

**STUDI STABILITAS DAN KEMAMPUAN TRANSPOR FENOL  
MENGUNAKAN *POLYMER INCLUSION MEMBRANE* (PIM) DENGAN  
*COPOLY-EUGENOL ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT (Co-EEGDMA)*  
SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA**

(Skripsi)

Oleh

**GITA TIFANI**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2019**

## ABSTRACT

### STUDY OF PHENOL TRANSPORT STABILITY AND CAPABILITY USING POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM) WITH COPOLY-EUGENOL ETHYLENE GLYCOL DIMETRICYLATE (Co-EEGDMA) AS A CARRIER COMPOUND

By

**Gita Tifani**

Research on stability and ability of phenol transport using PIM with *co*-EEGDMA as a carrier has been carried out. The purpose of this study was to determine the stability and resistance of the PIM membrane. Studies on the stability and capability of PIM membranes were carried out in a number of test variations namely plasticizer concentration, type of salt, salt concentration in the source phase, salt concentration in the receiving phase, repeated use of PIM membrane, and lifetime of PIM membrane. Phenol concentrations in the receiving phase and source phase were analyzed using a UV-Vis spectrophotometer at a wavelength of 456 nm with the addition of 4-aminoantipirin. The results showed that phenol can be transported optimally in the use of plasticizers of 0.3132 g and using a 10% *co*-EEGDMA carrier compound that is equal to 91.54% with a ML Loss percentage of 21.31%. The amount of phenol that is transported to the receiving phase using a membrane with the use of once, twice, three times, and four times is 91.50%; 71.12%; 63.32%; and 44.95% with the percentage of membrane lost 20.45%; 9.09%; 6.02%; and 2.81%. Without the addition of NaNO<sub>3</sub> salt, membrane resistance was only 24 days but with the addition of 0.01 M NaNO<sub>3</sub> salt the resistance increased to 108 days. The addition of NaNO<sub>3</sub> salt will add stability and a longer lifetime.

Keywords: *co*-EEGDMA, phenol, resistance, membrane, PIM

## ABSTRAK

### STUDI STABILITAS DAN KEMAMPUAN TRANSPOR FENOL MENGUNAKAN *POLYMER INCLUSION MEMBRANE* (PIM) DENGAN *COPOLY-EUGENOL ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT (Co-EEGDMA)* SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA

Oleh

Gita Tifani

Telah dilakukan penelitian mengenai studi stabilitas dan kemampuan transpor fenol menggunakan PIM dengan *co-EEGDMA* sebagai senyawa pembawa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui stabilitas dan ketahanan membran PIM. Studi stabilitas dan kemampuan membran PIM dilakukan dalam beberapa variasi uji yaitu konsentrasi *plasticizer*, jenis garam, konsentrasi garam di fasa sumber, konsentrasi garam di fasa penerima, pemakaian membran PIM berulang, dan *lifetime* membran PIM. Konsentrasi fenol pada fasa penerima dan fasa sumber dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 456 nm dengan penambahan 4-aminoantipirin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fenol dapat tertranspor secara optimum pada penggunaan *plasticizer* sebesar 0,3132 g dan menggunakan senyawa pembawa *co-EEGDMA* 10% yaitu sebesar 91,54% dengan persentase *ML Loss* sebesar 21,31%. Banyaknya fenol yang tertranspor ke fasa penerima menggunakan membran dengan pemakaian satu kali, dua kali, tiga kali, dan empat kali adalah 91,50%; 71,12%; 63,32%; dan 44,95% dengan persentase membran yang hilang 20,45%; 9,09%; 6,02%; dan 2,81%. Tanpa penambahan garam  $\text{NaNO}_3$ , ketahanan membran hanya 24 hari tetapi dengan penambahan garam  $\text{NaNO}_3$  0,01 M ketahanannya meningkat menjadi 108 hari. Penambahan garam  $\text{NaNO}_3$  akan menambah kestabilan dan *lifetime* yang lebih lama.

Kata kunci : *co-EEGDMA*, fenol, ketahanan, membran, PIM

**STUDI STABILITAS DAN KEMAMPUAN TRANSPOR FENOL  
MENGUNAKAN *POLYMER INCLUSION MEMBRANE* (PIM) DENGAN  
*COPOLY-EUGENOL ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT (Co-EEGDMA)*  
SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA**

**Oleh**

**Gita Tifani**

**Skripsi**

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

**Pada**

**Jurusan Kimia**

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2019**

Judul Skripsi : **STUDI STABILITAS DAN KEMAMPUAN  
TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN  
POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM)  
DENGAN COPOLY-EUGENOL ETILEN  
GLIKOL DIMETAKRILAT (Co-EEGDMA)  
SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA**

Nama Mahasiswa : **Gita Tifani**

No. Pokok Mahasiswa : 1517011004

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.**  
NIP 19700705 200501 1 003

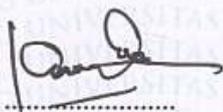
**Dr. Yuli Ambarwati, M.Si.**  
NIP 19740717 200812 2 003

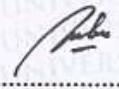
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

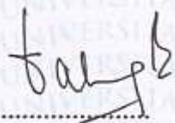
**Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T.**  
NIP 19740705 200003-1 001

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

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

Sekretaris : **Dr. Yuli Ambarwati, M.Si.** 

Penguji  
Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Tati Suhartati, M.S.** 

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Drs. Suratman, M.Sc.**  
NIP. 19640604 199003 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **06 November 2019**

**SURAT PERNYATAAN  
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Gita Tifani  
NPM : 1517011004  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya, bahwa skripsi saya berjudul :

“Studi Stabilitas dan Kemampuan Transpor Fenol Menggunakan *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) dengan *Copoly-Eugenol Etilen Glikol Dimetakrilat (Co-EEGDMA)* Sebagai Senyawa Pembawa”

Adalah benar karya sendiri dan saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, November 2019



(Gita Tifani)  
NPM. 1517011004

## RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Gita Tifani, lahir di Desa Ambarawa, Kecamatan Ambarawa, Kabupaten Pringsewu pada tanggal 06 Agustus 1997, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara yang merupakan putri dari pasangan Bapak Ridwan dan Ibu Warsiyah. Penulis mengawali jenjang pendidikan di SDN 2 Ambarawa pada tahun 2003 yang diselesaikan pada tahun 2009. Kemudian penulis melanjutkan sekolah menengah pertama di SMPN 1 Ambarawa pada tahun 2009-2012, dan sekolah menengah atas di SMAN 1 Ambarawa pada tahun 2012-2015.

Pada tahun 2015, penulis diterima di Jurusan S1 Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis mengikuti kegiatan organisasi Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) FMIPA Universitas Lampung sebagai Kader Muda Himaki (KAMI) periode 2015/2016, dan anggota biro kestari periode 2016/2017. Selain mengikuti organisasi, penulis juga pernah menjadi asisten Praktikum Kimia Analitik II tahun 2019 Jurusan Kimia dan Kimia Analitik Farmasi Jurusan Farmasi tahun 2019. Pada bulan Agustus 2018, penulis telah menyelesaikan Praktik Kerja lapangan (PKL) yang berjudul **“Sintesis Senyawa Pembawa *Copoly*-Eugenol Etilen Glikol Dimetakrilat (Co-EEGDMA) 8% dan Uji Kemampuan Membran PIM (*Polymer Inclusion Membrane*) Serta Logam Pb”** di Laboratorium Kimia

Analitik dan Instrumentasi FMIPA Universitas Lampung. Selain itu penulis juga pernah lolos pendanaan PKM-P dengan judul “**Sintesis Senyawa Pembawa Co-EEGDMA dan Aplikasinya Untuk Pemisahan Fenol Menggunakan Metode PIM**”. Penulis melaksanakan program Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 32 hari di Tiyuh Bujung Dewa, Kecamatan Pagar Dewa, Kabupaten Tulang Bawang Barat pada Juli-Agustus 2018.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*“Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi  
Maha Penyayang”*

*Atas rahmat Allah SWT  
Kupersembahkan karya ini sebagai wujud bakti dan tanggung  
jawab kepada :*

*Kedua orang tuaku,  
Bapak Ridwan dan Ibu Warsiyah yang telah menyayangi,  
merawat, mendidik, mengajarkan kebaikan, dan selalu  
mendo'akan keberhasilanku dalam setiap sujud.*

