE *SUPPORTED LIQUID MEMBRANE*”**.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang

**Dengan mengucap
Alhamdulillah rabbil'alamin dan dengan segala kerendahan hati
Ku persembahkan karya sederhana ini kepada**

**Bapak dan Ibu tercinta yang telah membesarkan, mendidik, mendo'akan,
mendukung, dan memberikan kasih sayang yang tak terbatas serta cinta yang
sangat besar dan tak ternilai. Melalui karya kecil ini, aku sebagai putrimu
mengucapkan terima kasih atas segalanya.**

**Seluruh keluarga besar terutama Adikku Rahmat Prayoga yang selalu
memberi perhatian dan bantuan untukku.**

**Dengan segala rasa hormat kepada:
Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Sc.,
Bapak Prof. Suharso, Ph.D.,
Ibu Dr. Rinawati, S.Si., M.Si.,
Ibu Dr. Nurhasanah, S.Si., M.Si.,
Bapak Prof. Andi Setiawan, Ph.D.,
serta seluruh Dosen Pengajar yang telah membimbing dan mendidikku
sampai menyelesaikan pendidikan Magister.**

**Seluruh kerabat yang telah memberikan banyak bantuan, dukungan, semangat,
saran dan motivasi.**

Almamater tercinta Universitas Lampung

MOTTO

**Allah tak menyegerakan sesuatu, kecuali itu yang terbaik.
Tidak melambat-lambatkan sesuatu, kecuali itu yang terbaik.**

(Andre Saddam. H)

**Jika bukan sekarang maka besok. Jika bukan besok maka kelak.
Allah maha tahu waktu, tempat dan orang yang tepat.**

(Anonim)

**Ketika kita malas, kita sedang mendzolimi orang-orang
yang percaya dengan kita**

(Iqbaal Dhiafakhri)

SANWACANA

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

Tesis dengan judul “**Stabilitas Membran yang Mengandung Kopoli Eugenol Divinil Benzena 8% untuk Transpor Fenol Menggunakan Metode *Supported Liquid Membrane***” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains (M.Si) pada Program Studi Magister Kimia, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penyelesaian tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sehingga dengan do'a yang tulus, penulis mengucapkan terima kasih yang amat sangat besar dan rasa hormat yang setinggi-tingginya dihaturkan kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang tercinta Bapak Yuliantono dan Ibu Endang Sri Pratiwi, yang telah membesarkan dan mengasuh, mendidik, membimbing dengan ikhlas dan penuh kasih sayang, serta senantiasa selalu berdoa kepada Allah SWT., untuk kebaikan, keselamatan, dan keberhasilan penulis. Terima kasih sudah menjadi orang tua yang hebat, tempat keluh kesah ternyaman, pelindung yang tangguh, penasihat yang tidak pernah mematahkan semangat

dan pendengar terbaik yang tidak pernah menghakimi. Terima kasih untuk semua pengorbanan dan kerja keras demi keberhasilan penulis. Semoga Allah selalu memberikan kesehatan, keselamatan, rezeki dan kebahagiaan dunia akhirat kepada kalian *aamiin Allahumma aamiin*.

2. Rahmat Prayoga, atas segala perhatian dan bantuannya. Terima kasih sudah menjadi adik sekaligus teman yang pengertian dan bisa diandalkan.
3. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Sc., selaku dosen pembimbing I atas segala kebaikan, ilmu, motivasi, keikhlasan, kesabaran dan bimbingan sehingga penulis bisa menyelesaikan penelitian dan tesis ini dengan baik. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan keberkahan atas semua yang telah Bapak berikan, *aamiin*.
4. Bapak Prof. Suharso, Ph.D., selaku dosen pembimbing II atas segala saran, nasihat, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis dalam perencanaan dan penyelesaian tesis ini. Semoga Allah senantiasa memberikan ridho-Nya dan membalas semuanya dengan kebaikan.
5. Ibu Dr. Rinawati, S.Si., M.Si., Ibu Dr. Nurhasanah, S.Si., M.Si., dan Bapak Prof. Andi Setiawan, Ph.D., selaku dosen penguji atas segala kritik, saran dan ilmu yang bermanfaat yang telah diberikan kepada penulis, sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga Allah memberikan keberkahan atas semua yang sudah diberikan.
6. Ibu Dr. Nurhasanah, S.Si., M.Si., selaku Ketua Program Studi Magister Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

7. Bapak Mulyono, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila atas segala ilmu, bimbingan dan pengalaman yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan Magister di Universitas Lampung. Semoga Allah SWT senantiasa membalas kebaikan-kebaikan Bapak dan Ibu.
9. Ibu Dr. Rinawati, S.Si., M.Si., selaku Kepala Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi atas izin penggunaan laboratorium yang telah diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan baik.
10. Teman-teman *Membrane Research*, Nurhuda, Mba Eva, Kharisma, Annur dan yang lainnya, terima kasih untuk semua bantuan, dukungan, kesabaran, keikhlasan, dan pengalamannya selama perjalanan menuju kelulusan.
11. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan tesis ini. Terima kasih atas segala ketulusan, kebaikan dan do'a. Mohon maaf jika penulis tidak bisa menyebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT membalas kebaikan yang telah diberikan kepada penulis.

Bandar Lampung, Juni 2023

Penulis,

Anisa Rahmawati

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iv
MENGESAHKAN	viii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	ix
RIWAYAT HIDUP	x
MOTTO	xii
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xxi
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan Penelitian.....	4
C. Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Limbah Fenol.....	6
B. Teknologi Membran Cair	9
C. <i>Supported Liquid Membrane</i> (SLM).....	10
D. Membran <i>Politetrafluoroetilena</i> (PTFE).....	12
E. Senyawa Pembawa	13
F. Eugenol dan Divinil Benzena	15
G. Mekanisme Transpor Fenol	20
H. <i>Membrane Liquid Loss</i> (ML Loss)	21
1. Mekanisme Tekanan Osmotik (<i>Osmotic Pressure Mechanisms</i> , OPM)	22

2.	Mekanisme Pembasahan Secara Progresif (<i>Progressive Wetting Mechanisms</i> , PWM)	22
3.	Mekanisme Penutupan Pori (<i>Pore-Block Mechanisms</i> , PBM).....	23
4.	Mekanisme <i>Shear-Induced Emulsion</i>	24
I.	Analisis Konsentrasi Fenol dan Karakterisasi Membran SLM	24
1.	Spektrofotometri Ultra Violet-Visible (UV-Vis)	24
2.	<i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	26
3.	<i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	29
III.	METODOLOGI PENELITIAN.....	31
A.	Waktu dan Tempat.....	31
B.	Alat dan Bahan	31
C.	Prosedur	32
1.	Perendaman (<i>Immersion</i>) Membran SLM.....	32
2.	Kondisi Transpor Fenol	32
3.	Uji Stabilitas Membran SLM	33
4.	Pengukuran Konsentrasi Fenol dalam Sampel	36
5.	<i>Membrane Liquid Loss</i> (ML Loss)	36
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
A.	Stabilitas dan Ketahanan Membran SLM.....	38
1.	Variasi Kecepatan Pengadukan	38
2.	Variasi Jenis Garam.....	42
3.	Variasi Konsentrasi Garam NaCl pada Fasa Sumber	47
4.	Variasi Konsentrasi Garam NaCl pada Fasa Penerima	50
5.	Uji Transpor Fenol pada Limbah Buatan	52
6.	Uji Ketahanan Membran SLM pada Pemakaian Berulang	56
7.	Umur Membran SLM (<i>Lifetime</i>)	59
B.	Karakterisasi Membran SLM	62
V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	68
A.	Kesimpulan.....	68
B.	Saran	69
	DAFTAR PUSTAKA	70
	LAMPIRAN.....	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur fenol	6
2. Struktur politetrafluoroetilen (PTFE).....	13
3. Struktur eugenol.....	16
4. Mekanisme reaksi sintesis Ko-EDVB.....	18
5. Prediksi struktur Ko-EDVB	19
6. Skema transpor fenol menggunakan membran cair	20
7. Panjang gelombang maksimum fenol	26
8. Perbandingan spektra FTIR (a) senyawa pembawa Ko-EDVB, (b) membran SLM sebelum transpor dan (c) membran SLM setelah transpor.....	28
9. Hasil SEM membran PTFE (a) sebelum transpor dan (b) sesudah transpor fenol	30
10. Alat chamber	33
11. Diagram alir penelitian.....	37
12. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor (%Cs: konsentrasi fenol pada fasa sumber, %Cp: konsentrasi fenol pada fasa penerima).	39
13. Pengaruh variasi kecepatan pengadukan terhadap persentase kehilangan komponen penyusun membran (%ML <i>loss</i>)	40
14. Pengaruh jenis garam terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor (%Cs: konsentrasi fenol pada fasa sumber, %Cp: konsentrasi fenol pada fasa penerima).	43
15. Pengaruh variasi jenis garam pada fasa sumber terhadap persentase kehilangan komponen penyusun membran (%ML <i>loss</i>)	46
16. Pengaruh konsentrasi garam NaCl pada fasa sumber terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor (%Cs: konsentrasi fenol pada fasa sumber, %Cp: konsentrasi fenol pada fasa penerima).	47
17. Pengaruh konsentrasi garam NaCl pada fasa sumber terhadap persentase kehilangan komponen penyusun membran (%ML <i>loss</i>).....	49

18. Pengaruh konsentrasi garam NaCl pada fasa penerima terhadap konsentrasi fenol yang tertransportasi (%Cs: konsentrasi fenol pada fasa sumber, %Cp: konsentrasi fenol pada fasa penerima)	50
19. Pengaruh konsentrasi garam NaCl pada fasa penerima terhadap persentase kehilangan komponen penyusun membran (%ML <i>loss</i>).....	52
20. Perbandingan hasil transport fenol antara larutan kontrol fenol; Cu+fenol; Fe+fenol; Pb+fenol; dan Cu+Fe+Pb+fenol terhadap persentase konsentrasi fenol pada fasa penerima (%Cp).....	53
21. Ikatan kompleks antara senyawa pembawa dengan ion logam M.	54
22. Pengaruh logam kompetitor pada fasa sumber terhadap persentase kehilangan komponen penyusun membran (%ML <i>loss</i>)	55
23. Grafik pengaruh pemakaian berulang tanpa pencucian membran SLM terhadap % fenol pada fasa penerima	56
24. Grafik pengaruh pemakaian berulang dengan pencucian membran SLM terhadap % fenol pada fasa penerima	57
25. Pengaruh pemakaian berulang variasi tanpa pencucian terhadap persentase kehilangan komponen penyusun membran (%ML <i>loss</i>).....	58
26. Pengaruh pemakaian berulang variasi dengan pencucian terhadap persentase kehilangan komponen penyusun membran (%ML <i>loss</i>).....	58
27. Grafik pengukuran pH fasa sumber <i>lifetime</i>	60
28. Pengaruh penambahan jenis garam pada <i>lifetime</i> terhadap persentase kehilangan komponen penyusun membran (%ML <i>loss</i>).....	61
29. Spektrum hasil FTIR pada (a). senyawa pembawa Ko-EDVB 8%; (b). membran SLM sebelum transport; (c). membran SLM setelah transport variasi kecepatan pengadukan 800 rpm; (d). membran SLM setelah transport variasi jenis dan konsentrasi garam NaCl 0,010 M; (e). membran SLM setelah transport pengaruh logam Cu+Fe+Pb+Fenol; (f). membran SLM setelah transport pemakaian berulang 4x (tanpa pencucian, 800 rpm); (g). membran SLM setelah transport <i>lifetime</i> dengan penambahan garam NaCl 0,010 M di fasa sumber; dan (h). membran SLM setelah transport <i>lifetime</i> kontrol (tanpa penambahan garam di fasa sumber).....	63
30. Perbandingan hasil karakterisasi SEM pada membran SLM (a) sebelum transport fenol; (b) setelah transport fenol tanpa garam; (c) setelah transport fenol dengan penambahan garam NaCl 0,010 M.....	66
31. Kurva absorbansi fenol pada variasi kecepatan pengadukan.....	88
32. Kurva absorbansi fenol pada variasi jenis garam pada fasa sumber	91
33. Kurva absorbansi fenol pada variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa sumber.....	94
34. Kurva absorbansi fenol pada variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa penerima.....	97
35. Kurva absorbansi fenol pada pemakaian berulang 1x.....	99

36. Kurva absorbansi fenol pada pemakaian berulang 2x.....	102
37. Kurva absorbansi fenol pada pemakaian berulang 3x.....	104
38. Kurva absorbansi fenol pada pemakaian berulang 4x.....	107
39. Kurva absorbansi fenol pada pengaruh logam kompetitor	109

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Perbandingan gugus fungsi hasil IR senyawa pembawa Ko-EDVB 8%, membran SLM sebelum transpor dan setelah transpor	29
2. Kadar kation pada variasi jenis garam pada fasa sumber dan persentase konsentrasi fenol pada fasa penerima.....	45
3. Pengukuran pH pada fasa sumber sebagai parameter ketahanan umur membran (<i>lifetime</i>)	60
4. Perbandingan gugus fungsi dari senyawa pembawa Ko-EDVB 8%, membran SLM sebelum dan setelah transpor	64
5. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi kecepatan pengadukan	88
6. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi kecepatan pengadukan (Pengulangan 1)	88
7. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima (Pengulangan 2).....	89
8. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima (Pengulangan 3).....	89
9. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada variasi kecepatan pengadukan.....	89
10. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi kecepatan pengadukan.....	89
11. Data berat membran sebelum dan setelah transpor fenol serta nilai %ML <i>loss</i> pada variasi kecepatan pengadukan	90
12. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi jenis garam pada fasa sumber	90
13. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis garam pada fasa sumber (Pengulangan 1).....	91
14. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis garam pada fasa sumber (Pengulangan 2).....	91
15. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis garam pada fasa sumber (Pengulangan 3).....	92

16. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada variasi jenis garam pada fasa sumber.....	92
17. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi jenis garam pada fasa sumber.....	92
18. Data berat membran sebelum dan setelah transpor fenol serta nilai %ML <i>loss</i> pada variasi jenis garam pada fasa sumber	93
19. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa sumber	93
20. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa sumber (Pengulangan 1).....	94
21. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa sumber (Pengulangan 2).....	94
22. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa sumber (Pengulangan 3).....	95
23. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa sumber	95
24. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa sumber	95
25. Data berat membran sebelum dan setelah transpor fenol serta nilai %ML <i>loss</i> pada variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa sumber	96
26. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa penerima	96
27. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa penerima (Pengulangan 1).....	97
28. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa penerima (Pengulangan 2).....	97
29. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa penerima (Pengulangan 3).....	98
30. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa penerima	98
31. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa penerima	98
32. Data berat membran sebelum dan setelah transpor fenol serta nilai %ML <i>loss</i> pada variasi konsentrasi garam NaCl pada fasa penerima.....	99
33. Absorbansi larutan standar fenol pada pemakaian berulang 1x.....	99
34. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang 1x (Pengulangan 1).....	100

35. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang 1x (Pengulangan 2).....	100
36. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang 1x (Pengulangan 3).....	100
37. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada pemakaian berulang 1x.....	100
38. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang 1x.....	101
39. Data berat membran sebelum dan setelah transpor fenol serta nilai %ML <i>loss</i> pada pemakaian berulang 1x.....	101
40. Absorbansi larutan standar fenol pada pemakaian berulang 2x.....	101
41. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang 2x (Pengulangan 1).....	102
42. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang 2x (Pengulangan 2).....	102
43. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang 2x (Pengulangan 3).....	103
44. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada pemakaian berulang 2x.....	103
45. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang 2x.....	103
46. Data berat membran sebelum dan setelah transpor fenol serta nilai %ML <i>loss</i> pada pemakaian berulang 2x.....	104
47. Absorbansi larutan standar fenol pada pemakaian berulang 3x.....	104
48. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang 3x (Pengulangan 1).....	105
49. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang 3x (Pengulangan 2).....	105
50. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang 3x (Pengulangan 3).....	105
51. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada pemakaian berulang 3x.....	105
52. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang 3x.....	106
53. Data berat membran sebelum dan setelah transpor fenol serta nilai %ML <i>loss</i> pada pemakaian berulang 3x.....	106
54. Absorbansi larutan standar fenol pada pemakaian berulang 4x.....	106

55. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang 4x (Pengulangan 1).....	107
56. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang 4x (Pengulangan 2).....	107
57. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang 4x (Pengulangan 3).....	108
58. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada pemakaian berulang 4x.....	108
59. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada pemakaian berulang 4x.....	108
60. Data berat membran sebelum dan setelah transpor fenol serta nilai %ML <i>loss</i> pada pemakaian berulang 4x.....	109
61. Absorbansi larutan standar fenol pada pengaruh logam kompetitor.....	109
62. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pengaruh logam kompetitor (Pengulangan 1).....	110
63. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pengaruh logam kompetitor (Pengulangan 2).....	110
64. Pengukuran absorbansi fenol pada fasa sumber dan fasa penerima pada pengaruh logam kompetitor (Pengulangan 3).....	110
65. Persentase konsentrasi fenol di fasa sumber (%Cs), fasa membran (%Cm), fasa penerima (%Cp) dan removal hasil transpor fenol pada pengaruh logam kompetitor.....	110
66. Data \bar{x} , SD, dan % RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada pengaruh logam kompetitor.....	111
67. Data berat membran sebelum dan setelah transpor fenol serta nilai %ML <i>loss</i> pada pengaruh logam kompetitor.....	111
68. Pengukuran pH fasa sumber pada <i>lifetime</i> tanpa penambahan garam.....	111
69. Pengukuran pH fasa sumber pada <i>lifetime</i> dengan penambahan garam NaNO ₃	112
70. Pengukuran pH fasa sumber pada <i>lifetime</i> dengan penambahan garam Na ₂ SO ₄	112
71. Pengukuran pH fasa sumber pada <i>lifetime</i> dengan penambahan garam NaCl.....	113
72. Pengukuran pH fasa sumber pada <i>lifetime</i> dengan penambahan garam KNO ₃	113

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pertumbuhan industri yang berkembang pesat dapat berdampak pada meningkatnya jumlah limbah industri yang dihasilkan. Pengelolaan limbah industri yang buruk dapat menimbulkan dampak yang kurang baik, antara lain pencemaran lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia. Logam berat dan senyawa organik merupakan mayoritas bahan kimia berbahaya yang ditemukan dalam limbah cair industri. Fenol merupakan salah satu contoh senyawa organik berbahaya yang berasal dari pembuangan limbah cair industri. Limbah cair yang mengandung fenol dapat mempengaruhi ekosistem perairan dan melalui berbagai aktivitas manusia, fenol dapat terakumulasi dalam tubuh dan menyebabkan gangguan pencernaan, kerusakan otak, paru-paru, ginjal, hati, pankreas, dan limpa (Asuhadi *et al.*, 2019). Konsentrasi fenol dalam limbah umumnya berada dalam kisaran 10–3000 mg/L (Prayitno, 2016), sedangkan keberadaan senyawa fenol di lingkungan perairan yang masih dianggap aman, yaitu 0,5–1 mg/L (Refinel *et al.*, 2019).

Akumulasi fenol dalam lingkungan perairan menyebabkan timbulnya kontaminasi lingkungan dan menimbulkan dampak negatif terhadap sistem kehidupan. Untuk mengatasi akibat yang ditimbulkan oleh pencemaran fenol terhadap lingkungan dan manusia, maka diperlukan suatu metode untuk pemisahan dan pemurnian fenol dari limbah cair (Refinel *et al.*, 2019). Beberapa metode yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah fenol di antaranya adalah dengan proses bioremediasi (Rahyuningsih *et al.*, 2018), fotokatalis (Li, 2020), elektrokimia (Saratale *et al.*, 2015), destilasi (Sklavos *et al.*, 2015) dan adsorpsi (Kumar *et al.*, 2014). Metode-metode tersebut memiliki biaya operasional yang tinggi,

pembentukan produk samping yang berbahaya, efisiensi dan konsentrasi terbatas dan tidak ekonomis karena membutuhkan bahan, biaya dan energi yang besar, serta proses mineralisasi yang tidak sempurna sehingga pengolahan yang dilakukan kurang efektif (Pavón *et al.*, 2020).

Pada saat ini industri umumnya melakukan pengolahan limbah cair yang mengandung fenol secara kimia dan secara biologi. Pada proses kimia mempunyai kendala yaitu biaya untuk pembelian bahan yang mahal dan menghasilkan endapan yang cukup banyak, sehingga industri harus menyediakan prasarana dan biaya yang lebih untuk penanganan endapan tersebut. Sedangkan pada proses biologi, kendalanya adalah memerlukan lahan yang cukup luas dan energi yang besar (Villegas *et al.*, 2016; Indrayani, 2018).

Berdasarkan uraian di atas, maka untuk meminimalisir masalah tersebut perlu diterapkan suatu metode yang lebih efektif dan inovatif untuk mengatasi kekurangan dari metode-metode sebelumnya. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk pengolahan fenol pada limbah cair yaitu menggunakan membran cair (Kiswandono, 2016). Teknologi membran cair merupakan salah satu metode yang ramah lingkungan untuk *recovery* atau pemisahan dan pemurnian fenol dari lingkungan perairan. Teknologi membran cair telah berkembang pesat baik untuk skala laboratorium maupun skala komersial yang digunakan untuk berbagai keperluan pemisahan. Teknologi membran cair selama ini hanya digunakan untuk pemurnian air minum, tetapi saat ini dapat digunakan untuk pengolahan limbah cair, sehingga metode ini menjadi alternatif penting yang digunakan oleh industri untuk tujuan pemisahan dan pemurnian (Ooi *et al.*, 2014).

Supported Liquid Membrane (SLM) adalah metode berbasis membran cair yang digunakan untuk pemisahan maupun pemurnian zat terlarut yang diinginkan dari suatu larutan, seperti air limbah. Secara menguntungkan, metode ini menawarkan pemisahan dan pemurnian secara simultan, serta konsumsi energi dan biaya operasional yang rendah (Sulaiman *et al.*, 2021). Metode SLM merupakan salah satu metode ekstraksi potensial untuk pengolahan air limbah yang mengandung

berbagai senyawa organik seperti fenol dan ion logam berat beracun (Saufi *et al.*, 2016; Harruddin *et al.*, 2015).

Prinsip pemisahan pada membran cair tidak ditentukan oleh membran, tetapi oleh sifat senyawa pembawa yang spesifik. Senyawa pembawa tetap berada di dalam membran dan dapat bergerak jika dilarutkan dalam pelarut organik. Senyawa pembawa juga harus menunjukkan afinitas yang sangat spesifik terhadap satu komponen dalam fasa sumber sehingga diperoleh selektivitas yang tinggi. Selain itu selektivitas komponen sangat tergantung pada spesifikasi bahan senyawa pembawa tersebut. Pemisahan fenol dapat dilakukan dengan membran cair yang menggunakan polieugenol dan turunannya sebagai senyawa pembawa. Membran cair tersebut dapat digunakan karena fenol dan senyawa pembawa turunan polieugenol memiliki sisi aktif yang sama, yaitu adanya gugus -OH dan benzena. Senyawa pembawa berinteraksi dan membantu transpor fenol pada fasa sumber melewati membran menuju fasa penerima (Kiswando, 2016).

Optimasi transpor fenol menggunakan metode SLM dengan senyawa pembawa kopoli eugenol divinil benzena (Ko-EDVB) biasanya didasarkan pada studi pengaruh faktor fisikokimia yang berbeda. Aprilia (2022) telah melakukan penelitian serupa yaitu uji stabilitas dan ketahanan membran dengan metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) menggunakan senyawa pembawa Ko-EDVB 10%, pada penelitiannya parameter stabilitas dan ketahanan membran PIM dilihat berdasarkan pengaruh jenis dan konsentrasi garam, pemakaian berulang dan *lifetime*. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, ketahanan membran PIM dicapai pada pemakaian pertama tanpa pencucian dan umur membran diperoleh selama 58 hari dengan adanya penambahan garam NaNO_3 pada fasa sumber.

Selain itu dengan metode yang sama yaitu metode PIM, Oktarida (2021) juga melakukan uji stabilitas dan ketahanan membran dengan menggunakan senyawa pembawa Ko-EDVB 8%, pada penelitiannya parameter yang dipelajari yaitu konsentrasi *plasticizer*, jenis dan konsentrasi garam, pemakaian berulang dan *lifetime*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan garam NaNO_3 di fasa sumber dan di fasa penerima membuat membran PIM menjadi lebih stabil

karena dapat mengurangi %ML *Loss*, selain itu penambahan garam NaNO_3 pada transpor fenol membuat umur membran menjadi lebih lama yaitu 34 hari dibandingkan dengan tanpa penambahan garam yaitu hanya 13 hari.

Sebelumnya, Antika (2018) telah melakukan penelitiannya yang berkaitan dengan optimasi penurunan konsentrasi fenol pada limbah cair menggunakan metode SLM dengan senyawa pembawa Ko-EDVB 8% menghasilkan persentase fenol yang berhasil ter-*recovery* sebesar 92%. Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, pemisahan yang dihasilkan sudah baik, namun membran SLM yang telah digunakan dalam proses optimasi tersebut belum dievaluasi kestabilan dan ketahanannya lebih lanjut, sehingga dalam penelitian ini masalah yang akan diteliti adalah bagaimana dengan faktor lainnya yang dapat mempengaruhi kestabilan dan ketahanan dari membran SLM dalam mentranspor fenol.

Berdasarkan pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan di atas, uji stabilitas dan ketahanan membran saat transpor fenol menggunakan metode SLM dengan senyawa pembawa Ko-EDVB 8% belum pernah dilaporkan. Sehingga, pada penelitian ini akan mempelajari uji stabilitas dan ketahanan membran yang mengandung senyawa pembawa Ko-EDVB 8% dalam proses transpor fenol menggunakan metode SLM. Uji stabilitas dan ketahanan membran meliputi pengaruh variasi kecepatan pengadukan, variasi jenis garam pada fasa sumber, variasi konsentrasi garam pada fasa sumber dan fasa penerima, pengaruh logam kompetitor, pengaruh pemakaian berulang dan masa pakai membran (*lifetime*). Kemudian membran SLM sebelum dan setelah transpor fenol dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk membandingkan hasilnya sebagai parameter keberhasilan transpor fenol.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan uji stabilitas membran SLM yang mengandung senyawa pembawa Ko-EDVB 8% dalam proses transpor fenol dengan parameter

pengaruh kecepatan pengadukan, jenis garam, konsentrasi garam dan pengaruh logam kompetitor.

2. Melakukan uji ketahanan membran SLM yang mengandung senyawa pembawa Ko-EDVB 8% melalui pemakaian berulang dan masa pakai membran (*lifetime*).
3. Melakukan karakterisasi membran SLM yang mengandung senyawa pembawa Ko-EDVB 8% sebelum dan sesudah transpor menggunakan FTIR dan SEM.

C. Manfaat Penelitian

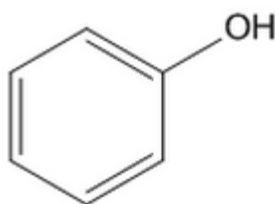
Adapun manfaat dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Memberikan metode alternatif dan inovatif yang dapat digunakan dalam pengolahan air limbah menggunakan teknologi membran cair dengan metode SLM untuk mengurangi kandungan fenol.
2. Menambah informasi baru tentang uji stabilitas dan ketahanan membran SLM dengan senyawa pembawa Ko-EDVB 8%.
3. Memberi manfaat terhadap instansi pendiri industri maupun laboratorium yang menghasilkan limbah cair dalam melakukan pengolahan air yang tercemar oleh fenol sehingga pengelola dapat mengolah limbah secara mandiri dalam mengurangi pencemaran lingkungan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Limbah Fenol

Fenol atau yang memiliki nama lain hidroksibenzena, benzenol, fenil alkohol, merupakan senyawa organik yang memiliki gugus hidroksil yang tersubstitusi pada inti aromatik. Fenol pada temperatur ruang memiliki bentuk kristal jarum yang tidak berwarna, bau khas aromatik, jika tidak murni atau terkena cahaya akan terjadi perubahan warna menjadi merah jambu atau merah. Senyawa fenol memiliki berat molekul 94,11 (g/mol), titik leleh sebesar 40-42 °C, dan titik didih sebesar 185 °C. Fenol memiliki kelarutan sebesar 8,3 g/100 mL air pada temperatur 20 °C. Fenol merupakan monohidroksida turunan benzen dan bersifat anionik di dalam larutan air. Setiap 1 gr fenol larut dalam 15 mL air, larut dalam 12 mL benzena dan sangat larut dalam alkohol, etanol, kloroform, eter, gliserol dan karbon disulfida (Ariesmayana, 2018). Struktur senyawa fenol dapat dilihat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur fenol

Fenol dikenal juga sebagai asam karbolik yang memiliki keasaman yang lebih lemah dibandingkan dengan asam asetat, yaitu dengan pKa 9,98. Fenol adalah asam yang lebih kuat dari alkohol dan air, karena ion fenoksida dimantapkan oleh resonansi, jika muatan negatif pada hidroksida atau alkoksida tetap tinggal pada

atom oksigen, tetapi pada fenoksida muatan ini dapat didelokalisasi pada posisi-posisi orto dan para pada cincin benzena melalui resonansi (Ariesmayana, 2018).

Produksi dan penggunaan senyawa kimia di seluruh dunia saat ini telah meningkat secara signifikan yang berdampak pada lingkungan. Fenol merupakan senyawa yang banyak digunakan pada berbagai bidang, sehingga fenol termasuk senyawa kimia yang diproduksi cukup besar. Pada skala rumah tangga fenol digunakan sebagai zat pembersih, *deodorant* dan disinfektan. Pada skala laboratorium fenol dapat digunakan sebagai bahan dasar untuk sintesis C-metil-4,10,16,22-tetrametoksikaliks(4)arena dengan menggunakan BF_3 -metanol sebagai katalis (Kiswandono, 2016). Fenol juga digunakan dalam perusahaan herbisida, kresol, anilina dan alkilfenol, dalam farmasi obat seperti salep, antiseptik, *lotion*, obat kumur, obat batuk, dan analgesik gosok, sedangkan pada skala industri fenol digunakan untuk pembuatan resin fenolik seperti resin fenol-formaldehid.

Campuran senyawa fenol dan formaldehid merupakan contoh limbah cair yang khas dan sering ditemukan dalam *effluent* dari instalasi kimia, bengkel logam, dan rumah sakit. Fenol terkhlorinasi merupakan salah satu bentuk senyawa fenol yang menjadi kontaminan lingkungan yang umum dijumpai karena cukup banyak digunakan dalam masyarakat. Penggunaan fenol terkhlorinasi di antaranya adalah sebagai biosida pada proses pengawetan kayu, produk pada proses *bleaching pulp*, dan untuk disinfektan (Refinel *et al.*, 2019; Prayitno, 2016). Fenol dan turunannya adalah salah satu bentuk paling umum dari polutan kimia dalam air limbah. Fenol hadir dalam air limbah dari berbagai industri, seperti kilang (6–500 mg/L), operasi kokas (28–3900 mg/L), pemrosesan batubara (9–6800 mg/L), dan pembuatan petrokimia (2,8– 1220 mg/L). Sumber lain dari aliran air limbah yang mengandung fenol adalah industri farmasi, plastik, produk kayu, cat, dan pulp dan kertas (0,1-1600 mg/L) (Khusnuryani *et al.*, 2015).