*Adik-adikku serta keluarga besarku yang selalu memberikan  
semangat dan do'a yang terbaik.*

*Pembimbing penelitianku :  
Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.  
Ibu Yuli Ambarwati, M.Si.  
Terimakasih atas ilmu, nasihat, dan kesabaran dalam  
membimbing selama ini.*

*Dosen Jurusan Kimia yang selalu membagi ilmunya untukku*

*Sahabat dan teman-temanku*

*Almamater Tercinta Universitas Lampung*



## MOTTO

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”  
(Al-Insyirah : 6)

“Lakukan yang terbaik, sehingga aku tak akan menyalahkan  
diriku sendiri atas segalanya”  
(Magdalena Neuner)

“Kau tak akan pernah mampu menyeberangi lautan sampai  
kau berani berpisah dengan daratan”  
(Christoper Colombus)



## SANWACANA

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Studi Stabilitas dan Kemampuan Transpor Fenol Menggunakan *Polymer Inclusion Membrane (PIM)* dengan *Copoly-Eugenol Etilen Glikol Dimetakrilat (Co-EEGDMA)* Sebagai Senyawa Pembawa”** sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Shalawat serta salam tak lupa penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan seluruh umatnya yang selalu taat mengikuti dan mengamalkan ajaran dan sunnahnya. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, bantuan, nasihat, motivasi, kritik, saran, keikhlasan, kesabaran, dan ilmu sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini dengan baik. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kemudahan dan membalas kebaikannya.
2. Ibu Dr. Yuli Ambarwati, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II dan Ibu Prof. Dr. Tati Suhartati, M.S., selaku Dosen Pembahas atas segala masukan, bimbingan, nasihat, dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.

3. Bapak Drs. Suratman, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan alam Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T., selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
5. Bapak Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung, terimakasih atas seluruh ilmu, pengalaman, dan motivasi yang diberikan selama perkuliahan. Semoga Allah SWT senantiasa membalasnya.
6. Bapak Ibu Guru dari SD, SMP, dan SMA yang telah banyak memberikan ilmu, pendidikan akhlak serta pengalaman kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan ini.
7. Kedua Orang tua yang sangat saya cintai, Bapak saya Ridwan dan Ibu saya Warsiyah yang selalu memberikan do'a dalam setiap sujud, dukungan, pendidikan, kesabaran, dan semangat setiap waktu. Terimakasih telah membesarkanku menjadi anak yang kuat dan sabar dalam segala urusan di dunia ini, semoga Allah SWT memberikan balasan yang terbaik atas apa yang kalian usahakan untukku selama ini.
8. Adik-adik saya, Lutfi Apriswana, M. Wahdan Ramadhani, dan Elsa Safitri yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada saya.
9. Sahabatku Siti Marfu'ah, S.Pd., yang sudah aku anggap menjadi keluargaku. Terimakasih sudah menemani perjuanganku dari SMA sampai kuliah ini. Terimakasih untuk support dan nasihat yang tak ada henti-hentinya selalu diberikan untukku. Terimakasih selalu setia menemani aku dalam suka maupun duka. Semoga Allah membalas semua kebaikan-kebaikanmu dan menjadi keberkahan untukmu.

10. Hastin Riska, Nana Maulina, Oktaviani, terimakasih sudah ikut andil memberi warna dihidup saya.
11. Para anggota 'Retceehh gileeee', Ariya Desti Sepriyani, S.Si., Rinda Harijuliatri, S.Si., Zuwita Wulandari, S.Si., Ayu Miranda Umar, S.Si., Rosyidatul Lutfiah, S.Si., sahabat yang menemani berjuang dari awal perkuliahan. Terimakasih atas segala kerecehan, kekocakan, kebersamaan, keceriaan, dan tempat berbagi cerita selama ini, semoga kalian di permudah dalam segala urusan.
12. *Partner* penelitianku Fatry Sinjia, Rulan Aprilia dan Fitri Sunarsih yang telah berjuang bersama-sama untuk menyelesaikan penelitian, selalu membantu, dan menyemangati penulis.
13. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi yang menemani penulis selama penelitian.
14. Keluarga Chem15try Universitas Lampung, terimakasih atas kebersamaan yang dilalui dalam kehidupan di kampus dari awal sampai sekarang.
15. Mak Darlina, Nicke, Mba Ily, Bayu, Yudi, teman seperjuangan selama 40 hari KKN di Tiyuh Bujung Dewa, Pagar Dewa, Tulang Bawang Barat.
16. Almamater tercinta Universitas Lampung.

Atas segala kebaikan yang telah diberikan, semoga Allah SWT membalasnya dengan pahala yang berlipat-lipat ganda. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan, namun penulis ini berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi rekan-rekan khususnya mahasiswa kimia dan pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, November 2019  
Penulis

Gita Tifani

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	4
C. Manfaat Penelitian .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
A. Fenol dan Penanggulangan Fenol .....	5
B. Eugenol .....	9
C. Senyawa Pembawa dan <i>Copoly</i> (Eugenol-EGDMA) .....	10
D. Metode Membran .....	13
E. Membran PIM .....	16
F. Mekanisme Transpor untuk Fenol .....	17
G. <i>Plasticizer</i> .....	19
H. Pengaruh garam pada transpor fenol.....	20
I. Karakterisasi.....	21
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	29
A. Waktu dan Tempat .....	29
B. Alat dan Bahan.....	29
C. Metode.....	30
1. Pembuatan Membran PIM.....	30
2. Pengaruh variasi konsentrasi <i>plasticizer</i> terhadap transpor fenol .....	31
3. Pengaruh variasi jenis garam terhadap transpor fenol.....	32
4. Pengaruh variasi konsentrasi garam terhadap transpor fenol .....	32
5. Pengaruh pemakaian membran PIM berulang terhadap transpor fenol .....	33

6. <i>Lifetime</i> membran PIM.....	33
7. Alat Transpor Fenol.....	34
8. Diagram Penelitian .....	35
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>39</b>
A. Membran PIM .....	39
B. Pengaruh Variasi Konsentrasi <i>Plasticizer</i> terhadap Transpor Fenol.....	43
C. Pengaruh Variasi Jenis Garam terhadap Transpor Fenol.....	48
D. Pengaruh Variasi Konsentrasi Garam terhadap Transpor Fenol.....	51
E. Pengaruh Pemakaian Membran PIM Berulang terhadap Transpor Fenol .....	57
F. <i>Lifetime</i> Membran PIM .....	59
<b>V. KESIMPULAN .....</b>	<b>65</b>
A. Kesimpulan .....	65
B. Saran.....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>67</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>75</b>
1. Perhitungan Pembuatan Larutan .....	76
2. Perhitungan kadar logam Na dan K pada garam.....	81
3. Pengaruh variasi konsentrasi <i>plasticizer</i> terhadap transpor fenol.....	84
4. Pengaruh variasi jenis garam terhadap transpor fenol .....	87
5. Pengaruh variasi konsentrasi garam terhadap transpor fenol.....	90
6. Pengaruh pemakaian membran PIM berulang terhadap transpor fenol .....	96
7. <i>Lifetime</i> membran PIM .....	99
8. Foto Penelitian .....	101

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Beberapa senyawa pembawa untuk transpor fenol .....	11
2. Komposisi membran .....	31
3. Perbandingan gugus fungsi PIM <i>co</i> -EEGDMA sebelum dan sesudah transpor .....	42
4. Kadar logam Na dan K dari beberapa garam (konsentrasi 0,001 M).....	50
5. <i>Lifetime</i> membran PIM .....	60

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Reaksi fenol dengan 4-aminoantipirin (Sousa <i>and</i> Trancoso, 2009) .....	8
2. Struktur Eugenol .....	9
3. Prediksi struktur senyawa pembawa <i>co</i> -EEGDMA (Kiswando, 2014).....	12
4. Membran cair (Pattilo, 1995) .....	15
5. Skema transpor fenol menggunakan membran cair (Kiswando, 2014) .....	19
6. Morfologi hasil SEM dari membran (Kiswando, 2014) .....	24
7. Skema alat spektrofotometer UV-Vis (Khopkar, 2003) .....	28
8. Alat transpor fenol.....	34
9. Pembuatan Membran PIM .....	35
10. Diagram penelitian .....	36
11. Membran PIM sebelum transpor.....	39
12. Hasil SEM <i>co</i> -EEGDMA; a. sebelum transpor perbesaran 500x; b. sesudah transpor variasi konsentrasi <i>plasticizer</i> 0,3132 g perbesaran 500x.....	40
13. Spektra FT-IR membran (a). sebelum dan (b). sesudah transpor .....	41
14 Grafik pengaruh <i>plasticizer</i> terhadap transpor fenol.....	43
15 Grafik pengaruh <i>plasticizer</i> terhadap ML Loss.....	46
16. Grafik pengaruh jenis garam terhadap transpor fenol.....	48
17. Grafik pengaruh variasi konsentrasi penambahan NaNO <sub>3</sub> di fasa sumber terhadap persentase fenol .....	52