Istilah fenol dalam limbah cair tidak hanya terbatas pada ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) tapi bermacam-macam campuran organik yang terdiri dari satu atau lebih gugusan hidroksil. Fenol dan turunannya merupakan polutan yang sangat berbahaya di lingkungan karena bersifat racun dan sangat sulit didegradasi oleh organisme

pengurai, meskipun senyawa fenol dapat terdegradasi tetapi hasilnya akan menjadi senyawa lain yang bahkan lebih reaktif. Keberadaan fenol dalam air dapat menyebabkan pencemaran, jika dikonsumsi fenol dapat terakumulasi didalam tubuh dan bersifat racun (Ariesmayana, 2018).

Fenol adalah senyawa kimia yang bersifat karsinogen dan korosif yang dapat menyebabkan gatal-gatal, iritasi jaringan, kulit, mata dan mengganggu pernafasan manusia, juga dapat menyebabkan kebakaran kimiawi pada lokasi terjadinya kontak dengan fenol. Senyawa fenol dalam konsentrasi tertentu dapat memberikan efek yang buruk terhadap manusia, antara lain berupa kerusakan hati dan ginjal, penurunan tekanan darah, pelemahan detak jantung, hingga kematian. Limbah fenol merupakan limbah organik yang masuk kedalam limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun) dan merupakan salah satu polutan air tanah yang memiliki efek toksik bagi manusia maupun lingkungan, dan bagi beberapa organisme akuatik serta menyebabkan masalah bau dan rasa pada air minum (Ariesmayana, 2018). Fenol dapat membahayakan kesehatan manusia dan dapat menyebabkan kematian apabila zat tersebut masuk ke dalam tubuh manusia, serta bersifat korosif pada kulit dan lambung, juga bersifat karsinogenik yaitu mengendap dan merusak terutama pada organ paru-paru (Sari *et al.*, 2019). Karena toksisitas dan efek karsinogeniknya, fenol dianggap sebagai polutan di lingkungan.

Oleh karena itu, pengolahan air limbah sebelum dibuang ke lingkungan perlu dijadikan perhatian utama saat ini (Prica *et al.*, 2015). Sebaliknya, senyawa fenol dianggap sebagai bahan kimia yang berharga untuk proses industri. Hal ini dapat digunakan dalam produksi beberapa produk kimia seperti perekat, pewarna, germisida dan zat kimia lainnya. Berdasarkan hal tersebut, berbagai metode inovatif dan efektif untuk pemisahan dan pemurnian senyawa fenol dikembangkan untuk menghilangkan fenol yang tidak diinginkan dari air limbah dan untuk mendapatkan senyawa fenol yang berharga (Ayuningtyas, 2020). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk pengolahan fenol pada limbah cair yaitu menggunakan teknologi membran cair (Kiswandono, 2016).

B. Teknologi Membran Cair

Membran merupakan lapisan *semipermeable* yang dapat bertindak sebagai filter yang sangat spesifik dimana hanya molekul-molekul dengan ukuran tertentu saja yang dapat melewati membran, sedangkan molekul lainnya akan tertahan di permukaan membran. Membran berfungsi memisahkan material berdasarkan ukuran dan bentuk molekul, menahan komponen dari umpan yang mempunyai ukuran lebih besar dari pori-pori membran dan melewatkan komponen yang mempunyai ukuran yang lebih kecil. Larutan yang mengandung komponen yang tertahan disebut konsentrat dan larutan yang mengalir disebut permeat. Filtrasi menggunakan membran selain berfungsi sebagai sarana pemisahan juga berfungsi sebagai sarana pemekatan dan pemurnian dari suatu larutan yang dilewatkan pada membran tersebut. Kelebihannya adalah membran tidak mengubah struktur molekul zat yang dipisahkan, sehingga prosesnya lebih sederhana (Elma, 2016).

Perkembangan teknologi membran telah banyak digunakan baik pada kalangan akademis maupun industri karena sederhana dan ramah lingkungan. Dalam beberapa tahun terakhir, peningkatan perhatian telah diberikan pada salah satu teknologi membran, yaitu membran cair (Lai *et al.*, 2014). Penggunaan teknologi membran cair ini telah meningkat secara signifikan (Wenten, 2016). Teknologi membran cair mendapat perhatian besar sebagai proses pemisahan karena menggabungkan proses ekstraksi dan pemurnian dalam satu tahap kontinu (Kiswandono *et al.*, 2022). Selanjutnya, sistem membran cair memungkinkan untuk mendapatkan permeabilitas tinggi, terutama dibandingkan dengan membran padat, karena koefisien difusi yang lebih tinggi dalam cairan, biaya operasi yang rendah, dan kelayakan yang mudah (Saka *et al.*, 2020).

Membran cair umumnya terdiri dari lapisan tipis yang mengandung fasa organik dan memisahkan dua larutan berair. Dalam membran cair, dua fasa yang dapat bercampur (fasa sumber dan fasa penerima) dipisahkan oleh fasa yang tidak dapat bercampur (fasa membran). Membran cair mempunyai lapisan atau fasa membran berupa cairan. Cairan ini dapat digunakan sebagai membran dengan beberapa syarat, yaitu: (1) tidak larut dalam fasa sumber, (2) dapat larut dalam fasa membran, (3) harus dapat berikatan dengan analit (komponen zat) dan dapat

dilepaskan kembali, dan (4) harus dapat melepaskan kembali analit ke fasa penerima (Maulana, 2021).

Keunggulan metode membran cair ini bila dibandingkan dengan ekstraksi cair-cair adalah penggunaan bahan organik yang minimal dan ekstrak yang spesifik, sehingga limbah yang dihasilkan juga sangat sedikit sehingga lingkungan terhindar dari kontaminasi polutan. Keunggulan lainnya yang dimiliki oleh metode membran cair ini di antaranya adalah dalam hal penggunaan energi dan simplisitas, selain itu pemisahan menggunakan membran juga lebih sederhana, tidak memerlukan bahan kimia tambahan, proses membran dapat mudah digabungkan dengan proses pemisahan lainnya (*hybrid processing*), pemisahan dapat dilakukan dalam kondisi yang mudah diciptakan, mudah dalam meningkatkan ukuran skala, perawatan yang mudah dan mutu air hasil olahan lebih baik dan ramah lingkungan, sehingga mengurangi biaya operasional pengolahan limbah cair, meningkatkan kesehatan operator, mengurangi penggunaan lahan untuk pengolahan limbah, serta material membran bervariasi sehingga mudah diadaptasikan pemakaiannya (Yang *et al.*, 2015). Metode membran cair dapat digunakan secara efisien untuk pengolahan air limbah, aplikasi bioteknologi, dan sistem teknik kimia atau biomedis. Membran cair telah dimanfaatkan untuk pemisahan fenol dan pemisahan logam dari limbah cair hasil buangan industri (Ooi *et al.*, 2014).

C. *Supported Liquid Membrane (SLM)*

Saat ini telah dikembangkan suatu metode teknologi membran cair yang merupakan pengembangan dari metode ekstraksi pelarut dengan menggunakan membran cair berpendukung atau SLM, dimana dengan metode ini dapat menghasilkan suatu pemisahan yang cukup baik (Othman *et al.*, 2015). Metode SLM merupakan teknologi berbasis membran baru yang digunakan untuk menghilangkan zat terlarut yang diinginkan dari larutan berair. Metode SLM merupakan satu dari jenis membran cair yang mudah dibuat. Metode SLM dikenal sebagai sistem prakonsentrasi untuk mencapai pemisahan maksimum

dengan menggabungkan proses ekstraksi dan pemurnian dalam satu langkah. Proses satu langkah ini memberikan kinerja pemisahan dan pemurnian yang menjanjikan dan memiliki potensi besar dalam mengurangi biaya secara signifikan (Zhou *et al.*, 2022). Secara menguntungkan, metode ini menawarkan pemisahan dan pemurnian secara simultan, serta konsumsi energi dan biaya operasional yang rendah (Sulaiman *et al.*, 2021; Xian *et al.*, 2014).

Metode SLM merupakan salah satu metode ekstraksi potensial untuk pengolahan air limbah yang mengandung berbagai polutan organik dan ion logam berat beracun (Harruddin *et al.*, 2015). Metode SLM tersebut tidak hanya digunakan untuk studi transpor, tetapi juga pemisahan multi komponen. Metode SLM telah memperlihatkan kemampuannya yang efektif dan luas untuk *recovery* berbagai larutan encer, seperti logam-logam, hidrokarbon, senyawa-senyawa yang penting secara biologi, campuran gas, asam dan basa lemah, fenol dari air limbah dan pemisahan amina (Indarti *et al.*, 2017).

Metode SLM menggunakan membran berpori yang diimpregnasi dengan senyawa pembawa pengompleks untuk memisahkan fasa sumber dan fasa penerima. Dengan kapilaritas, fasa organik atau senyawa pembawa sepenuhnya mengisi pori-pori membran, sehingga membran akan semakin relatif stabil dan heterogen (Othman *et al.*, 2015). Metode SLM didasarkan pada distribusi cair-cair pada kondisi non-kesetimbangan. Zat pengekstrak dalam fasa organik yang ditempatkan dalam membran SLM berpori, berfungsi sebagai senyawa pembawa (León *et al.*, 2020). Jika cairan organik tidak dapat bercampur dengan larutan fasa sumber dan larutan fasa penerima, metode SLM dapat digunakan untuk memisahkan dua fasa berair. Karena volume komponen organik yang digunakan dalam membran kecil dan karena pemisahan membran secara efektif merupakan ekstraksi simultan dan ekstraksi ulang yang dilakukan dalam satu langkah teknologi, ini memberikan banyak keuntungan seperti: dapat menggunakan senyawa pembawa dengan jumlah yang tidak banyak, faktor pemisahan yang lebih tinggi, mudah diperoleh, mudah untuk ditingkatkan, dan yang terpenting membran cair ini memiliki kebutuhan energi, modal dan biaya operasi yang

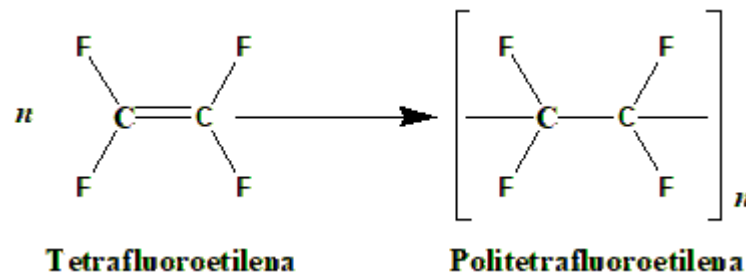
rendah. Oleh karena itu, penggunaan teknologi membran cair untuk pemisahan komponen merupakan teknologi yang menjanjikan (Kiswandono *et al.*, 2020).

Transpor fenol melalui membran SLM merupakan kombinasi antara proses ekstraksi dan pemurnian. Ekstraksi yang terjadi pada dasarnya sama seperti yang terjadi pada ekstraksi pelarut biasa, tetapi proses transpor lebih ditekankan pada masalah kinetika daripada parameter kesetimbangan. Perbedaan kelarutan fenol antara fasa air dan fasa organik adalah kekuatan pendorong pemisahan fenol menggunakan metode SLM (Wenten *et al.*, 2016). Dalam proses SLM, fenol berdifusi dari fasa sumber, meresap melalui fasa membran dan menuju ke fasa penerima. Pada fasa penerima, fenol bereaksi dengan natrium hidroksida dan kemudian diubah menjadi natrium fenolat. Natrium fenolat tidak dapat berdifusi kembali ke fasa sumber karena tidak larut dalam membran. Transpor fenol melalui membran didorong oleh perbedaan konsentrasi fenol melintasi membran. Selama perbedaan konsentrasi ada, transportasi fenol akan terus berlanjut. Tidak ada batasan keseimbangan untuk proses SLM. Metode SLM menunjukkan potensi besar untuk penghilangan fenol karena menggabungkan proses ekstraksi dan pemurnian dalam satu unit operasi langkah tunggal. Satu langkah proses memberikan kekuatan pendorong maksimum untuk pemisahan yang mengarah ke proses *removal* yang sangat baik (Marino, 2015).

D. Membran *Politetrafluoroetilena* (PTFE)

PTFE adalah fluoropolimer sintetik dari tetrafluoroetilena. PTFE merupakan padatan fluorokarbon, yang merupakan senyawa dengan berat molekul tinggi yang seluruhnya terdiri dari karbon dan fluorin. PTFE bersifat hidrofobik, air maupun bahan kimia yang mengandung air tidak dapat membasahi PTFE karena adanya kekuatan dispersi London dari fluorokarbon dari tingginya elektronegativitas fluor (Idris, 2014). Karakteristik yang dimiliki PTFE yaitu kuat dan tahan asam, basa, dan pelarut, tahan terhadap panas sampai kira-kira 250 °C, bebas dari bahan kimia pengganggu, akurat untuk analisis gravimetri (Othman *et al.*, 2015).

Struktur dari PTFE dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur PTFE

Beberapa peneliti melaporkan bahwa metode SLM menggunakan membran PTFE telah dilakukan untuk pemisahan fenol seperti yang dilakukan oleh Kazemi *et al.*, (2014) menggunakan minyak wijen dan tributil fosfat. Hadi (2020) dalam penelitiannya menggunakan membran SLM dengan polimer pendukung PTFE untuk pemurnian senyawa fenol dari limbah cair dan hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi fenol yang berhasil tertransportasi yaitu sebesar 76,69%. Membran SLM dengan polimer pendukung PTFE juga banyak digunakan oleh peneliti lainnya, seperti Antika (2018) dengan senyawa pembawa Ko-EDVB 8%; Agustia (2020) dengan senyawa pembawa kopoli eugenol etilen glikol dimetakrilat (Co-EEGDMA) 10%; dan Agustina (2020) dengan senyawa pembawa kopoli eugenol dialilftalat (Co-EDAF) 10% terhadap optimasi transport fenol.

E. Senyawa Pembawa

Pada metode membran cair, teknik pemisahan selalu melibatkan senyawa pembawa sebagai senyawa yang dapat memfasilitasi senyawa target, baik untuk pemisahan logam ataupun senyawa organik, termasuk fenol. Senyawa pembawa merupakan salah satu komponen dalam membran sehingga proses pemisahan dapat berjalan. Senyawa pembawa mempunyai peranan yang sangat penting dalam membran yang selektif untuk kation, anion, molekul organik ataupun molekul anorganik. Senyawa pembawa yang sangat efisien dan menunjukkan selektivitas yang tinggi dalam mengekstraksi zat organik dari fasa air ke fasa organik dapat memberikan transport yang rendah, atau sebaliknya ligan yang

mempunyai kemampuan ekstraksi rendah tetapi kemampuan transpor tinggi (Kiswandono *et al.*, 2017).

Pada membran cair prinsip pemisahan tidak ditentukan oleh membran itu sendiri, tetapi oleh sifat senyawa pembawa spesifik. Senyawa pembawa berada tetap di dalam membran dan dapat bergerak jika dilarutkan dalam cairan. Senyawa pembawa juga harus menunjukkan afinitas yang sangat spesifik terhadap satu komponen pada fasa sumber sehingga diperoleh selektivitas yang tinggi. Selain itu *permselectivity* komponen sangat tergantung pada spesifikasi bahan senyawa pembawa tersebut. Salah satu pertimbangan dalam pembuatan senyawa pembawa adalah kesamaan atau kemiripan sisi aktif antara senyawa pembawa dengan komponen target. Kesamaan sisi aktif ini akan memudahkan senyawa pembawa untuk memfasilitasi senyawa target sehingga akan mempercepat pemisahan (Kiswandono *et al.*, 2019).

Transpor terfasilitasi senyawa pembawa biasanya melibatkan membran cair sehingga disebut transpor membran cair. Pada proses transpor membran terfasilitasi, membran cair yang mengandung senyawa pembawa memiliki interaksi kimia dengan senyawa yang akan ditranspor. Senyawa pembawa berinteraksi dan membantu transpor suatu komponen pada fasa sumber melewati fasa membran menuju fasa penerima. Pada sistem membran cair yang berupa fasa organik dapat memisahkan dua fasa larutan berair yaitu antara fasa sumber dengan fasa penerima (Djunaidi, 2019).

Beberapa penelitian tentang membran untuk transpor, baik polutan organik maupun logam berat sudah banyak dilakukan. Pemisahan fenol dapat dilakukan dengan menggunakan membran cair yang menggunakan polieugenol sebagai senyawa pembawa. Membran cair tersebut dapat digunakan karena fenol dan senyawa pembawa memiliki sisi aktif yang sama (Kiswandono, 2016).

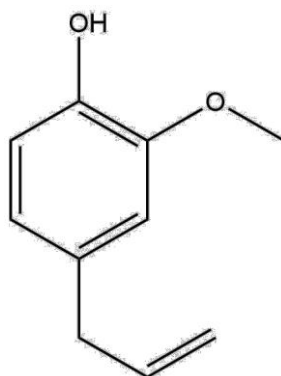
Pemisahan fenol dapat berlangsung jika senyawa pembawa mempunyai kemiripan dengan senyawa fenol, sehingga proses pemisahannya akan dapat berlangsung lebih efektif. Oleh karena itu, diperlukan alternatif senyawa-senyawa pembawa yang mempunyai kemiripan sisi aktif dengan fenol, salah satunya adalah eugenol.

Eugenol dapat dipolimerisasi menjadi senyawa polieugenol dan turunannya dengan memanfaatkan gugus alil yang dimilikinya (Febriasari *et al.*, 2016). Senyawa-senyawa yang terbentuk dari proses polimerisasi ini memenuhi syarat sebagai senyawa pembawa untuk pemisahan fenol karena memiliki kemiripan sisi aktif, yaitu gugus hidroksi. Sehingga 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 penyelesaian 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 (Handayani *et al.*, 2019).

F. Eugenol dan Divinil Benzena

Eugenol ($C_{10}H_{12}O_2$), merupakan turunan guaiakol yang mendapat tambahan rantai alil, dikenal dengan nama IUPAC 2-metoksi-4-(2-propenil)fenol. Senyawa ini merupakan cairan berminyak warna kuning pucat yang berasal dari ekstrak minyak esensial tertentu khususnya dari minyak cengkeh, kemangi, kayu manis dan buah pala. Aromanya menyegarkan dan pedas seperti bunga cengkeh kering, sehingga sering menjadi komponen untuk menyegarkan mulut. Senyawa ini dapat sedikit larut di dalam air dan larut dalam pelarut organik. Kandungan senyawa ini menjadi komponen utama pada minyak esensial yang diekstrak dari cengkeh dengan takaran kandungannya sebanyak 72% hingga 90% (Hikmah *et al.*, 2018). Struktur dari eugenol dapat dilihat pada Gambar 3.



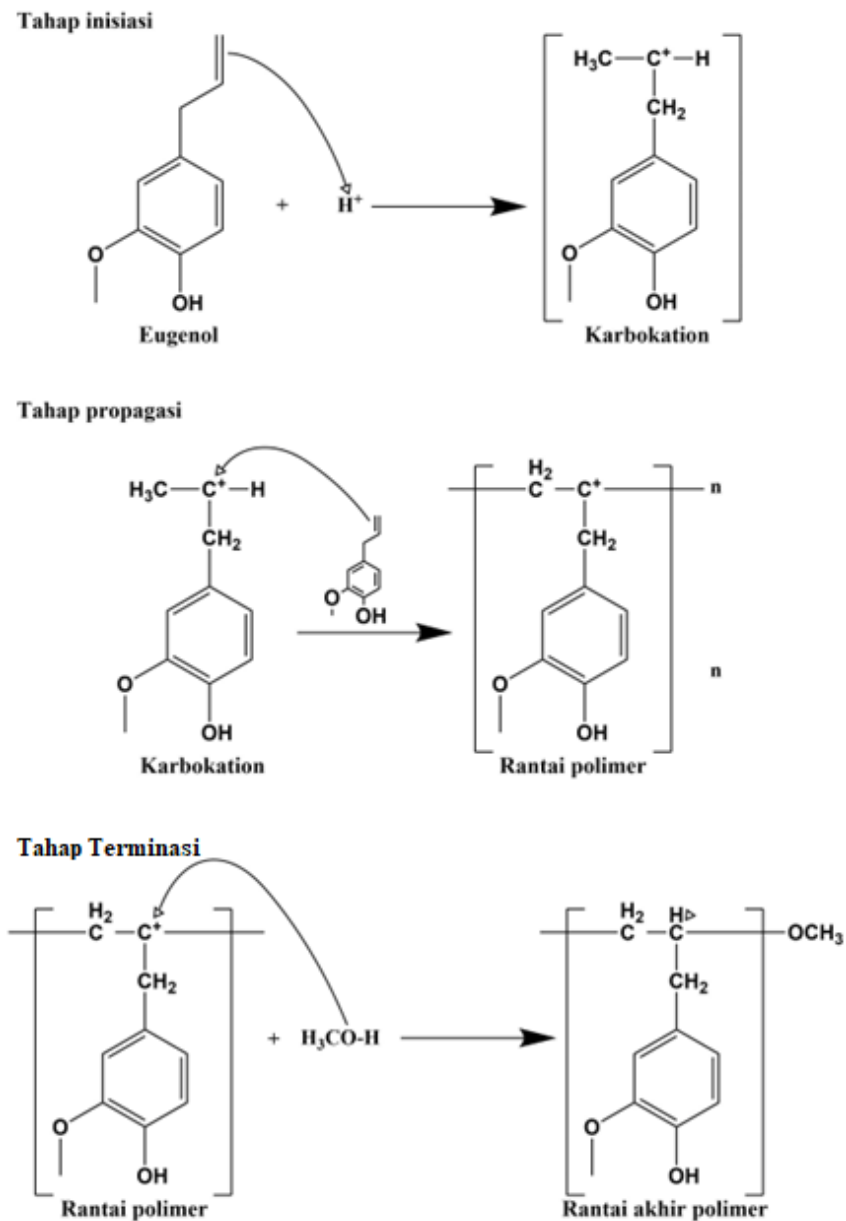
Gambar 3. Struktur eugenol

Eugenol mempunyai beberapa gugus fungsional (gugus alil, metoksi, dan hidroksi) sehingga dapat diubah menjadi senyawa lain yang lebih bermanfaat. Eugenol merupakan bahan baku kimia alami yang dapat digunakan dalam reaksi polimerisasi. Hal tersebut memungkinkan pengembangan dan pemanfaatan monomer eugenol semakin luas. Eugenol dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam sintesis kopolimer eugenol yang dapat digunakan sebagai senyawa pembawa dalam transpor menggunakan metode membran cair (Djunaidi *et al.*, 2018). Namun, penggunaan polimer eugenol sebagai senyawa pembawa kurang efektif, karena hanya mempunyai satu pusat reaksi (gugus -OH) yang bersifat lemah. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan polimerisasi sehingga pusat reaksi bertambah dan efektifitas sebagai senyawa pembawa meningkat (Silva *et al.*, 2018).

Syarat polimer yang dapat digunakan sebagai senyawa pembawa pada fasa membran yaitu mempunyai berat molekul yang tinggi serta memiliki struktur yang memungkinkan terjadinya interaksi dengan senyawa yang akan ditranspor (Kiswandono *et al.*, 2022). Reaksi polimerisasi eugenol dengan suatu agen taut silang (*crosslinking agent*) akan menyebabkan berat molekul hasil polimer menjadi besar. Peningkatan berat molekul diasumsikan meningkatkan jumlah sisi aktif suatu polimer. Peningkatan sisi aktif suatu polimer dapat dilakukan dengan kopolimerisasi melalui ikatan rangkap dua (senyawa-senyawa diena). Polimerisasi dengan melibatkan senyawa diena dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh struktur tertaut silang dalam hasil akhirnya (Kiswandono *et al.*, 2017).

Divinil benzena merupakan salah satu contoh senyawa diena yang dapat digunakan, karena senyawa diena ini dapat mengalami polimerisasi adisi. Ikatan rangkap dua pada senyawa ini mempunyai sifat yang reaktif sehingga proses sintesis dapat dengan mudah dilakukan pada suhu kamar menggunakan katalis asam lunak. Polimerisasi senyawa diena terjadi pada bagian gugus alil (Kiswando *et al.*, 2022). Peningkatan kualitas senyawa pembawa dengan penambahan zat aditif divinil benzena (DVB) berfungsi untuk menyambungkan silang polimer sehingga terbentuk Ko-EDVB. Ko-EDVB diharapkan dapat meningkatkan jumlah sisi aktif pada polimer yang digunakan sebagai senyawa pembawa pada proses transpor fenol. Antika (2018) dan Hadi (2020) telah mempelajari penggunaan hasil poli(eugenol) yang disambungkan silang dengan divinil benzena (DVB) sebagai senyawa pembawa dalam transpor fenol menggunakan metode SLM.

Eugenol dan DVB adalah senyawa yang memiliki gugus alil, yakni gugus yang berperan dalam reaksi polimerisasi. Polimerisasi ini merupakan reaksi polimerisasi adisi kationik, karena gugus vinil dari DVB mengalami adisi. Sebagian besar monomer yang mempunyai ikatan rangkap C=C dapat mengalami polimerisasi radikal, tetapi monomer yang dapat mengalami polimerisasi kationik adalah monomer yang hanya memiliki gugus substitusi pelepas elektron saja. Monomer eugenol memiliki ikatan rangkap C=C (gugus substitusi vinil) sehingga eugenol dapat mengalami polimerisasi radikal. Gugus vinil dari eugenol inilah yang mengalami reaksi adisi sehingga kopolimerisasi ini disebut kopolimerisasi adisi kationik (Kiswando *et al.*, 2017). Reaksi polimerisasi ini terjadi melalui tahap inisiasi, propagasi dan terminasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

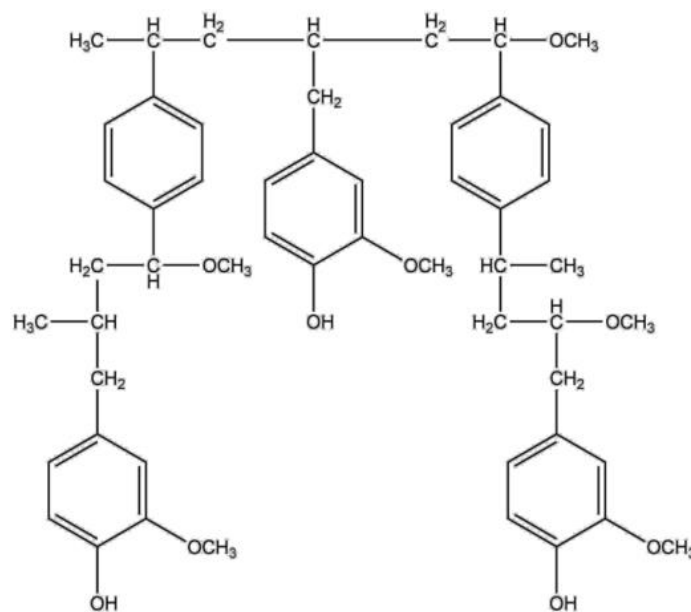


Gambar 4. Mekanisme reaksi sintesis Ko-EDVB

Tahap inisiasi merupakan tahap di mana terjadi pembentukan ion karbokation dari DVB. $\text{BF}_3 \cdot \text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ merupakan suatu garam yang terbentuk dari asam dan basa Lewis. BF_3 merupakan asam Lewis yaitu senyawa penerima (akseptor) elektron, sedangkan $\text{C}_2\text{H}_5\text{-O-C}_2\text{H}_5$ adalah basa Lewis, yaitu senyawa pemberi (donor) pasangan elektron. Adanya gugus-gugus pelepas elektron pada eugenol dan katalis yang digunakan menyebabkan terjadinya polimerisasi kationik sehingga proses kopolimerisasi dapat berjalan. Orbital kosong pada BF_3 berikatan dengan DVB membentuk suatu karbokation. Penambahan katalis dilakukan bertahap,

agar proses pembentukan ion karbokation terjadi secara berkelanjutan (Kiswandono *et al.*, 2022).

Tahap propagasi merupakan tahap dimana ion karbokation akan berikatan dengan eugenol membentuk Ko-EDVB. Pembentukan kopolimer ini terjadi secara terus-menerus dan diakhiri dengan penambahan metanol pada tahap terminasi yang menghentikan pertumbuhan rantai polimer. Ujung polimer akan diisi oleh gugus metoksi (Kiswandono *et al.*, 2022). Senyawa Ko-EDVB yang terbentuk dari hasil sintesis diprediksi memiliki struktur yang ditunjukkan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Prediksi struktur Ko-EDVB

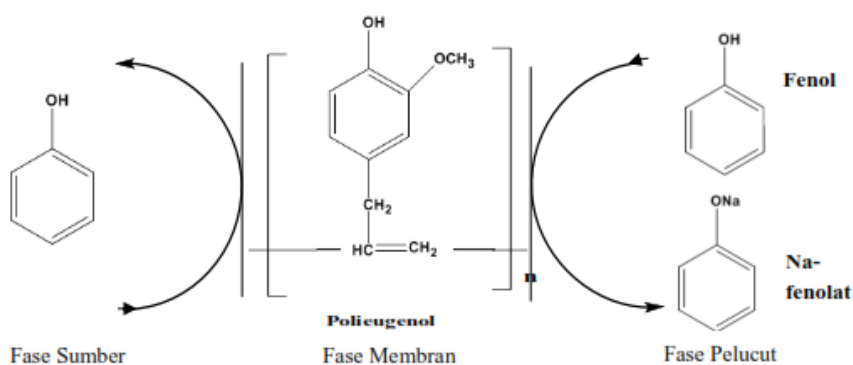
Struktur dari Ko-EDVB pada Gambar 5 memiliki kemiripan struktur dengan eugenol. Kesamaannya adalah memiliki gugus $-OH$ dan senyawa benzena, maka dapat diprediksi bahwa ikatan dan interaksi yang terbentuk antara Ko-EDVB dengan fenol adalah ikatan hidrogen dan interaksi $\pi-\pi$. Interaksi $\pi-\pi$ fenol dan Ko-EDVB dapat terbentuk dari benzena yang berasal dari struktur DVB dan benzena yang berasal dari eugenol. Kedua benzena tersebut berinteraksi membentuk ikatan $\pi-\pi$ dengan fenol pada proses transpor fenol. Reaksi fenol dengan larutan natrium hidroksida pada fasa penerima yang membentuk anion fenolat tidak dapat kembali ke membran hidrofobik maupun ke fasa sumber. Transpor pada membran dapat terjadi dengan syarat komponen fenolik harus 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 (Zhang *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2021).