18. Grafik pengaruh variasi konsentrasi penambahan $\text{NaNO}_3$ di fasa penerima terhadap persen fenol tertransporter .....	55
19 Pengaruh pemakaian membran berulang terhadap% fenol dan% <i>ML Loss</i> .....	58
20. Kurva <i>lifetime</i> membran PIM terhadap pH fasa sumber.....	61

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Perkembangan industri yang semakin pesat akan berdampak pada masalah pencemaran lingkungan, apabila penanganan limbahnya kurang memadai. Pencemaran air adalah salah satu pencemaran lingkungan yang dapat disebabkan oleh perkembangan industri. Tingkat pencemaran air akan sangat berdampak terhadap kelangsungan hidup manusia dan lingkungan terutama dalam pemanfaatan air bersih yang semakin lama semakin menurun kualitasnya sehingga perlu dilakukan penanganan yang lebih serius dalam pengolahannya.

Salah satu pencemaran air adalah limbah cair, seperti fenol yang dihasilkan dari kegiatan industri dan rumah sakit yang penanganannya kurang memadai. Fenol ( $C_6H_5OH$ ) adalah salah satu senyawa organik yang beracun, berbentuk kristal tak berwarna, serta memiliki bau yang khas. Fenol banyak ditemukan dalam limbah industri kertas, tekstil, plastik, nilon, insektisida, herbisida, antiseptik, dan pengawet kayu. Fenol juga ditemukan pada tar batubara dan beberapa proses produksi minyak bumi. Konsentrasi fenol dalam limbah industri berkisar antara 100-1000 mg/L (Stanisavljevic and Nidic, 2004). Limbah fenol tergolong berbahaya, bersifat racun, dan korosif. Pada konsentrasi rendah (5-25 mg/L), limbah fenol dapat mengakibatkan kerusakan hati, ginjal, penurunan tekanan

darah, pelemahan detak jantung hingga kematian (Alva *and* Peyton, 2003). Konsentrasi fenol di lingkungan yang masih diperbolehkan berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51/MENLH/10/1995 dan Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002 berkisar 0,5–1 mg/L (Slamet dkk., 2006).

Pengolahan limbah fenol perlu dilakukan dengan metode yang lebih praktis, biaya murah, dan cepat. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan pemisahan dan pemulihan fenol adalah teknologi membran. Membran memiliki keunggulan dari segi teknik, ekonomi, dan energi (Gherrou *et al.*, 2001). Teknologi pemisahan berbasis membran cair pada saat ini semakin banyak menarik perhatian para peneliti. Hal ini dikarenakan teknologi ini mempunyai spektrum pemisahan yang luas, selektif, dan mudah dilakukan. Keunggulan tersebut dikarenakan dalam pemisahan dengan membran tidak membutuhkan zat kimia tambahan dan juga kebutuhan energinya sangat minimum, sederhana, praktis, serta mudah dilakukan sehingga akan berkembang di masa yang akan datang dan diminati oleh banyak peneliti.

Membran PIM dapat dibuat dengan menggunakan dibenzileter (DBE) sebagai *plasticizer*, polivinil klorida (PVC) sebagai membran pendukung untuk pembentuk membran, dan *co*-EEGDMA sebagai senyawa pembawa. Senyawa pembawa *co*-EEGDMA disintesis melalui kopolimerisasi eugenol dengan EGDMA yang dapat meningkatkan sisi aktif dari polimer sehingga menyebabkan

berat molekul semakin tinggi dan dapat meningkatkan transpor fenol (Kiswandono *et al.*, 2012).

Hakim (2018) telah melakukan penelitian mengenai transpor fenol menggunakan membran PIM dengan *co*-EEGDMA (*copoly*-Eugenol Etilen Glikol Dimetakrilat) sebagai senyawa pembawa. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa fenol mampu tertranspor dengan menggunakan membran PIM. Transpor fenol mencapai nilai optimum pada pH fasa sumber 5,5 dan konsentrasi larutan NaOH fasa penerima 0,5 M. Membran PIM yang dibuat memiliki waktu optimum untuk mentranspor fenol selama 48 jam.

Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian ini akan dipelajari stabilitas dan kemampuan transpor fenol menggunakan membran PIM (*Polymer Inclusion Membrane*) dengan *co*-EEGDMA sebagai senyawa pembawa meliputi variasi konsentrasi *plasticizer* yang optimum, variasi garam, variasi konsentrasi garam yang optimum, pemakaian membran PIM berulang, dan *lifetime* membran. Diharapkan pada penggunaan membran PIM ini, transpor fenol berjalan dengan efektif dan membran memiliki kestabilan yang baik dalam mentranspor fenol.

## B. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Membuat *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) dengan polimer sambung silang *co-EEGDMA* sebagai senyawa pembawa.
2. Menguji stabilitas membran PIM pada transpor fenol menggunakan metode PIM dengan variasi konsentrasi *plasticizer* serta variasi konsentrasi dan jenis garam.
3. Menguji ketahanan membran pada transpor fenol menggunakan metode PIM meliputi pemakaian berulang dan *lifetime* membran.

## C. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:.

1. Memberikan informasi baru dalam pemanfaatan polimer *co-EEGDMA* dalam bidang analisis kimia serta meningkatkan nilai ekonomis dari eugenol.
2. Memberikan upaya pengurangan polutan fenol di lingkungan perairan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Fenol dan Penanggulangan Fenol

Fenol merupakan kristal berwarna putih yang mempunyai titik leleh 40,85 °C dan titik didih 182 °C. Fenol larut dalam air pada temperatur kamar. Setiap 1 gram fenol larut dalam 15 mL air, larut dalam 12 mL benzena, sangat larut dalam alkohol, kloroform, eter, gliserol, dan karbon disulfida. Fenol merupakan asam lemah dengan pKa 9,98 (Cichy *and* Szymanowski, 2002). Fenol (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH) merupakan monohidroksida turunan benzen dan bersifat anionik di dalam larutan air.

Keberadaan fenol dalam air dapat menyebabkan pencemaran, jika dikonsumsi fenol dapat terakumulasi dan bersifat racun. Konsentrasi standar maksimal yang ditetapkan oleh Departemen Kesehatan RI untuk fenol adalah 0,001 mg/L (Rahmi, 2007).

Penggunaan fenol sebagai bahan baku pada skala rumah tangga digunakan pada zat pembersih, *deodorant*, dan desinfektan. Pada skala laboratorium, fenol dapat digunakan sebagai bahan dasar untuk sintesis C-metil-4,10,16,22 tetrametoksikaliks(4)arena dengan menggunakan BF<sub>3</sub>-metanol sebagai katalis (Jumina *et al.*, 2005), sedangkan pada skala industri fenol digunakan untuk pembuatan resin fenolik seperti resin fenol-formaldehid (Strečková *et al.*, 2012). Fenol sebagian besar digunakan untuk pembuatan resin fenolik seperti resin

fenolformaldehid. Resin ini digunakan untuk bahan perekat di industri *polywood*, industri konstruksi, dan otomotif. Fenol juga digunakan dalam perusahaan herbisida, kresol, anilin, dan alkilfenol, dalam farmasi obat, seperti salep, antiseptik, lotion, obat kumur, obat batuk, analgesik gosok, serta beberapa industri lainnya (Kiswandono, 2016).