G. Mekanisme Transpor Fenol

Proses keseluruhan dari transpor fenol menggunakan metode membran cair meliputi dua tahap. Tahap pertama, senyawa target yang telah berdifusi pada fasa sumber berinteraksi dengan senyawa pembawa membentuk senyawa kompleks yang selanjutnya akan ditranspor melewati membran cair menuju fasa penerima. Selanjutnya pada tahap kedua, kompleks antara senyawa target dan senyawa pembawa terpisah dan senyawa target terlepas menuju fasa penerima, sehingga interaksi ini dapat terjadi secara terus menerus (Pavón *et al.*, 2020).

Transpor solut melalui membran terjadi melalui mekanisme transpor akibat adanya perbedaan konsentrasi proton (pH) solut pada fasa sumber dan fasa penerima. Transpor balik solut ke fasa sumber dicegah dengan menambahkan *stripping agent* ke dalam fasa penerima. *Stripping agent* bekerja mengkonversi solut menjadi senyawa turunannya dan menjebak senyawa tersebut dalam fasa penerima sehingga tidak kembali ke fasa sumber (Zarca *et al.*, 2014). Laju transpor dapat dipertahankan karena masih terjadi perbedaan konsentrasi antara fasa sumber dan fasa penerima. Transpor senyawa fenol terjadi karena perbedaan kondisi dari dua fasa yaitu fasa sumber yang mempunyai sifat keasaman lemah dan fasa penerima yang mempunyai sifat basa (Pont *et al.*, 2018). Skema transpor yang terjadi pada pemisahan fenol disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema transpor fenol menggunakan membran cair

Tiga langkah utama pada Gambar 6 menggambarkan tentang karakteristik transpor fenol dari fasa sumber ke fasa penerima dalam membran cair. Tahap pertama, fenol setelah menyebar pada fasa sumber, yakni di antarmuka larutan sumber-membran, kemudian akan berikatan dengan senyawa pembawa pada fasa antarmuka ini untuk membentuk senyawa kompleks, lalu ditranspor melintasi antarmuka dan akan digantikan oleh molekul lain dari senyawa pembawa yang lainnya pula. Tahap ke dua, kompleks berdifusi melalui membran menuju ke fasa penerima. Tahap akhir, pada fasa antarmuka membran-penerima, kompleks terdisosiasi dan fenol dilepaskan ke fasa penerima, kemudian di fasa penerima fenol ditarik oleh anion untuk membentuk garam (Pavón *et al.*, 2020).

Pemisahan fenol yang selektif dan optimal dapat dicapai dengan mengoptimasi faktor-faktor yang mempengaruhinya seperti pH fasa sumber, konsentrasi fasa pelucut, waktu transpor dan konsentrasi membran (Parhi, 2013). Pemisahan dengan membran umumnya berdasarkan ukuran partikel dan berat molekul dengan gaya dorong berupa beda tekanan, medan listrik dan beda konsentrasi. Mekanisme transpor senyawa melewati membran cair dibagi menjadi beberapa tahap (Saufi *et al.*, 2016):

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

H. *Membrane Liquid Loss (ML Loss)*

Masa pakai dan stabilitas membran cair dipengaruhi oleh beberapa variabel. Kelemahan dari membran cair, khususnya metode SLM, adalah stabilitas yang rendah. Kestabilan pada metode ini berkaitan dengan kehilangan komponen penyusun membran setelah waktu optimum selama pengadukan dalam larutan

(Kiswandono, 2014). Terdapat empat mekanisme ketidakstabilan membran berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, yaitu:

1. Mekanisme Tekanan Osmotik (*Osmotic Pressure Mechanisms, OPM*)

Tekanan osmotik adalah tekanan yang dibutuhkan untuk mempertahankan kesetimbangan osmotik antara suatu larutan dan pelarut murninya yang dipisahkan oleh suatu membran yang dapat ditembus hanya oleh pelarut tersebut. Ketidakstabilan pada metode SLM salah satunya adalah disebabkan karena tekanan osmotik selama proses transpor. Perpindahan air yang terjadi pada membran merupakan akibat dari ketidakstabilan membran, bukan merupakan penyebab kebocoran membran.

Ketidakstabilan membran cair terutama disebabkan oleh perbedaan tekanan osmotik ini sebagai akibat adanya perbedaan kekuatan ionik antara fasa sumber dan fasa penerima. Tekanan osmotik, kandungan air dalam membran dan distribusi air dapat mempengaruhi lamanya umur membran (*lifetime*). Umur dan stabilitas membran dapat ditingkatkan dengan penambahan konsentrasi garam pada fasa sumber, karena semakin tinggi konsentrasi garam pada fasa sumber dapat mengurangi hilangnya komponen organik pada membran (Kiswandono *et al.*, 2015).

2. Mekanisme Pembasahan Secara Progresif (*Progressive Wetting Mechanisms, PWM*)

Selama transpor terjadi tegangan interfasial dan sudut kontak mempunyai peran dalam proses hilangnya komponen penyusun membran, yaitu bertambahnya waktu transpor akan menurunkan tegangan antarmuka dan sudut kontak. Ketika tegangan muka berkurang, emulsi akan terbentuk dan akan menyebabkan komponen membran cair keluar dari dalam pori polimer. Pembentukan emulsi ini akan memicu terkikisnya permukaan membran sehingga terjadi kehilangan komponen penyusun membran. Hal ini disebabkan karena adanya pembentukan senyawa kompleks, adanya kontaminasi dari antarmuka membran dan larutan berair, serta peruraian agen pengkhelat dan faktor lainnya, seperti (Kiswandono, 2015):

- a). Tegangan antarmuka
Ketika tegangan antarmuka menurun pada tingkat tertentu, maka akan terbentuk emulsifikasi secara tiba-tiba. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya hilangnya komponen penyusun pada membran yang berdekatan dengan larutan berair.
- b). Sudut kontak
Ketika sudut kontak pada ketiga fasa menurun ke titik kritis, maka larutan berair akan menembus atau menerobos pori-pori membran atau terjadi penetrasi ke pori-pori membran. Bahwasannya fasa air pada fasa penerima ketika bertemu atau kontak dengan fasa membran pada permukaan membran maka akan terjadi emulsi, ditambah faktor pengadukan dan meningkatnya waktu sehingga pembentukan emulsi akan semakin meningkat seiring dengan penggunaan pengadukan dan bertambahnya waktu.

Berdasarkan mekanisme ini, maka hilangnya komponen penyusun membran pada membran harus merespresentasikan komponen pembentuk membran, yang mana berarti hilangnya komponen penyusun membran sama dengan pengurangan berat membran sebelum transpor dengan setelah transpor, sehingga nilainya sebanding dengan hilangnya komponen-komponen pembentuk membran (Kiswando, 2014).

3. Mekanisme Penutupan Pori (*Pore-Block Mechanisms*, PBM)

Pada mekanisme ini terdapat dua kemungkinan di mana pori-pori membran dapat tertutup, yaitu (Kiswando, 2016):

- a). Tertutupnya pori membran yang disebabkan oleh air.
- b). Pembentukan endapan yang disebabkan karena rendahnya kelarutan kompleks yang terbentuk dalam membran cair sehingga merugikan dalam hal kecepatan perembesan, tetapi mempunyai dampak yang positif terhadap pencegahan kebocoran membran.

Mekanisme ini menunjukkan bahwa air memasuki pori-pori yang terisi senyawa organik dalam bentuk misel. Misel ini terbentuk oleh agen ion kompleks. Ketika misel berdifusi ke bagian dalam membran pada bagian sisi fasa penerima, misel

ini akan terputus disuatu tempat di dalam pori dan melepaskan air karena konsentrasi kompleks yang menurun secara bertahap. Air kemudian bergabung dalam tetesan dan menyebabkan penyumbatan pori, penurunan fluks dan pengeluaran larutan membran ke larutan berair yang berbatasan dengan membran.

4. Mekanisme *Shear-Induced Emulsion*

Mekanisme *shear-induced emulsion* ini merupakan pengembangan dari hasil penelitian tentang hubungan antara hilangnya komponen penyusun membran dan kestabilan emulsi. Kondisi membran tidak stabil yang disebabkan karena meningkatnya kestabilan emulsi pada fasa organik. Adanya membran cair yang hilang akan memaksa miniskus pada fasa membran cair tertarik ke dalam pori-pori, kemudian air akan mengisi penuh volume yang tersedia. Miniskus baru dari fasa membran cair akan kembali pada posisi semula dengan cepat karena pori-pori yang lebih kecil akan terbentuk pada permukaan membran (Kiswandono, 2014).

I. Analisis Konsentrasi Fenol dan Karakterisasi Membran SLM

1. Spektrofotometri Ultra Violet-Visible (UV-Vis)

Instrument Spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk mengukur absorbansi dengan cara melewatkan cahaya melewati sampel yang ada dalam kuvet. Sumber cahaya polikromatis melewati celah masuk menuju ke monokromator, dimana monokromator akan mendispersikan sinar dari sinar polikromatis menjadi sinar monokromatis. Selanjutnya sinar monokromatis keluar melewati celah menuju ke sampel. Sinar tersebut akan diserap oleh kromofor dan sebagian dipantulkan dan diteruskan. Sumber cahaya yang telah di serap oleh kromofor akan dieksitasi membentuk sinyal-sinyal elektrik yang akan ditangkap oleh detektor dan selanjutnya diterjemahkan oleh computer dalam bentuk kurva panjang gelombang terhadap absorbansi.

Struktur molekul zat organik dapat ditentukan dengan mengamati bagaimana zat organik berinteraksi dengan sinar tampak. Elektron ikatan dan elektron non ikatan (elektron bebas) dalam molekul adalah komponen yang paling cepat bereaksi dengan sinar tampak. Sinar tampak merupakan energi, yang apabila

mengenai elektron-elektron tersebut, maka elektron akan tereksitasi dari keadaan dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi, eksitasi elektron-elektron ini kemudian direkam dalam bentuk spektrum yang dinyatakan sebagai panjang gelombang dan absorbansi, sesuai dengan jenis elektron-elektron yang terdapat dalam molekul yang dianalisis. Semakin mudah elektron-elektron bereksitasi maka semakin besar panjang gelombang yang diabsorpsi, semakin banyak elektron yang bereksitasi makin tinggi absorban (Suhartati, 2017).

Spektrofotometri UV-Vis dapat digunakan untuk penentuan terhadap sampel yang berupa larutan, gas, atau uap. Pada umumnya sampel harus diubah menjadi suatu larutan yang jernih. Untuk sampel yang berupa larutan perlu diperhatikan beberapa persyaratan pelarut yang dipakai antara lain:

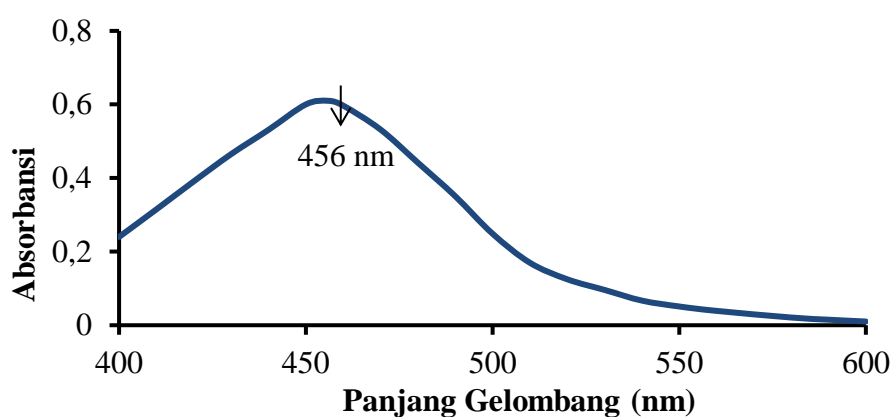
1. Harus melarutkan sampel dengan sempurna.
2. Pelarut yang dipakai tidak mengandung ikatan rangkap terkonjugasi pada struktur molekulnya dan tidak berwarna (tidak boleh mengabsorpsi sinar yang dipakai oleh sampel)
3. Tidak terjadi interaksi dengan molekul senyawa yang dianalisis.
4. Kemurniannya harus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

Untuk mendapatkan spektrum UV-Vis yang baik perlu diperhatikan pula konsentrasi sampel. Hubungan antara absorbansi terhadap konsentrasi akan linier ($A \approx C$) apabila nilai absorbansi larutan antara 0,2-0,8 ($0,2 \leq A < 0,8$) atau sering disebut sebagai daerah berlakunya hukum Lambert-Beer (Suhartati, 2017).

Penentuan konsentrasi fenol dapat menggunakan metode Spektrofotometri UV-Vis. Menurut Badan Standar Nasional SNI 06-6989.21-2004 analisis fenol dengan Spektrofotometer UV-Vis menggunakan 4-aminoantipirin sebagai reagen pengompleksnya, karena menunjukkan karakteristik yang lebih baik mengenai sensitivitas dan respon terhadap senyawa fenolik. Semua fenol dalam air prinsipnya akan bereaksi dengan 4-aminoantipirin dalam suasana kalium ferrisianida dan akan membentuk warna merah kecoklatan dari antipirin. Warna yang terbentuk tersebut kemudian diekstrak kedalam pelarut kloroform dan diukur

pada panjang gelombang maksimum ($460 \text{ nm} \pm 5$). Absorbansi yang semakin tinggi menunjukkan bahwa panjang gelombang yang diperoleh semakin baik.

Analisis konsentrasi fenol dengan metode Spektrofotometri ini dipilih karena metode Spektrofotometri dapat menyeleksi panjang gelombang, proses analisis yang sederhana dan dapat menganalisis larutan dengan konsentrasi yang sangat kecil. Penelitian lain mengenai panjang gelombang maksimum fenol telah dilakukan sebelumnya, yaitu pada panjang gelombang 456 nm (Gambar 7) (Antika, 2018).



Gambar 7. Panjang gelombang maksimum fenol

Dalam penelitiannya, Antika (2018) melakukan uji optimasi transpor fenol menggunakan metode SLM dengan senyawa pembawa Ko-EDVB. Panjang gelombang maksimum fenol yang diperoleh pada penelitian Antika (2018) tersebut digunakan untuk penentuan konsentrasi fenol pada penelitian ini, yang merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya.

2. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

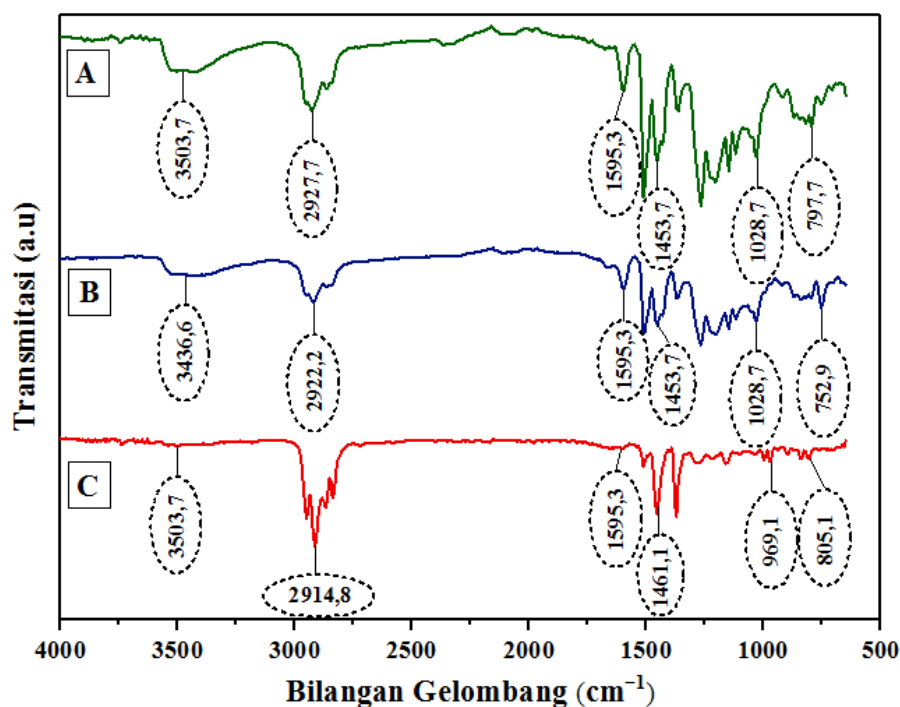
FTIR adalah sebuah teknik untuk memperoleh spektrum inframerah dari penyerapan atau emisi zat padat, cair, atau gas. Secara sederhananya, prinsip kerja FTIR adalah untuk mengidentifikasi senyawa, mendeteksi gugus fungsi, dan menganalisis campuran dan sampel yang dianalisis. Energi inframerah akan melewati celah ke sampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel. Selanjutnya beberapa inframerah diserap oleh sampel dan yang lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel

sehingga sinar inframerah masuk ke detektor dan sinyal yang terukur dikirim ke komputer.

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

Penentuan gugus fungsi yang terdapat pada membran SLM sebelum dan setelah transpor fenol pada kondisi optimum dapat menggunakan metode spektroskopi FTIR. Hasil karakterisasi menunjukkan spektrum serapan yang spesifik mengidentifikasi gugus fungsi yang terserap pada membran sebelum dan sesudah transpor. Karakterisasi menggunakan FTIR dapat mengidentifikasi material yang belum diketahui dan dapat menentukan kualitas dan jumlah komponen membran SLM. Evaluasi membran SLM ditentukan dengan hilangnya komponen pada membran, yakni ditentukan dengan cara penimbangan. Hilangnya komponen membran akan terekam pada spektra infra merah. Selain itu, komponen membran yang hilang juga dibuktikan dengan selisih berat membran sebelum dan sesudah transpor. Hilangnya komponen membran ini disebut dengan *Membrane Liquid (ML) loss*. Salah satu komponen membran yang hilang bisa berasal dari senyawa pembawa (Kiswando *et al.*, 2015).

Antika (2018) telah melakukan penelitian optimasi transpor fenol menggunakan metode SLM dengan Ko-EDVB 8% sebagai senyawa pembawa. Kemudian dalam penelitiannya melakukan karakterisasi terhadap senyawa pembawa Ko-EDVB 8%, membran SLM sebelum dan setelah transpor fenol. Hasil karakterisasi senyawa pembawa Ko-EDVB 8% dan membran SLM dengan FTIR ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Perbandingan spektra FTIR (a) senyawa pembawa Ko-EDVB, (b) membran SLM sebelum transpor dan (c) membran SLM setelah transpor

Sebelum membran SLM digunakan untuk transpor fenol, terdapat puncak dalam spektra IR yang mengindikasikan adanya -OH stretching , -CH aromatik $stretching$, -CH alkana $stretching$ dan -C=C aromatik $stretching$. Serapan yang muncul merupakan serapan milik senyawa pembawa Ko-EDVB sebagai molekul senyawa pembawa penyusun membran. Setelah membran digunakan untuk transpor fenol, intensitas pada bilangan gelombang ini masih terlihat tetapi dengan intensitas yang rendah karena telah didominasi oleh air. Hasil perbandingan dari ketiga spektra menunjukkan bahwa gugus fungsi pada daerah $500 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ relatif tidak mengalami pergeseran maupun perbedaan intensitas yang signifikan. Puncak -OH stretching pada bilangan gelombang $3436,6 \text{ cm}^{-1}$ terlihat mengalami pelebaran puncak. Hal ini karena selama proses

transpor, membran berada di antara dua fasa dan digunakan untuk melewati fenol dari fasa sumber ke fasa penerima sehingga ada air yang masuk ke dalam pori-pori membran. Identifikasi gugus fungsi pada membran SLM sebelum dan setelah digunakan untuk transpor fenol menunjukkan beberapa gugus fungsi seperti yang disajikan pada Tabel 1 (Antika, 2018).

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

Bilangan Gelombang			
Ko-EDVB 8%	Membran sebelum transpor	Membran setelah transpor	Gugus Fungsi
797,7	752,9	805,1	Aromatis tersubstitusi
1028,7	1028,7	969,1	<i>Stretching</i> gugus eter (-C-O-C-)
1595,3	1595,3	1595,3	<i>Stretching</i> gugus C=C aromatik
2929,7	2922,2	2914,8	<i>Stretching</i> Csp ³ -H
3503,7	3436,6	3503,7	<i>Stretching</i> gugus -OH

Kelima gugus fungsi tersebut menjadi penting karena *peak* ini merupakan salah satu komponen penyusun membran sehingga dapat memberikan tambahan informasi komponen membran mana saja yang hilang saat terjadinya proses transpor.

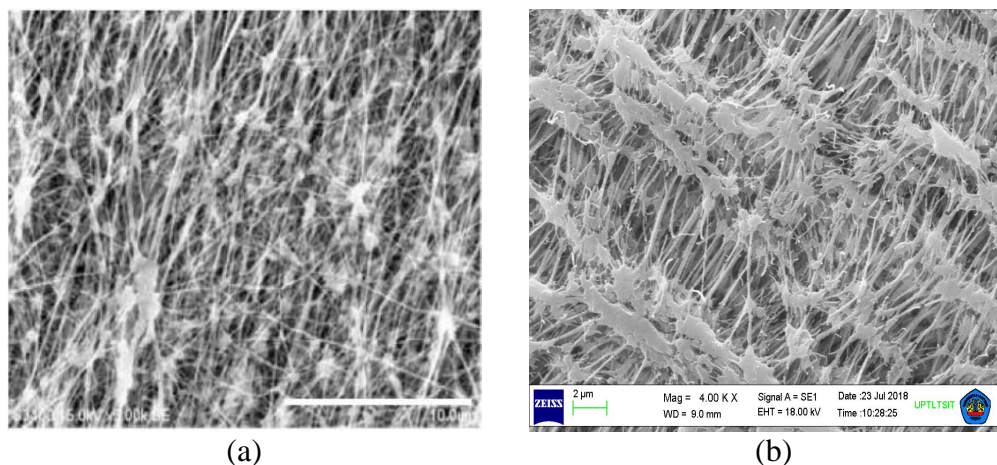
3. *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Mikroskop elektron pemindaian (SEM) adalah jenis mikroskop elektron yang menghasilkan gambar dengan memindai permukaan spesimen dengan berkas elektron yang terkonsentrasi. Elektron berinteraksi dengan atom dalam sampel, menghasilkan sinyal yang membawa informasi tentang topografi dan komposisi permukaan sampel. Berkas elektron dipindai dalam pola pemindaian raster, dan posisi berkas digabungkan dengan intensitas sinyal yang terdeteksi untuk membuat gambar. Material ditembakkan oleh elektron, maka akan timbul 2 jenis pantulan yaitu: pantulan elastis dan non elastis. Dari pantulan non elastis, di dapat sinyal elektron sekunder dan karakterisasi sinar X. Elektron sekunder menghasilkan topografi dari di analisis. Dari pantulan elastis, di dapat sinyal dari *backstreet* elektron. Dari pantulan ini, menghasilkan berat molekul.

Karakterisasi lainnya untuk analisis membran SLM dapat menggunakan SEM karena dengan bantuan SEM akan didapatkan informasi yang berkaitan dengan sifat fisik material khususnya morfologi permukaan material yang diuji.

Karakterisasi menggunakan SEM bertujuan untuk melihat morfologi membran SLM sebelum dan setelah transpor (Saka *et al.*, 2020).

Antika (2018) telah melakukan penelitian transpor fenol menggunakan metode SLM dengan senyawa pembawa Ko-EDVB 8%. Kemudian dalam penelitiannya menunjukkan perbedaan penampakan pori-pori membran SLM saat sebelum dan sesudah dilakukan transpor. Pori-pori membran tersebut ditunjukkan dengan hasil SEM Gambar 9.



Gambar 9. Hasil SEM membran PTFE (a) sebelum transpor dan (b) sesudah transpor fenol

Membran yang digunakan dalam penelitian Antika (2018) adalah membran cair berpori. Kekuatan tarik membran berkurang dikarenakan hilangnya komponen-komponen membran selama proses pengangkutan berlangsung. Ketika dilakukan transpor dimungkinkan akan ada komponen membran yang hilang (*leaching*). Komponen membran yang hilang itu akan mengakibatkan permukaan membran SLM berpori. Hal ini juga didukung oleh hasil pemindaian mikroskop elektron membran (Gambar 9). Gambar 9 menunjukkan bahwa hampir seluruh permukaan dan penampang membran berpori. Artinya dalam proses transpor fenol terjadi kehilangan sebagian komponen penyusun membran, sehingga penampang dan permukaan membran menjadi keropos setelah proses transpor.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September tahun 2022 sampai dengan Februari tahun 2023 di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Karakterisasi membran SLM menggunakan instrumen FT-IR dan SEM dilakukan di Unit Pelaksana Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT-LTSIT) Universitas Lampung. Analisis konsentrasi fenol menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas ukur 25 mL dan 50 mL, labu ukur 25 mL dan 250 mL, spatula, gelas kimia 50 mL, 250 mL, 300 mL dan 400 mL, tabung reaksi, rak tabung reaksi, pipet tetes, batang pengaduk, neraca analitik, *magnetic stirrer*, *spin bar*, papan *stirrer*, pH meter, corong pisah, statif dan klem, botol gelap, selotip, plastik *wrapping*, alumunium foil, tisu, Spektrofotometer UV-Vis (Agilent Cary 100), *Scanning Electron Microscope* (SEM) (Zeiss EVO MA 10), Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) (Agilent technologies FTIR 630 Cary). Peralatan transpor terdiri dari dua *chamber* berbentuk silindris yang dipisahkan dengan sebuah membran. Diameter *chamber* 5 cm, volume *chamber* 50 mL dengan diameter efektif *chamber* (yang langsung bersentuhan dengan larutan fenol) 2,5 cm.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah membran SLM yang mengandung PTFE sebagai polimer pendukung dengan diameter 47 mm dan ukuran pori-pori 0,5 μm (Starlab/Hawach scientific), senyawa pembawa Ko-EDVB 8%, akuabides, bahan kimia kualitas pro analis (pa) produksi *Merck* antara lain fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$), kloroform (CHCl_3), natrium hidroksida (NaOH), buffer fosfat pH 9, asam klorida (HCl), ammonium hidroksida (NH_4OH), 4-aminoantipirin ($\text{C}_{11}\text{H}_{13}\text{N}_3\text{O}$), kalium ferrisianida [$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$], natrium sulfat (Na_2SO_4), natrium nitrat (NaNO_3), natrium klorida (NaCl), kalium nitrat (KNO_3), tembaga sulfat pentahidrat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), besi III klorida heksahidrat ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), dan timbal karbonat (PbCO_3).

C. Prosedur

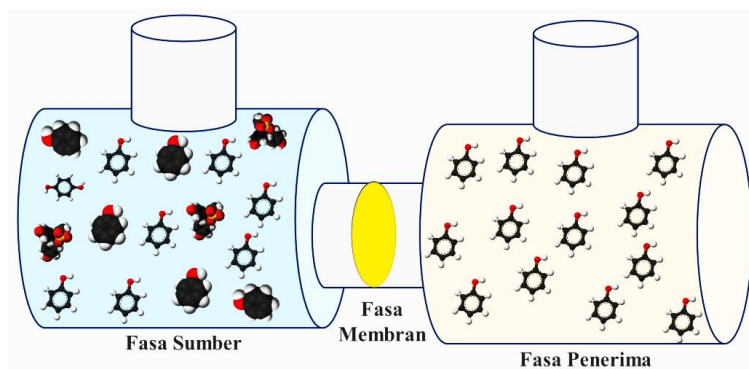
1. Perendaman (*Immersion*) Membran SLM

Preparasi membran SLM diawali dengan perendaman membran SLM yang mengandung PTFE sebagai polimer pendukung menggunakan akuabides sebanyak 10 mL selama 2 jam, kemudian membran dikeringkan dengan cara didiamkan di atas tisu. Membran selanjutnya direndam ke dalam 10 mL kloroform yang mengandung senyawa pembawa Ko-EDVB 8% 0,010 M. Proses perendaman dilakukan selama 1 jam, kemudian membran diangkat dan didiamkan selama 10 menit kemudian membran ditimbang. Hasilnya berupa membran SLM yang mengandung senyawa pembawa Ko-EDVB 8%. Membran SLM sebelum transpor ini selanjutnya dikarakterisasi menggunakan FTIR dan SEM.

2. Kondisi Transpor Fenol

Kondisi proses transpor fenol dilakukan seperti pada penelitian Antika (2018), yaitu proses transpor fenol dilakukan dengan kondisi pH larutan fenol pada fasa sumber sebesar 5,5, konsentrasi larutan NaOH pada fasa penerima sebesar 0,100 M, waktu *immersion* membran selama 1 jam, konsentrasi senyawa pembawa sebesar 0,010 M dan waktu transpor selama 6 jam. Transpor fenol dilakukan dalam alat *chamber* yang terdiri dari dua bagian dengan bentuk silindris, yang

bersentuhan melalui membran SLM. Secara lengkap ilustrasi proses transpor fenol dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Alat *chamber*

3. Uji Stabilitas dan Ketahanan Membran SLM

Prosedur uji stabilitas dan ketahanan membran SLM dalam transpor fenol mengikuti prosedur pada penelitian Febriasari *et al.*, (2016), Alguacil *et al.*, (2021), dan Asrami (2019) dengan beberapa modifikasi.

a) Variasi Kecepatan Pengadukan

Membran SLM dengan polimer pendukung PTFE yang sudah dipersiapkan pada prosedur satu 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. Selanjutnya konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 456 nm.

b) Variasi Jenis Garam pada Fasa Sumber

Transpor fenol selanjutnya yaitu variasi jenis garam pada fasa sumber. Pada prosedur ini, transpor fenol dilakukan dengan kecepatan pengadukan optimum yang diperoleh pada prosedur sebelumnya. Jenis garam yang digunakan pada prosedur ini adalah garam NaCl, NaNO₃, Na₂SO₄, dan KNO₃ dengan konsentrasi masing-masing garam sebesar 0,010 M pada 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 456 nm.

c) Variasi Konsentrasi Garam pada Fasa Sumber dan Fasa Penerima

Transpor fenol selanjutnya yaitu variasi konsentrasi garam pada fasa sumber dan fasa penerima. Pada prosedur ini, transpor fenol dilakukan dengan kecepatan pengadukan optimum dan jenis garam optimum yang diperoleh pada prosedur sebelumnya. Konsentrasi garam yang divariasikan pada prosedur ini yaitu 0 M (kontrol); 0,001; 0,010; 0,100 dan 1 M pada 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 456 nm.