Fenol merupakan bahan utama dalam industri petrokimia, farmasi, plastik, dan pestisida. Total kapasitas produksi global fenol yang dibutuhkan pada tahun 2001 mencapai 7,8 juta ton (Kujawski *et al.*, 2004). Pengambilan kembali (*recovery*) fenol dari limbah industri dirasa cukup efektif memenuhi peningkatan kebutuhan akan proses baru dan ekonomis sehingga hal ini menjadi perhatian beberapa peneliti. Penanganan terhadap limbah fenol telah banyak dilakukan oleh para peneliti dan metode yang digunakan pun berbeda-beda. Slamet dkk (2006) telah melakukan pengolahan fenol secara simultan dengan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO-TiO}_2$  dan  $\text{CdS-TiO}_2$ . Suhandi *et al.* (2006) melakukan biodegradasi fenol menggunakan bakteri yang dapat hidup pada medium dengan hidrokarbon sebagai satu-satunya sumber karbon. Rahmi (2007) melakukan adsorpsi fenol pada membran komposit khitosan berikatan silang sebagai alternatif dalam menangani permasalahan limbah fenol.

Karabacakoğlu *et al.* (2008) menggunakan karbon aktif dari kayu hazelnut untuk adsorpsi fenol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi Langmuir sebesar 97,36; 91,32; dan 99,27 mg/g pada temperatur 25,35 dan 45 °C. Hameed *and* Rahman (2008) telah melakukan penghilangan fenol dari perairan dengan

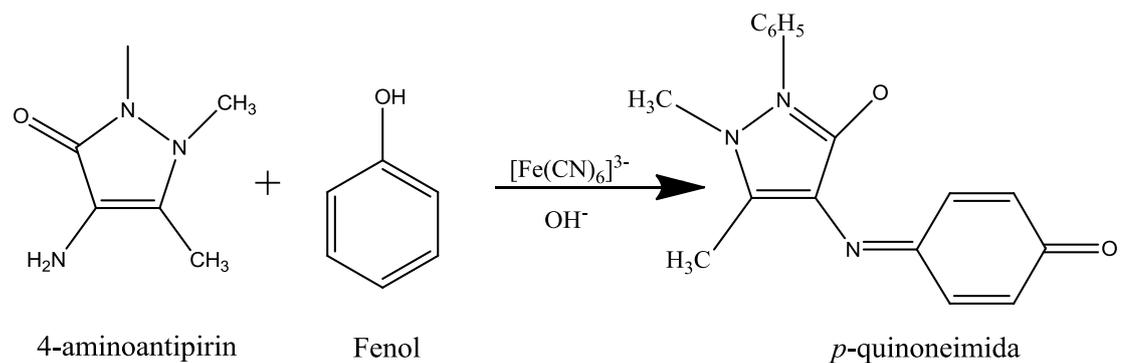
menggunakan karbon teraktivasi. Hasilnya menunjukkan bahwa kapasitas maksimum adsorpsi sebesar 149,25 mg/g. Penggunaan bentonit termodifikasi sebagai adsorben dalam adsorpsi fenol dari perairan juga dilakukan oleh Senturk *et al.* (2009). Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorben tersebut mampu mengadsorpsi fenol secara eksotermik dan spontan pada kisaran temperatur 0-40 °C.

Kelemahan dari metode adsorpsi adalah diperlukannya regenerasi adsorben ketika sudah jenuh dengan senyawa organik. Polutan organik yang telah diadsorpsi tetap berbahaya karena tidak dapat didegradasi menjadi senyawa lain yang tidak berbahaya seperti CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O, sehingga akan dihasilkan limbah kembali (Slamet dkk., 2006). Selain metode adsorpsi, metode penanganan fenol dapat dilakukan dengan menggunakan metode ekstraksi. Ekstraksi fenol dari perairan dengan menggunakan N-oktanoilpirolidin telah dilakukan oleh Li *et al.* (2004). Hasil penelitian menunjukkan bahwa N-oktanoilpirolidin dalam kerosen sulfonat pada kondisi asam mampu mengekstrak fenol secara efektif.

Mozhdehvari *et al.* (2009) telah melakukan penghilangan fenol dari air dengan teknik ozon dan ozonasi dikatalisis dengan TiO<sub>2</sub> pada interval pH 3-9,5 kemudian dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis dan HPLC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ozonasi katalitis lebih efektif daripada katalitis sederhana dengan efek terbaik pada pH 6. Metode yang telah digunakan tersebut memiliki kelemahan diantaranya biaya operasional tinggi, pembentukan produk samping yang berbahaya, dan efisiensi yang rendah (Stanisavljevic and Nedic, 2004). Oleh

karena itu ditawarkan sebuah alternatif dalam menangani limbah fenol yaitu menggunakan teknologi membran.

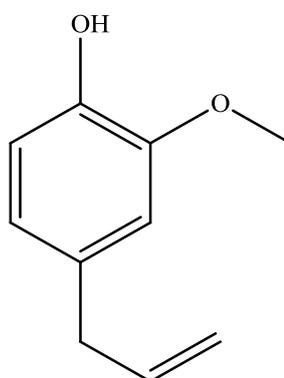
Senyawa fenol memiliki kecenderungan untuk melepaskan ion  $H^+$  dengan penambahan basa kuat seperti NaOH menjadi ion fenolat ( $C_6H_5O^-$ ) yang larut dalam air. Keberadaan fenol dalam bentuk molekularnya dan fenolat dipengaruhi oleh pH larutan. Pada kondisi asam, fenol akan berada dalam bentuk molekular, sedangkan pada kondisi basa, fenol akan berada dalam bentuk fenolat ( $C_6H_5O^-$ ) (Xu *et al.*, 2008). Pada dasarnya, semua fenol dalam air akan bereaksi dengan 4-aminoantipirin dalam suasana kalium ferri sianida ( $K_3Fe(CN)_6$ ) akan membentuk warna merah kecoklatan dari antipirin. Warna yang terbentuk kemudian diekstrak ke dalam kloroform dan diukur pada panjang gelombang maksimum 460 nm. Konsentrasi senyawa fenol dalam sampel dinyatakan dalam mg/L (SNI 06-6989. 21-2004).



Gambar 1. Reaksi fenol dengan 4-aminoantipirin (Sousa *and* Trancoso, 2009)

## B. Eugenol

Eugenol merupakan salah satu komponen kimia dalam minyak daun cengkeh yang dihasilkan melalui destilasi uap. Considine *and* Considine (1982) menyatakan bahwa eugenol murni merupakan cairan tidak berwarna, berbau keras, dan mempunyai rasa pedas. Kandungan eugenol dalam daun cengkeh adalah 80-85% (Sastrohamidjojo, 2002). Eugenol bersifat larut dalam alkohol, kloroform, dan eter. Rumus molekul eugenol adalah  $C_{10}H_{12}O_2$  dengan berat molekul sebesar 164,2 g/mol dan titik didih  $253^{\circ}C$  (Ketaren, 1985). Eugenol dapat dijadikan bahan awal sintesis polimer karena memiliki tiga gugus fungsional yaitu gugus alil, eter, dan hidroksi (Anwar, 1994). Struktur eugenol terlihat dalam gambar berikut.



Gambar 2. Struktur Eugenol

Polimerisasi dengan bahan baku senyawa alam seperti eugenol merupakan suatu hal yang relatif baru dilakukan, maka pengembangan dan pemanfaatan monomer eugenol semakin diperluas. Eugenol dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam sintesis polieugenol yang dapat digunakan sebagai *carrier* dalam transpor membran cair. Syarat polimer yang dapat digunakan sebagai

*carrier* pada fasa membran yaitu mempunyai berat molekul yang tinggi serta memiliki struktur yang memungkinkan terjadinya interaksi dengan senyawa yang akan ditranspor (Walkowiak *et al.*, 2002).

### **C. Senyawa Pembawa dan *Copoly* (Eugenol-EGDMA)**

Senyawa pembawa mempunyai peranan yang sangat penting dalam membran tiruan ataupun membran biologi yang selektif untuk kation, anion, molekul organik, ataupun molekul anorganik (Cleij *et al.*, 1997). Senyawa pembawa yang sangat efisien dan menunjukkan selektivitas yang tinggi dalam mengekstraksi ion-ion logam transisi dari fasa air ke fasa organik dapat memberikan transpor yang rendah atau sebaliknya ligan yang mempunyai kemampuan ekstraksi rendah tetapi kemampuan transpor tinggi (Hiratani *et al.*, 1992).