Selanjutnya dilakukan prosedur yang sama untuk variasi konsentrasi garam pada fasa penerima, yaitu konsentrasi garam 0 M (kontrol); 0,001; 0,010; 0,100 dan 1 M pada fasa penerima. 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 456 nm.

d) Pengaruh Logam Kompetitor pada Selektivitas Membran SLM

Proses transpor fenol dilakukan selama 6 jam dengan kecepatan pengadukan, jenis garam dan konsentrasi garam yang optimum. Komposisi limbah buatan terdiri dari larutan logam berat yang dilarutkan dalam larutan fenol 60 ppm. Transpor fenol pada prosedur ini dilakukan dengan beberapa variasi pada larutan fasa sumber, yaitu:

- a. Kontrol fenol (tanpa logam)
- b. Cu(II) + fenol
- c. Pb(II) + fenol
- d. Fe(III) + fenol
- e. Cu(II) + Pb(II) + Fe(III) + fenol

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 456 nm.

e) Uji Ketahanan Membran SLM pada Pemakaian Berulang

Prosedur ini dilakukan pada dua kondisi, yaitu membran SLM dengan pencucian dan membran SLM tanpa pencucian. Proses transpor fenol dilakukan dalam kondisi optimum selama 6 jam. Membran SLM setelah pemakaian satu kali selanjutnya dicuci dengan akuabides selama 30 menit kemudian didiamkan dengan tujuan untuk dikeringkan dan selanjutnya ditimbang beratnya. Kemudian membran SLM dipasang kembali pada alat *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 pemakaian. Setelah selesai proses 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 456 nm. Prosedur di atas diulang kembali, tetapi pada membran SLM yang berbeda dan tanpa proses pencucian pada membran SLM setelah pemakaian.

f) Masa Pakai Membran SLM (*Lifetime*)

Proses transpor fenol dilakukan dalam kondisi optimum dan tanpa ada batasan waktu transpor. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet *spin bar* pada fasa penerima dan fasa sumber. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 456 nm. *Lifetime* ditentukan dengan cara mengukur nilai pH pada fasa sumber. pH larutan pada fasa sumber dicek secara berkala, naiknya nilai pH pada fasa sumber hingga pH ± 9 , mengindikasikan bahwa membran SLM sudah mengalami kebocoran, setelah itu proses transpor dihentikan (Zha *et al.*,

1995; Kiswando *et al.*, 2022). *Lifetime* dilakukan dengan beberapa variasi pada larutan fasa sumber, yaitu:

- a. Larutan fenol tanpa garam (0 M/kontrol)
- b. Larutan fenol + NaCl 0,010 M
- c. Larutan fenol + NaNO₃ 0,010 M
- d. Larutan fenol + Na₂SO₄ 0,010 M
- e. Larutan fenol + KNO₃ 0,010 M

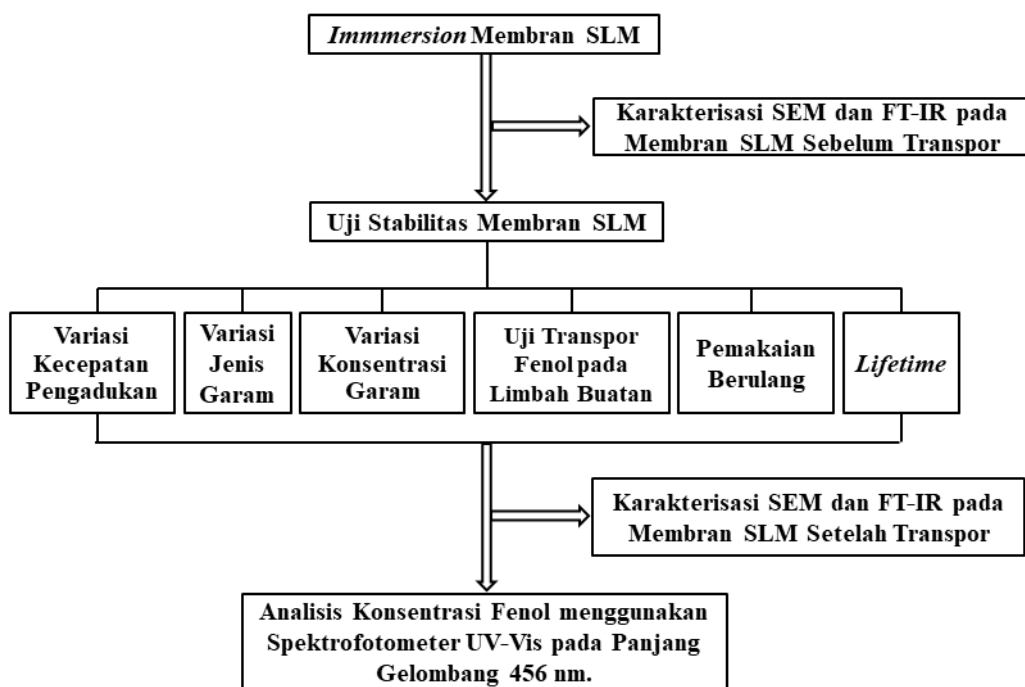
4. Pengukuran Konsentrasi Fenol dalam Sampel

Konsentrasi fenol dalam sampel pada fasa sumber dan fasa penerima ditentukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis setelah proses transpor berlangsung. Sampel pada fasa sumber, fasa penerima dan larutan standar fenol masing-masing diambil sebanyak 5 mL. Larutan standar fenol yang digunakan terdiri dari beberapa konsentrasi yang divariasikan, yaitu 10, 20, 30, 40, 50, 60 dan 70 ppm. Sampel tersebut masing-masing dimasukkan ke dalam gelas kimia. Kemudian ditambahkan 5 mL akuabides ke dalam masing-masing gelas kimia yang telah terisi sampel. 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 ditempat yang gelap sampai terjadi perubahan warna kompleks 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 dua fasa, kemudian lapisan organik atau lapisan kloroform (bagian bawah) dipisahkan. Ekstrak kloroform yang diperoleh diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 456 nm (Badan Standar Nasional SNI 06-6989.21-2004).

5. Membrane Liquid Loss (ML Loss)

ML *loss* digunakan sebagai parameter ketahanan dan kestabilan suatu membran. Ketahanan membran dapat diasumsikan dengan kemampuan membran tersebut untuk menahan kebocoran. Jumlah ML *loss* dapat diperoleh melalui penimbangan membran SLM sebelum dan setelah transpor fenol (Zhao *et al.*, 2012). Selisih

berat membran SLM pada penelitian ini diartikan sebagai komponen membran yang hilang selama proses transpor berlangsung. Penentuan *ML loss* dilakukan untuk mengetahui jumlah (%) selisih berat membran SLM yang mengandung senyawa pembawa Ko-EDVB 8%. Penentuan *ML loss* pada penelitian ini dilakukan pada membran yang digunakan untuk transpor fenol pada parameter pengaruh kecepatan pengadukan, jenis garam, konsentrasi garam, pengaruh logam, pemakaian berulang dan umur membran (*lifetime*). Secara lengkap diagram penelitian dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan pembahasan yang telah diuraikan di atas, maka dapat diperoleh kesimpulan hasil uji stabilitas dan ketahanan terhadap membran SLM didapatkan bahwa:

1. Stabilitas membran SLM dicapai pada kecepatan pengadukan 800 rpm dengan persentase fenol yang berhasil tertransport ke fasa penerima yaitu sebesar 72, 150%.
2. Penambahan garam NaCl 0,010 M difasa sumber dan di fasa penerima membuat membran SLM menjadi lebih stabil karena dapat mengurangi nilai persentase *ML Loss*. Adanya penambahan garam NaCl 0,010 M pada fasa sumber dapat meningkatkan umur membran dan menahan kebocoran yang berasal dari larutan fasa penerima.
3. Adanya logam kompetitor Cu(II), Fe(III) dan Pb(II) dapat menghambat proses transport fenol sehingga mengakibatkan jumlah fenol yang tertransport menjadi berkurang. Jumlah konsentrasi fenol yang masih dapat tertransport ke fasa penerima menunjukkan bahwa transport fenol menggunakan metode SLM dengan senyawa pembawa Ko-EDVB 8% merupakan metode yang selektif untuk *recovery* fenol.
4. Hasil penelitian juga diperoleh bahwa membran SLM dapat digunakan untuk transport fenol lebih dari tiga kali pemakaian walaupun persentase fenol yang berhasil tertransport di fasa penerima nilainya menurun.
5. Ketidakstabilan pada membran SLM yang mengandung senyawa pembawa Ko-EDVB 8% disebabkan karena hilangnya senyawa-senyawa pembawa ini saat proses transport fenol. Bukti hilangnya komponen penyusun membran

tersebut yaitu dengan terjadinya perubahan pada puncak –OH di spektra FTIR dan perbedaan morfologi permukaan membran SLM.

B. Saran

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

1. Untuk meningkatkan stabilitas membran, khususnya hilangnya komponen penyusun membran perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai transpor fenol dengan jenis garam lainnya dan senyawa diena lain sebagai pembanding.
2. Uji ketahanan membran SLM pada pemakaian berulang dapat dikaji kembali menggunakan variasi jenis garam.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kompetisi transpor fenol dengan beberapa senyawa turunan fenol ataupun logam berat menggunakan turunan-turunan polieugenol lainnya menggunakan metode SLM.
4. Beberapa pengaruh lain yang dapat mempengaruhi stabilitas dan ketahanan membran SLM perlu dilakukan kajian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustia, R. (2020). *Transpor Fenol Menggunakan Senyawa Pembawa Kopolimer Eugenol Etilen Glikol Dimetakrilat (Co-EEGDMA) 10% dengan Metode Supported Liquid Membrane (SLM)*. (Skripsi Sarjana, Universitas Lampung).
- Agustina, W. (2020). *Studi Transpor Fenol Menggunakan Senyawa Carrier Kopolimer Eugenol-Dialil Ftalat (Co-Edaf) 10% dengan Metode Supported Liquid Membrane (SLM)*. (Skripsi Sarjana, Universitas Lampung).
- Alguacil, F.J., & Lopez, F.A. (2021). Separation Iron(III)-Manganese(II) Via Supported Liquid Membrane Technology in the Treatment of Spent Alkaline Batteries. *Membranes*, 11(991), 1-9.
<https://doi.org/10.3390/membranes11120991>
- Antika, W. (2018). *Studi Transpor Fenol Menggunakan Senyawa Pembawa Kopolimer (Eugenol-DVB) dengan Metode Supported Liquid Membrane (SLM)*. (Skripsi Sarjana, universitas Lampung).
- Aprilia, K.C. (2022). *Stabilitas dan Kemampuan Copoly-Eugenol Divinil Benzena 10% untuk Transpor Fenol Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane (PIM)*. (Skripsi Sarjana, Universitas Lampung).
- Ariesmayana, A., & Zaman, A.S. (2018). Efisiensi Sistem Evaporator dan Karbon Aktif untuk Mengurangi Kadar Fenol pada Hasil Air Buangan Produksi PT. Latinusa, Tbk. *Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam (JURNALIS)*, 1(1), 74-86.
- Asrami, M.R., & Saien, J. (2019). Salt Effects on Liquid-Liquid Equilibria of Water + Phenol + (Propan-2-yl) Benzene + Salts Systems. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 64(6), 2414-2422.
<https://doi.org/10.1021/acs.jced.8b01202>
- Asuhadi, S., Arafah, N., & Amir, A.B. (2019). Kajian Terhadap Potensi Bahaya Senyawa Fenol di Perairan Laut Wangi-Wangi. *Jurnal Ecogree*, 5(1), 49-55.
- Ayuningtyas, E. (2020). Penurunan Kadar Warna dan Fenol Air Limbah Batik Menggunakan Metode Advanced Oxidation Processes (AOPs) Berbasis Ozon-GAC. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 20(2), 31-37.
<https://doi.org/10.37412/jrl.v20i2.53>

- Chen, Y., Xiong, K., Shen, S., Wang, H., Zhou, S., Li, L. (2018). Salt Effect on the Liquid–Liquid Equilibrium of the Ternary (Water + Phenol + Methyl Isobutyl Ketone) System: Experimental Data and Correlation. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 27, 168–173. <https://DOI:10.1016/j.cjche.2018.02.013>
- Davoodi-Nasab, P., Rahbar-Kelishami, A., Safdari, J., Abolghasemi, H. (2018a). Evaluation of the Emulsion Liquid Membrane Performance on the Removal of Gadolinium from Acidic Solutions. *Journal of Molecular Liquids*, 262, 97–103. <https://doi:10.1016/j.molliq.2018.04.062>
- Davoodi-Nasab, P., Rahbar-Kelishami, A., Safdari, J., Abolghasemi, H. (2018b). Selective Separation and Enrichment of Neodymium and Gadolinium by Emulsion Liquid Membrane using a Novel Extractant CYANEX® 572. *Minerals Engineering*, 117, 63–73. <https://doi:10.1016/j.mineng.2017.11.008>
- Djunaidi, M.C., & Wenten, I.G. (2019). Synthesis of Eugenol-Based Selective Membrane for Hemodialysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi:10.1088/1757-899X/509/1/012069>
- Djunaidi, M.C., Wibawa, P.J., & 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 Chemistry*, 18(1), 121-126. <https://doi:10.22146/ijc.25075>
- Elma, M. (2016). *Proses Pemisahan Menggunakan Teknologi Membran*. (Skripsi Sarjana, Lambung Mangkurat University Press. Banjarmasin).
- Febriasari, A., Siswanta, D., Kiswandono, A.A., Aprilita, N.H. (2016). Evaluation of Phenol Transport Using Polymer Inclusion Membrane (PIM) with Polyeugenol as a Carrier. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 11(2), 99-106. <https://doi.org/10.23955/rkl.v11i2.5112>
- Freire, M.G., Carvalho, P.J., Silva, A.M., Santos, L.M., Rebelo, L.P., Marrucho, I.M., Coutinho, J.A. (2008). Ion Specific Effects on the Mutual Solubilities of Water and Hydrophobic Ionic Liquids. *The Journal of Physical Chemistry A*, 113, 202–211. <https://DOI:10.1021/jp8080035>
- Ghalami-Choobar, B., Fazli, M., HasannezhadSabersalimi, F. (2016). Salt Effect on the Liquid-Liquid Equilibrium of (Water + Diethanolamine + Isobutanol/Cyclohexanol) Systems at T = (298.2 and 308.2) K. *Journal of Molecular Liquids*, 222, 558–563. <https://DOI:10.1016/j.molliq.2016.07.084>
- Hadi, N. (2020). *Transpor Fenol Menggunakan Kopolimer Eugenol Divinil Benzena (Co-EDVB) 10% Sebagai Carrier dengan Metode Supported Liquid Membrane (SLM)*. (Skripsi Sarjana, Universitas Lampung).
- Handayani, D.S., Rahayu, P., & Firdaus, M. (2019). Synthesis and Characterisation of Copoly-(Eugenol-*N,N'*-Methylene Bis(Acrylamide)). *Journal of Physical Science*, 30(3), 87–100. <https://doi.org/10.21315/jps2019.30.3.6>

- Harruddin, N., Othman, N., Lim, E.S.A., & Sulaiman R.N. (2015). Selective Removal and Recovery of Black B Reactive Dye from Simulated Textile Wastewater Using the Supported Liquid Membrane Process. *Environmental Technology*, 36(3), 271–80. <https://DOI:10.1080/09593330.2014.943301>
- Hikmah, S.A., Rahim, E.A., & Musafira. (2018). Synthesis and Characteristics of Polyuegenol from Eugenol Using Catalyst $H_2SO_4-CH_3COOH$. *KOVALEN Jurnal Riset Kimia*, 4(3), 285-296.
- Hoffmeister, F. (1888). *Zur lehre Von Der Wirkung Der Salze*. Arch. Exp. Pathol. Pharmacol, 25, 1–30.
- Idris, A., & Rahmanian, N. (2014). γ -Ray Pre-Irradiated Grafting of Polytetrafluoroethylene Film Membrane. *Jurnal Teknologi*, 69(9), 47-51. <https://doi.org/10.11113/jt.v69.3395>
- Indarti, D., Novitasari, & Sulistyoy, Y.A. (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.
- Indrayani, L. (2018). Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Sebagai Salah Satu Percontohan Ipal Batik di Yogyakarta. *Journal Ecotrophic*, 12(2), 173-184. <https://doi.org/10.24843/EJES.2018.v12.i02.p07>
- Kazemi, P., Peydayeshb, M., Bandegib, A., Mohammadia, T., Bakhtiari, O. (2014). Stability and Extraction Study of Phenolic Waste Water Treatment by Supported Liquid Membrane Using Tributylphosphate and Sesame Oil as Liquid Membrane. *Chemical Engineering Research and Design*, 92, 375–383. <https://DOI:10.1016/j.cherd.2013.07.023>
- Khusnuryani, A., Martani, E., Wibawa, T., Widada, J. (2015). Karakterisasi Bakteri Pendegradasi Fenol dan Pembentuk Biofilm dari Sumber Alami dan Artifisial. *Kaunia*, 11(1), 40-50. <https://doi.org/10.14421/kaunia.1080>
- Kiswandono, A.A. (2014). *Kajian Transpor Fenol Melalui Membran Berbasis Polieugenol Tertaut Silang Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane*. (Disertasi Doktor, Universitas Gadjah Mada).
- Kiswandono, A.A. (2016). Metode Membran Cair untuk Pemisahan Fenol. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 1(01).
- Kiswandono, A.A., Girsang, E., Pulungan, A.N., Sihombing, J.L., Siswanta, D., Aprilita, N.H., Santosa, S.J., Hayashita, T. (2015). Kajian Spektra FTIR pada Membran Kopoli (Eugenol-Divinilbenzena), Co-EDVB Sebagai Senyawa Pembawa untuk Transpor Fenol. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains (SNPS)*, 19 November 2015. Surakarta.
- Kiswandono, A.A., Mudasir, Siswanta, D., Aprilita, N.H., Santosa, S.J., Hadi, S. (2019). Synthesis and Characterization of Co-EDAF and its Application Test as a Carrier Membrane for Phenol Transport Using Polymer Inclusion Membrane (PIM). *Research Journal of Chemistry and Environment*, 23(5), 1-9.