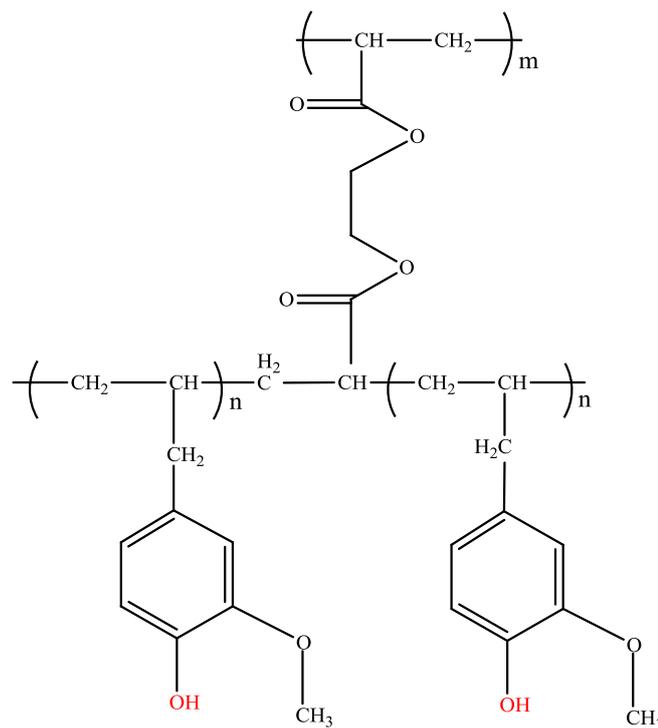
Tabel 1. Beberapa senyawa pembawa untuk transpor fenol

Jenis senyawa pembawa (ekstraktan)	Metodes	Referensi
Span 80, soltrol, poliisobutilena (PIB)	ELM	Park <i>et al.</i> (2006)
<i>Vegetable oil</i> (minyak sayur)	SLM	Venkateswaran and Palanivelu (2006)
Cyanex 923	ELM	Reis <i>et al.</i> (2007)
Tributil posfat	SLM	Huidong <i>et al.</i> (2009)
Tributil posfat dan minyak wijen	SLM	Kazemi <i>et al.</i> (2014)
Polyeugenol	PIM	Kiswandono (2010)
Copoly(eugenol-DVB)	PIM	Kiswandono <i>et al.</i> (2012)
	PIM	Kiswandono <i>et al.</i> (2013)
	PIM	Kiswandono <i>et al.</i> (2014)

Kopolimer merupakan dua macam atau lebih monomer yang kemudian membentuk polimer yang mengandung lebih dari satu macam kesatuan struktur. Modifikasi polimer telah banyak dilakukan oleh peneliti untuk meningkatkan sifat dari polimer dasarnya. Modifikasi secara kimia merupakan suatu pendekatan yang efektif untuk meningkatkan sifat polimer sesuai dengan kebutuhan akan pemanfaatan polimer tersebut (Setyowati, 1998).

Kopolimerisasi ionik (anionik dan kationik) bersifat selektif yaitu kopolimerisasi anionik untuk monomer penarik elektron dan sebaliknya kopolimerisasi kationik untuk monomer pemberi elektron. Kopolimerisasi eugenol dengan EGDMA

merupakan reaksi polimerisasi adisi kationik karena gugus vinil dari polieugenol mengalami reaksi adisi. Kopolimerisasi eugenol ini dapat meningkatkan jumlah sisi aktif pada polimer yakni cincin benzena dan gugus hidroksi sehingga menyebabkan berat molekul semakin tinggi sehingga dapat meningkatkan transpor. Polimerisasi eugenol tersambung silang EGDMA mengikuti prosedur atau metode yang telah dilakukan oleh Kiswandono *et al.* (2012), yakni eugenol dan EGDMA dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer, kemudian ditambahkan katalis  $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  dan diaduk dengan pengaduk magnet. Adanya reaksi ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi merah.



Gambar 3. Prediksi struktur senyawa pembawa *co*-EEGDMA (Kiswandono, 2014)

#### D. Metode Membran

Membran adalah sebuah lapisan semi permeabel yang tipis dan berfungsi sebagai penghalang di antara dua fasa. Jika senyawa dari campuran berpindah melewati membran lebih cepat dari campuran senyawa lainnya, maka dengan penggunaan membran ini akan menyempurnakan sebuah proses pemisahan (Kislik, 2010).

Penggunaan membran sebagai suatu teknologi pemisahan mempunyai keunggulan dibandingkan dengan teknologi pemisahan lainnya. Keuntungan yang dimiliki yaitu energi yang digunakan cukup rendah sehingga ekonomis, karena pemisahan menggunakan membran tidak melibatkan perubahan fasa.

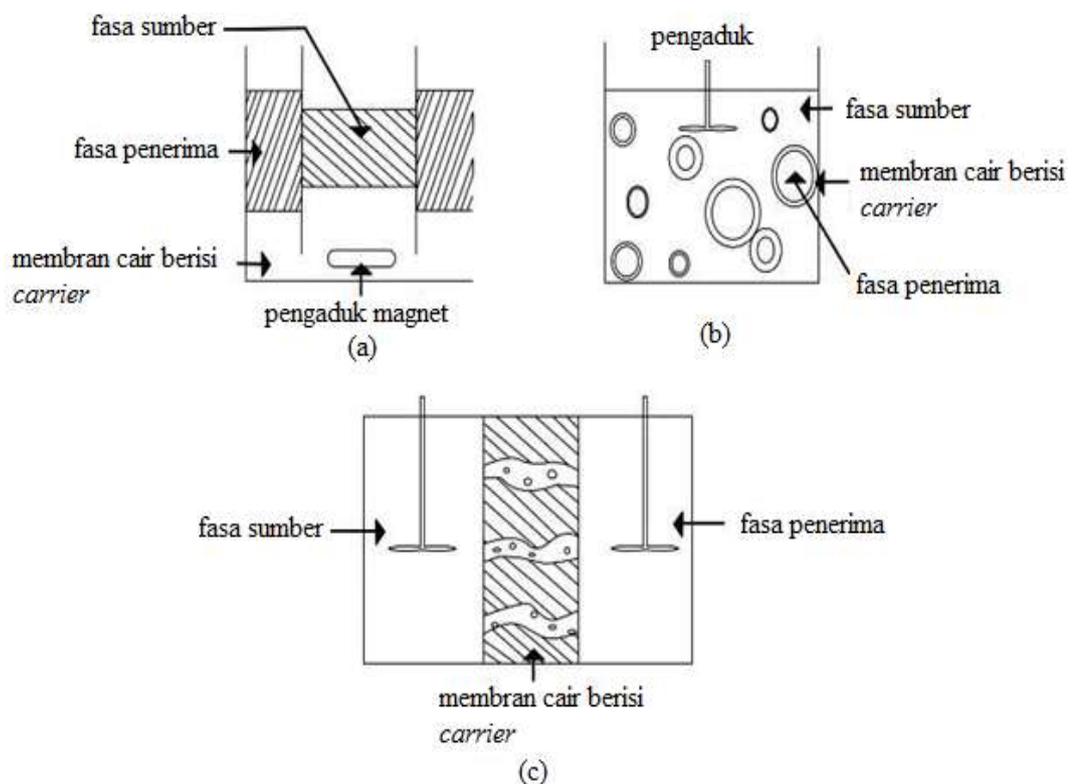
Membran merupakan suatu lapisan tipis antara dua fasa fluida yang bersifat sebagai penghalang terhadap spesi tertentu dan membatasi transpor dari berbagai spesi berdasarkan sifat fisik dan kimianya (Pratomo, 2003). Membran memiliki berbagai jenis dan fungsi. Teknologi membran bersifat efisien, sederhana, memiliki selektifitas yang tinggi serta aman bagi lingkungan. Membran dapat digunakan dalam proses pemisahan dan penghilangan senyawa organik serta pemulihan ion logam (Shipra, 2009).

Mulder (1996) menuliskan bahwa membran cair merupakan salah satu dari teknologi membran, yakni lapisan semipermeabel yang tipis dan dapat digunakan untuk memisahkan dua komponen dengan cara menahan dan melewatkan komponen tertentu. Prinsip pemisahan membran cair ditentukan oleh sifat molekul pembawa spesifik. Senyawa pembawa (*carrier*) berada tetap di dalam membran dan dapat bergerak jika dilarutkan dalam cairan. Senyawa pembawa

juga harus menunjukkan aktivitas yang spesifik terhadap satu komponen pada fasa sumber sehingga diperoleh selektivitas yang tinggi. Selain itu, *permiselectivity* komponen sangat tergantung pada spesifikasi bahan pembawa tersebut. Membran cair terdiri dari cairan yang berperan sebagai penghalang semipermeabel dan tidak bercampur dengan fasa sumber maupun fasa penerima (Bartsch *and* Way, 1996). Membran cair terbagi menjadi tiga, yaitu membran cair ruah (*Bulk Liquid Membranes*, BLM), membran cair emulsi (*Emulsion Liquid Membranes*, ELM) dan membran cair berpendukung (*Supported Liquid Membranes*, SLM). Membran cair ruah (*Bulk Liquid Membranes*, BLM) terdiri dari sejumlah besar (*bulk*) fasa sumber dan fasa penerima yang dipisahkan oleh sejumlah besar pelarut organik yang tidak bercampur dengan air. Biasanya BLM dipisahkan tanpa pendukung mikropori, sehingga disebut sebagai lapisan BLM (Kislik, 2010). Namun, BLM memiliki luas permukaan yang kecil, sehingga penggunaannya terbatas pada kajian transpor dalam skala laboratorium (Li, 1968).

Membran cair emulsi (*Emulsion Liquid Membranes*, ELM) ditemukan pertama kali oleh Li pada tahun 1968. Pada ELM, fasa penerima diemulsikan dalam cair, kemudian membran cair terdispersi ke dalam fasa sumber dan terjadi transfer massa dari sumber ke fasa penerima. Membran cair biasanya berupa emulsi seperti air dalam minyak (Kislik, 2010). *Carrier* emulsi dalam ELM tidak stabil, sehingga dapat merusak pemisahan (Li, 1968). Kekurangan metode BLM dan ELM dapat diatasi dengan menggunakan metode SLM. Membran cair berpendukung (*Supported Liquid Membranes*, SLM) terdiri dari pelarut organik hidrofobik yang diimobilisasi dalam pori polimer pendukung yang memisahkan

fasa sumber dan fasa penerima. SLM juga dapat dibuat dari imobilisasi fasa membran diantara dua lapisan nonpori yang bersifat *permeable* untuk transpor suatu senyawa (Kislik, 2010). Pada transpor solut dengan metode SLM, cairan organik berada di dalam pori-pori kecil suatu polimer pendukung. Jika cairan organik tersebut tidak bercampur dengan fasa sumber dan fasa penerima, maka SLM dapat digunakan sebagai penghalang fasa sumber dan fasa penerima (Koecherginsky *et al.*, 2007). SLM sangat efektif dalam proses pemisahan dan pemurnian pada skala industri maupun laboratorium (Yaftian *et al.*, 1998). SLM juga memiliki selektivitas yang baik, karena menggunakan sedikit ekstrak dan konsumsi energinya rendah (Mohapatra *and* Manchanda, 2003). Gambar 4 menunjukkan bahwa (a) BLM, (b) ELM, (c) SLM.



Gambar 4. Membran cair (Pattilo, 1995)

Metode transpor fenol dengan membran telah dilakukan oleh Venkateswaran *and* Palanivelu (2006) menggunakan metode membran cair berpendukung (SLM) dengan menggunakan minyak sayur sebagai molekul pembawa. Metode tersebut masih memiliki kekurangan dalam hal kestabilan membran. Kim *et al.* (2002) melaporkan PIM merupakan salah satu pengembangan metode *Supported Liquid Membranes* (SLM) yang memiliki kestabilan membran yang lebih baik dibandingkan SLM maupun *Bulk Liquid Membrane* (BLM). PIM terdiri dari polimer pendukung, molekul pembawa dan *plasticizer* (Kislik, 2010). PIM mampu meningkatkan kestabilan dibandingkan SLM karena dua hal, yaitu adanya polimer dasar (PVC) yang diharapkan dapat mengatasi kebocoran pembawa dan *plasticizer* yang berfungsi membuat sistem membran lebih stabil (Kiswandono, 2010).

### **E. Membran PIM**

*Polymer Inclusion Membrane* (PIM) melibatkan transpor selektif dan menargetkan zat terlarut (senyawa target) dari satu larutan melalui membran yang memisahkan antara fasa sumber dan fasa penerima. Membran PIM terdiri dari polimer pendukung, molekul pembawa, dan *plasticizer*. Pemakaian PVC pada membran akan menstabilkan membran dengan cara menahan molekul pembawa agar tetap berada pada membran. Modifikasi menggunakan PVC untuk pembentukan gel merupakan keuntungan dari metode PIM (Kislik, 2010).

Pembuatan membran pada metode PIM menggunakan larutan yang mengandung senyawa pembawa atau ekstrak, pemlastis, dan polimer dasar seperti selulosa

triasetat (CTA) atau PVC membentuk lapisan yang tipis, stabil, dan fleksibel. Hasilnya adalah membran *self-supporting* yang dapat digunakan untuk memisahkan larutan yang diinginkan dengan cara yang mirip dengan SLM (Nghiem *et al.*, 2006). Walaupun membran PIM memiliki permeabilitas dan selektivitas yang rendah tetapi tetap memiliki stabilitas yang lebih baik dan memadai atas berbagai jenis membran cair, termasuk pada membran SLM sehingga metode ini berpotensi dan dapat diaplikasikan secara praktis di lapangan

PIM dianggap mampu meningkatkan kestabilan dari metode SLM karena dua hal, yaitu polimer dasar (PVC) yang diharapkan dapat mengatasi kebocoran *carrier*, dan *plasticizer* yang berfungsi untuk membuat sistem membran lebih stabil. Oleh karena hal tersebut, PIM diharapkan mempunyai potensi lebih baik untuk pemisahan skala industri dibandingkan tipe membran cair lainnya. Penelitian menggunakan metode PIM telah dilakukan oleh Kozlowski (2006) dan Pont *et al.* (2008). Kozlowski (2006) menggunakan PIM untuk transpor ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II). Hasilnya metode PIM efektif untuk mentranspor ion logam. Pont *et al.* (2008) menggunakan PIM untuk transpor selektif dan penghilangan Cd dan larutan klorida. Pont *et al.* (2008) melaporkan bahwa PIM terbukti efektif untuk transpor Cd baik dalam media garam maupun asam.

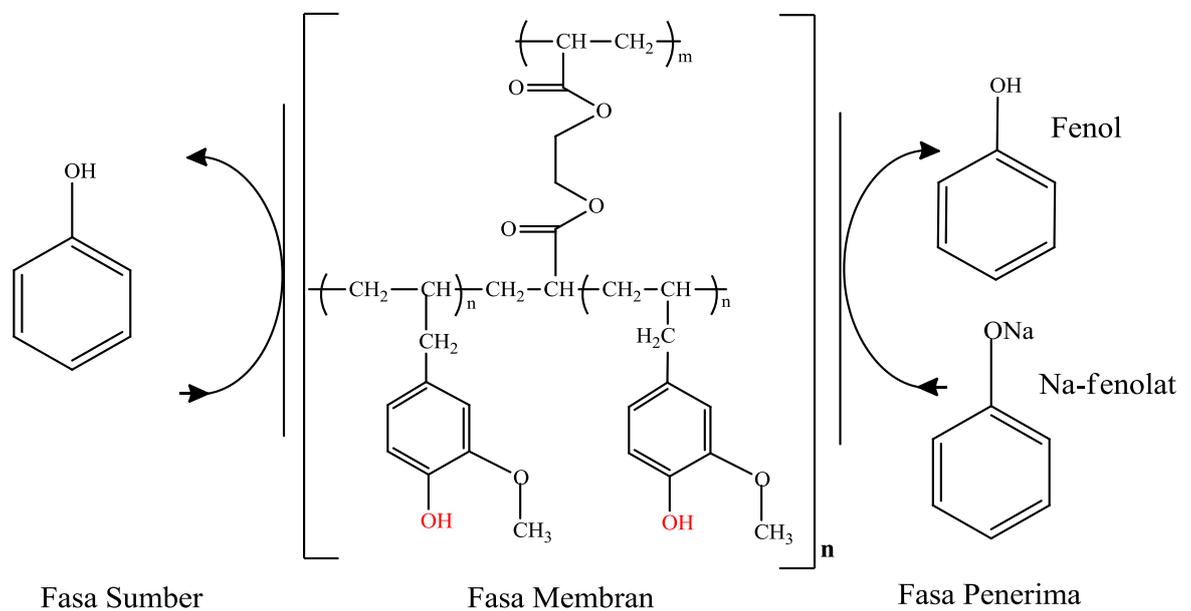
#### **F. Mekanisme Transpor untuk Fenol**

Suatu transpor melalui membran merupakan proses difusi antara fasa sumber, membran, dan fasa penerima. Mekanisme transpor berlangsung dalam empat tahap yaitu:

1. Pada fasa sumber-antar muka, senyawa pembawa membentuk kompleks netral dengan kation.
2. Pasangan ion berdifusi melewati membran.
3. Reaksi pertukaran kation dan pelepasan kation ke fasa penerima.
4. Kompleks senyawa pembawa dengan ion lawan yang tertransport berdifusi balik melewati membran.