- Kiswandono, A.A., Mudasir., Siswanta, D., Aprilita, N.H., Santosa, S.J., Hadi, S. (2020). Synthesis of a New Crosslinked Poly-Bisphenol a Diglycidyl Ether (Poly-BADGE) as a Carrier in Phenol Transport. *Kuwait Journal of Science*, 47(4), 39-48.
- Kiswandono, A.A., 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. <https://doi.org/10.3390/membranes12030295>
- Kiswandono, A.A., Supriyanto, Nuryaman, A., Siswanta, D., Aprilita, N.H., Santosa, S.J. (2017). Sintesis dan Uji Kemampuan Senyawa Co-EEGDMA Sebagai Senyawa Pembawa pada Transpor Fenol Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane. *Jurnal Penelitian Saintek*, 22(2), 114-125.
- Kiswandono, A.A., Widiarto, S., Sari, D.T.E.N., Supriyanto, R., Qudus, H.I., Rinawati, Rahmawati, A., Devariani, W. (2022). Kompetisi Fenol pada Limbah Buatan Menggunakan Kopolimer Eugenol Divinil Benzena 10% Sebagai Senyawa Pembawa. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 18(1), 1-9. <https://doi:10.20961/alchemy.18.1.45356.1-9>
- Kolev, S.D., St John, A.M., & Cattrall, R.W. (2013). Mathematical Modeling of the Extraction of Uranium (VI) Into a Polymer Inclusion Membrane Composed of PVC and di-(2-ethylhexyl) Phosphoric Acid. *Journal of Membrane Science*, 425–426, 169–175. <https://DOI:10.1016/j.memsci.2012.08.050>
- Kumar, N.S., Man, H.C., Woo, H.S. (2014). Biosorption of Phenolic Compounds from Aqueous Solutions Using Pine (*Pinus Densiflora* Sieb) Bark Powder. *Bio Resources*, 9(3), 5155-5174. <https://DOI:10.15376/biores.9.3.5155-5174>
- Lai, C.Y., Groth, A., Gray, S., Duke, M. (2014). Nanocomposites for Improved Physical Durability of Porous PVDF Membranes. *Membranes*, 4, 55–78. <https://doi.org/10.3390/membranes4010055>
- León, G., Hidalgo, A.M., Miguel, B., Guzmán, M.A. (2020). Pertraction of Co(II) through Novel Ultrasound Prepared Supported Liquid Membranes Containing D2EHPA. Optimization and Transport Parameters. *Journal Membranes*, 10(436). <https://doi:10.3390/membranes10120436>
- Li, Z., & Meng, X. (2020). New Insight into Reactive Oxidation Species (ROS) for Bismuth-based Photocatalysis in Phenol Removal. *Journal of Hazardous Materials*. <https://doi:10.1016/j.jhazmat.2020.122939>
- Maulana, M.R., & Marsono, B.D. (2021). Penerapan Teknologi Membran untuk Mengolah Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Teknik ITS*, 10(2), 54-60.
- Marino, T., & Figoli, A. (2015). Arsenic Removal by Liquid Membranes. *Membranes*, 5, 150-167. <https://doi:10.3390/membranes5020150>
- Meilinda, H., Noviyanti, N., Anggraeni, A., Hendrati, D., Bahti, H.H. (2021). Pengaruh Berbagai Parameter Ekstraksi dalam Pemisahan Unsur Tanah Jarang dengan Metode Emulsion Liquid Membrane (ELM). *ALCHEMY*

- Jurnal Penelitian Kimia*, 17(1), 1-9.
<https://doi:10.20961/alchemy.17.1.38683.1-9>
- Mohammad, S., Grundl, G., Muller, R., Kunz, W., Sadowski, G., 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 Equilib.* 428, 102–111. <https://DOI:10.1016/j.fluid.2016.05.001>
- Nosrati, S., Jayakumar, N.S., & Hashim, M.A. (2011). Performance evaluation of supported ionic liquid membrane for removal of phenol. *Journal of Hazardous Materials*, 192, 1283–1290.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.06.037>
- Oktarida, N.R. (2021). *Uji Stabilitas dan Kemampuan Membran PIM (Polymer Inclusion Membrane) yang Mengandung Kopolimer (Divinil Benzene) 8%*. (Skripsi Sarjana, Universitas Lampung).
- Ooi, Z.Y., Othman, N., Mohamad, M., & Rashid, R. (2014). Removal Performance of Lignin Compound from Simulated Pulp Mill Wastewater Using Emulsion Liquid Membrane Process. *International Journal of Global Warming*, 6(2–3), 270–283. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2014.061021>
- Othman, N., Harruddin, N., Noah, N.F.M., Sulaiman, R.N.R., Ooi, Z.Y., Jusoh, N., Nasruddin, N.A., Rashid, R., Ali, N., Sadikin, A.N. (2015). Recovery of Synthetic Dye Red 3BS from Simulated Wastewater Using Supported Liquid Membrane Process Containing Immobilized Kerosene-tridodecylamine Liquid Membrane. *Jurnal Teknologi*, 74(7), 99-105.
<https://DOI:10.11113/jt.v74.4706>
- Othman, N., Heng, L.C., Noah, N.F.M., Yi, O.Z., Jusoh, N., Nasruddin, N.A., Ali, N., Hamzah, S. (2015). Removal of Phenol from Wastewater by Supported Liquid Membrane Process. *Jurnal Teknologi*, 74(7), 117-121.
<https://DOI:10.11113/jt.v74.4709>
- Parhi, P.K. (2013). Supported Liquid Membrane Principle and its Practices: A Short Review. *Journal of Chemistry*. <https://doi:10.1155/2013/618236>
- Pavón, S., Blaesing, L., Jahn, A., Aibel, I., Bertau, M. (2020). Liquid Membranes for Efficient Recovery of Phenolic Compounds Such as Vanillin and Catechol. *Membranes*, 11(20). <https://doi.org/10.3390/membranes11010020>
- Pont, N., Salvadó, V., & Fontàs, C. (2018). Applicability of a Supported Liquid Membrane in the Enrichment and Determination of Cadmium from Complex Aqueous Samples. *Membranes*, 8(21), 1-11.
<https://doi:10.3390/membranes8020021>
- Prayitno, J., & Sopiah, N. (2016). Degradasi Senyawa Fenol oleh Bakteri yang Diisolasi dari Area Pertambangan Minyak Bumi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 17(2), 126-131.
- Prica, M., Adamovic, S., Dalmacija, B., Rajic, L., Trickovic, J., Rapajic, S., Becelic-Tomin, M. (2015). The Electrocoagulation/Flotation Study: The Removal of Heavy Metals from the Waste Fountain Solution. *Process*

Safety and Environmental Protection, 94, 262-273.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2014.07.002>

- Rahyuningsih, T., Isnatin, U., & Parwi. (2018). Isolasi dan Seleksi Bakteri sebagai Agen Bioremediasi Limbah Cair Pabrik Kayu Putih. *AGRI-TEK: Jurnal Ilmu Pertanian, Kehutanan dan Agroteknologi*, 19(2), 96-99.
<https://doi.org/10.33319/agtek.v19i2.15>
- Raji, M., Abolghasemi, H., Safdari, J., Kargari, A. (2017). Selective Extraction of Dysprosium from Acidic Solutions Containing Dysprosium and Neodymium Through Emulsion Liquid Membrane by Cyanex 572 as Carrier. *Journal of Molecular Liquids*, 254, 108–119.
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.11.058>
- Refinel, Salim, E., & Astuti, I.T. (2019). Transport of Phenol by Bulk Liquid Membrane Using FeCl₃ Solution as Stripping Phase. *Jurnal Zarah*, 7(1), 29-34.
- Saka, C., Kiswandono, A.A., & Hadi, S. (2020). Synthesis of Polymer Inclusion Membranes Based on PVC Containing Copoly-EDVB 4% as a Carrier for Removal of Phenol Solutions. *Pollution Research Journal*, 39(4), 1009-1016.
- Saratale, R.G., Hwang, K.J., Song, J.Y., Saratale, G.D., Kim, D.S. (2015). Electrochemical Oxidation of Phenol for Wastewater Treatment Using Ti/PbO₂ Electrode. *Journal of Environmental Engineering*.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001007](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001007)
- Sari, K., Erlanda, F., & Bambang, Y. (2019). Perbedaan Variasi Ketebalan Media Adsorben Karbon Aktif dalam Menurunkan Kadar Fenol pada Limbah Cair Pt.X. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*, 11(1), 202-206.
<https://doi.org/10.34011/juriskesbdg.v11i1.727>
- Saufi, S.M., Harruddin, N., Faizal, C.K.M., Mohammad, A.W. (2016). Evaluation of Different Polymeric Membrane Support for Acetic Acid Removal by Supported Liquid Membrane Process. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 78(12), 13-18. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.10046>
- Silva, F.F.M., Monte, F.J.Q., Lemos, T.L.G., Nascimento, P.G.G., Costa, A.K.M., Paiva, L.M.M. (2018). Eugenol Derivatives: Synthesis, Characterization, and Evaluation of Antibacterial and Antioxidant Activities. *Chemistry Central Journal*, 12(34), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s13065-018-0407-4>
- Sklavos, S., Gatidou, G., Stasinakis, A.S., Haralambopoulos, D. (2015). Use of Solar Distillation for Olive Mill Wastewater Drying and Recovery of Polyphenolic Compounds. *Journal of Environmental Management*, 162, 46–52.
- Standar Nasional Indonesia. 2004. SNI 06-6989.21-2004. *Tentang Air dan air limbah – Bagian 21: Cara uji kadar fenol secara Spektrofotometri*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Suhartati, T. (2017). *Dasar-Dasar Spektrofotometer UV-VIS dan Spektrofotometri Massa Untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Lampung: AURA.

- Sulaiman, R.N.R., Othman, N., & Vithilingam, K. (2021). Prediction of Nickel Removal Using Diffusion Model in Flat Sheet Supported Liquid Membrane. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 17, 752-767. <https://DOI:10.11113/mjfas.v17n6.2297>
- Thermo, N. (2001). *Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry*. USA: Thermo Nicolet Corporation.
- Villegas, L.G.C., Mashhadi, N., Chen, M., Mukherjee, D., Keith, E., Taylor, K.E., Nihar, B.N. (2016). A Short Review of Techniques for Phenol Removal from Wastewater. *Current Pollution Report*, 2(3), 157-167. <http://dx.doi.org/10.1007%2Fs40726-016-0035-3>
- Wenten, I.G. (2016). Teknologi Membran: Prospek dan Tantangannya di Indonesia. *Makalah Orasi Ilmiah Guru Besar*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Xian, C. K., Othman, N., Harruddin, N., Nasruddin, N.A., Ooi, Z.Y. (2014). Extraction of Lignosulfonate Using TOA-Kerosene-PVDF in Supported Liquid Membrane Process. *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)*, 67(2), 59–63. <https://DOI:10.11113/jt.v67.2737>
- Yang, X., Duan, H., Shi, D., Yang, R., Wang, S., Guo, H. (2015). Facilitated Transport of Phenol Through Supported Liquid Membrane Containing Bis(2-ethylhexyl) Sulfoxide (BESO) as the Carrier. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 93, 79-86. <https://DOI:10.1016/j.cep.2015.05.003>
- Zante, G., Boltoeva, M., Masmoudi, A., Barillon, R., Trébouet, D. (2019). Lithium extraction from complex aqueous solutions using supported ionic liquid membranes. *Journal of Membrane Science*. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.03.013>
- Zarca, G., Ortiz, I., & Urtiaga, A. (2014). Facilitated-Transport Supported Ionic Liquid Membranes for the Simultaneous Recovery of Hydrogen and Carbon Monoxide from Nitrogen-Enriched Gas Mixtures. *Chemical Engineering Research and Design*, 92, 764–768. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2013.12.021>
- Zha, F.F., Fane, A.G., & Fell, C.J.D. (1995). Instability mechanisms of supported liquid membranes in phenol transport process. *Journal of Membrane Science*, 107, 50–74. [https://doi:10.1016/0376-7388\(95\)00104-k](https://doi:10.1016/0376-7388(95)00104-k)
- Zhang, X., Cai, Y., Zhang, X., Aziz, T., Fan, H., Bittencourt, C. (2021). Synthesis and Characterization of Eugenol-Based Silicone Modified Waterborne Polyurethane with Excellent Properties. *Applied Polymer Science*, 138, 1-10. <https://doi:10.1002/app.50515>
- Zhang, Y., Li, Y., Wang, L., Gao, Z., Kessler, M.R. (2017). Synthesis and Characterization of Methacrylated Eugenol as a Sustainable Reactive Diluent for a Maleinated Acrylated Epoxidized Soybean Oil Resin. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(10), 1-24. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b01673>

- Zhao, W., He, G., Nie, F., Zhang, L., Feng, H., Liu, H. (2012). Membrane Liquid Loss Mechanism of Supported Ionic Liquid Membrane for Gas Separation. *Journal of Membrane Science*, 411–412, 73–80.
<https://doi:10.1016/j.memsci.2012.04.016>
- Zheng, H.D., Biyu, W., Yanxiang, W., Qilong, R. (2009). Instability Mechanisms of Supported Liquid Membranes for Copper(II) Ion Extraction. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 351, 38–45.
<https://DOI:10.1016/j.colsurfa.2009.09.028>
- Zhou, H., Ye, Y., Tan, Y., Zhu, K., Liu, X., Tian, H., Guo, Q., Wang, L., Zhao, S., Liu, Y. (2022). Supported Liquid Membranes Based on Bifunctional Ionic Liquids for Selective Recovery of Gallium. *Membranes*, 12(4), 1-14.
<https://doi.org/10.3390/membranes12040376>