Transport solut melalui membran terjadi melalui suatu mekanisme yang berkelanjutan dengan melibatkan pembentukan kompleks solut di fasa sumber dengan membran dan pelepasan pada fasa penerima. Terdapat 3 langkah utama yang menggambarkan karakteristik transport senyawa target dari sumber ke penerima. Pada tahap pertama, senyawa target berdifusi melalui lapisan cair di fasa antarmuka sumber atau membran, kemudian berikatan dengan membran *carrier* pada fasa antarmuka untuk membentuk kompleks dan ditranspor melalui antarmuka. Pada tahap ke dua, kompleks berdifusi melalui membran menuju ke fasa penerima. Ditahap ketiga, pada fasa antarmuka membran atau fasa penerima, kompleks terdisosiasi dan senyawa target dilepaskan ke fasa penerima. Di fasa penerima yang telah ditambahkan *stripping agent*, senyawa target kemudian ditarik oleh kation untuk membentuk senyawa turunannya. Pembentukan senyawa turunan ini mencegah transport balik senyawa target. *Stripping agent* bekerja mengkonversi solut menjadi senyawa turunannya dan menjebak senyawa tersebut dalam fasa penerima sehingga tidak kembali ke fasa kontinu (Mortaheb *et al.*, 2008).

Transpor pada membran terjadi akibat adanya perbedaan konsentrasi *solute* di fasa sumber dan penerima sebagai daya dorong atau daya penggerak, sehingga *solute* pada fasa sumber akan tertranspor ke fasa membran dan berinteraksi dengan *carrier*, kemudian menuju ke fasa penerima (Nghiem *et al.*, 2006). 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 (Kiswandono, 2010). Gambar 5 menjelaskan mekanisme transpor dengan membran.



Gambar 5. Skema transpor fenol menggunakan membran cair (Kiswandono, 2014)

### G. Plasticizer

Pada pembuatan membran, *plasticizer* sering digunakan untuk meningkatkan fleksibilitas membran. Peran dari *plasticizer* adalah untuk menembus antar molekul polimer, menetralkan senyawa polar dari polimer dengan senyawa polar dari *plasticizer* itu sendiri, untuk meningkatkan jarak antara molekul polimer dan

mengurangi kekuatan gaya antarmolekul. Sebagian besar *plasticizer* banyak tersedia secara komersial. Beberapa di antaranya telah diuji dalam aplikasi pembuatan membran PIM. 2-nitrofenil oktil eter (2-NPOE) dan 2-nitrofenil pentil eter (2-NPPE) adalah salah satu contoh *plasticizer* yang sudah digunakan dalam pembuatan membran PIM dan terbukti berhasil digunakan sebagai *plasticizer* dalam pembuatan membran PIM. *Plasticizer* umumnya adalah senyawa organik yang mengandung gugus alkil hidrofobik dengan satu atau beberapa senyawa polar yang sangat *solvating*.

*Plasticizer* dengan konsentrasi yang rendah dapat menyebabkan membran menjadi lebih kaku dan rapuh akibat fenomena yang biasa disebut sebagai efek “anti-*plasticizing*”. Konsentrasi *plasticizer* minimum bervariasi tergantung pada kedua *plasticizer* dan polimer dasar. Untuk PVC, konsentrasi ini dapat berada dalam jangkauan hingga 20% (b/b). Konsentrasi *plasticizer* yang berlebihan bermasalah karena kelebihan *plasticizer* itu bisa bermigrasi atau memancarkan ke antarmuka membran atau air dan membentuk film pada permukaan membran, yang akan menciptakan penghalang tambahan untuk transpor pada membran. *Plasticizer* yang berlebihan secara signifikan dapat mengurangi kekuatan mekanik pada film tipis, sehingga tidak dapat digunakan dalam situasi praktis (Nghiem *et al.*, 2006).

#### **H. Pengaruh garam pada transpor fenol**

Happy (2012) menyatakan bahwa penambahan garam yang memiliki kekuatan ionik memiliki efek pada kestabilan membran PIM. Hasil menunjukkan bahwa

semakin besar konsentrasi  $\text{NaNO}_3$  yang ditambahkan semakin rendah persen konsentrasi fenol yang tertransportasi ke fasa pelucutnya.  $\text{NaNO}_3$  merupakan garam dengan kelarutan yang tinggi, keadaan tersebut memberikan dampak persaingan antara  $\text{NaNO}_3$  dengan zat utama dalam mengikat air. Konsentrasi  $\text{NaNO}_3$  yang semakin besar, menyebabkan kekuatan ionik  $\text{NaNO}_3$  semakin kuat sehingga garam lebih dapat mengikat molekul air. Hal ini menyebabkan penurunan kelarutan fenol dan  $\text{NaOH}$  dalam air. Menurunnya kelarutan zat utama ini mengurangi kemampuan transport fenol ke fasa penerima. Peristiwa penurunan kelarutan zat utama dalam pelarut akibat penambahan garam dikenal dengan *salting out*. Pengaruh kekuatan ionik akan semakin besar seiring bertambahnya konsentrasi  $\text{NaNO}_3$  yang ditambahkan, mempengaruhi *ML loss* membran. Hasil menunjukkan dengan adanya garam secara nyata mengurangi *ML loss*. Membran PIM semakin stabil dengan bertambahnya konsentrasi  $\text{NaNO}_3$ , yang dinyatakan dengan *ML loss* semakin kecil. Semakin besar kekuatan ionik akan menghambat terbentuknya emulsi.

## **I. Karakterisasi**

Pada penelitian ini, membran PIM dikarakterisasi dengan SEM dan FT-IR serta hasil transport fenol dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis.

### **1. Scanning Electron Microscope (SEM)**

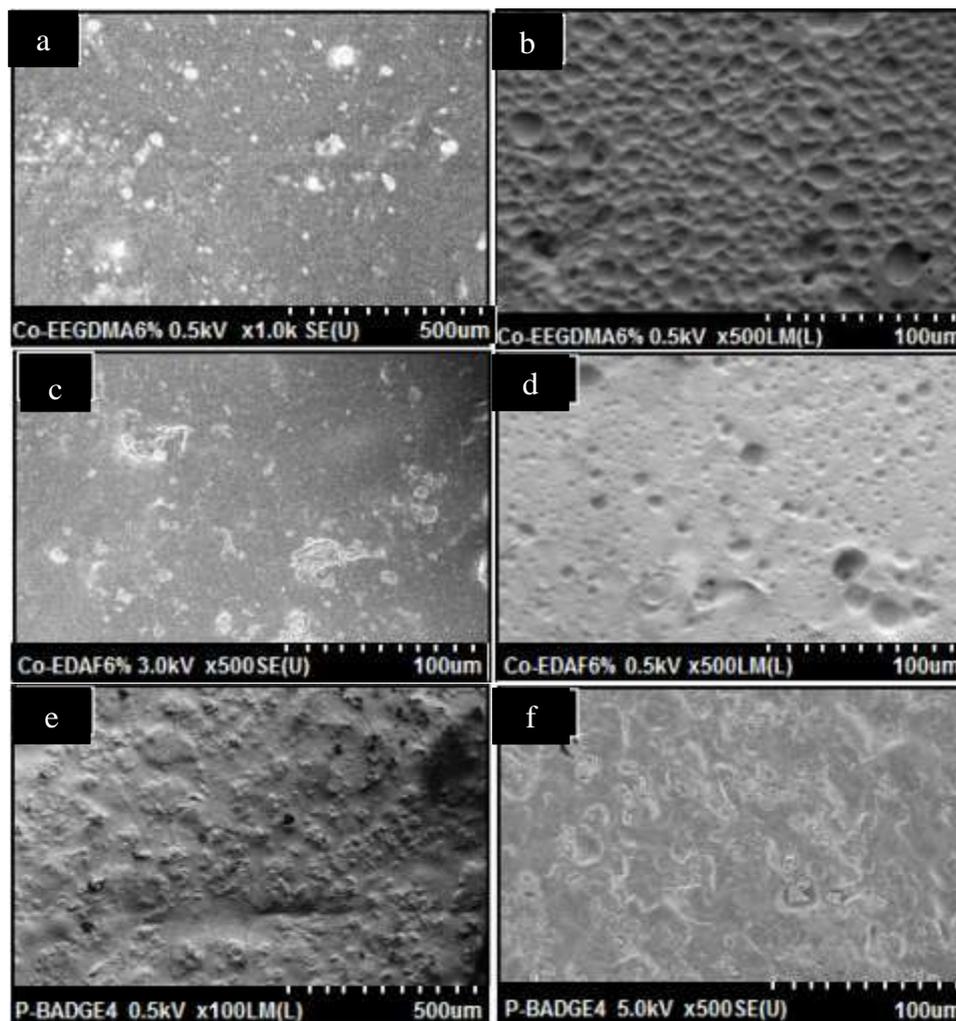
Metode analisis yang sangat penting dalam karakterisasi morfologi polimer adalah metode analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). SEM

adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang berfungsi untuk analisis morfologi atau menggambarkan permukaan suatu objek atau material dengan perbesaran 10-3. 000. 000 kali, kedalaman medan (*depth of field*) 4–0,4 mm, dan resolusi sebesar 110 nm. SEM memiliki prinsip memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) dipermukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan cara mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek. SEM dilengkapi dengan mikroskop optik yang digunakan untuk mempelajari tekstur, topografi, dan sifat permukaan bubuk atau padatan dan karena ketajaman fokus dari alat SEM sehingga gambar yang dihasilkan memiliki kualitas tiga dimensi.

Prinsip analisis SEM adalah dengan menggunakan alat sinyal elektron sekunder. Berkas elektron diarahkan pada suatu permukaan spesimen yang telah dilapisi oleh suatu film konduktor. Pelapisan ini bertujuan agar polimer yang digunakan dapat menghasilkan arus listrik sehingga dapat berinteraksi dengan berkas elektron. Berkas elektron yang berinteraksi dengan spesimen dikumpulkan sehingga menghasilkan sinyal untuk mengatur intensitas elektron pada suatu tabung televisi yang diarahkan serentak dengan sinar dari mikroskop. Interaksi berkas elektron dengan spesimen akan menghasilkan pola difraksi elektron yang dapat memberikan informasi mengenai monografi ataupun topografi permukaan serta jenis unsur dan distribusinya (Wu *et al.*, 2007).

Gambar 6 menunjukkan morfologi hasil SEM dari membran (a) Co-EEGDMA 6% sebelum transpor, (b) setelah transpor 24 jam, (c) Co-EDAF 6% sebelum transpor, (d) setelah transpor 24 jam, (e) Poli-BADGE 4:1 sebelum transpor, (f)

setelah transpor 24 jam. Karakterisasi membran menggunakan SEM seperti yang terlihat pada Gambar 6 menunjukkan morfologi permukaan membran sebelum transpor (Gambar 6 a dan Gambar 6 b) terlihat bahwa permukaan membran yang lebih halus dibandingkan membran poli-BADGE 4:1 (Gambar 6 e) yang terlihat lebih kasar dan terlihat adanya benjolan-benjolan, hal ini disebabkan karena serbuk poli-BADGE 4:1 yang tidak larut sempurna pada pelarut THF dibandingkan co-EEGDMA 6% dan co-EDAF 6%, namun pada membran yang telah digunakan selama 24 jam (Gambar 6 b, d, dan f) terlihat bahwa membran setelah transpor mulai terlihat adanya lubang-lubang yang diakibatkan karena mulai terkikisnya permukaan membran (Kiswandono, 2014).



Gambar 6. Morfologi hasil SEM dari membran (Kiswandono, 2014)

## 2. Spektrofotometri *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Spektrofotometri infra merah merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 0,75 – 1. 000  $\mu\text{m}$  atau pada bilangan gelombang 13. 000 – 10  $\text{cm}^{-1}$ . Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) pada dasarnya adalah sama dengan spektrofotometer IR, perbedaannya terdapat pada sistim optik FTIR

digunakan radiasi *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER) yang berfungsi sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi infra merah agar sinyal radiasi infra merah yang diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik (Giwangkara, 2006).

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

### **3. Spektrofotometer UV-Vis**

Spektrofotometri UV-Vis adalah pengukuran panjang gelombang, intensitas sinar ultraviolet, dan cahaya tampak yang diabsorpsi oleh sampel. Sinar ultraviolet dan cahaya tampak memiliki energi yang cukup untuk mempromosikan elektron pada

kulit terluar ke tingkat energi yang lebih tinggi. Spektroskopi UV-Vis biasanya digunakan untuk molekul dan ion anorganik atau kompleks di dalam larutan. Spektrum UV-Vis mempunyai bentuk yang lebar dan hanya sedikit informasi tentang struktur yang bisa didapatkan dari spektrum ini sangat berguna untuk pengukuran secara kuantitatif. Sinar ultraviolet berada pada panjang gelombang 200-400 nm, sedangkan sinar tampak berada pada panjang gelombang 400-800 nm. Kebanyakan penerapan spektrofotometri UV-Vis pada senyawa organik didasarkan  $n-\pi^*$  ataupun  $\pi-\pi^*$  karena spektrofotometri UV-Vis memerlukan hadirnya gugus kromofor dalam molekul itu. Transisi ini terjadi dalam daerah spektrum (200-700 nm) yang nyaman untuk digunakan dalam eksperimen.

Spektrofotometer UV-Vis yang komersial biasanya beroperasi dari sekitar 175 nm atau 200-1000 nm. Identifikasi kualitatif senyawa organik dalam daerah ini jauh lebih terbatas daripada dalam daerah inframerah. Ini karena pita serapan terlalu lebar dan kurang terinci. Tetapi, gugus-gugus fungsional tertentu seperti karbonil, nitro, sistem tergabung, benar-benar menunjukkan puncak yang karakteristik, dan sering dapat diperoleh informasi yang berguna mengenai ada tidaknya gugus semacam itu dalam molekul tersebut (Day *and* Underwood, 1986). Prinsip kerja spektrofotometer berdasarkan hukum Lambert Beer, yaitu bila cahaya monokromatik ( $I_0$ ) melalui suatu media (larutan), maka sebagian cahaya tersebut diserap ( $I_a$ ), sebagian dipantulkan ( $I_r$ ), dan sebagian lagi dipancarkan ( $I_t$ ) (Huda, 2001). Menurut Khopkar (2003), instrumen spektrofotometri UV-Vis adalah :

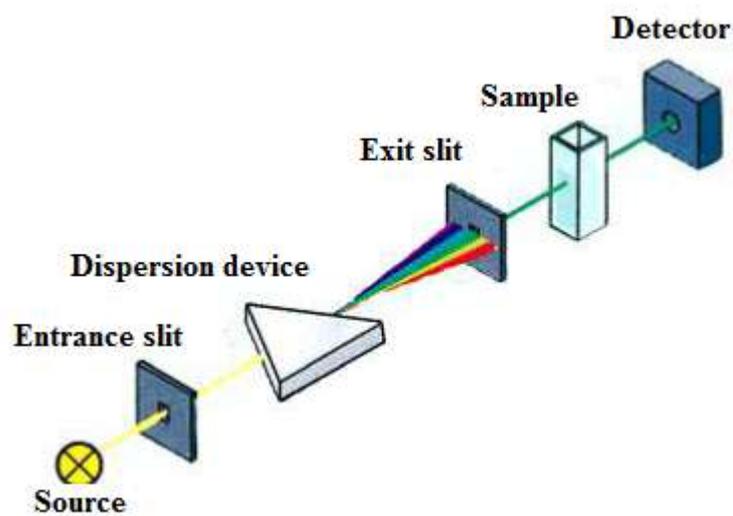
1. Sumber sinar polikromatis, berfungsi sebagai sumber sinar polikromatis dengan berbagai macam rentang panjang gelombang. Sumber yang biasa

digunakan pada daerah UV adalah lampu deuterium atau disebut juga *heavy* hidrogen, sedangkan pada daerah Vis menggunakan lampu tungsten yang sering disebut lampu wolfram, spektrofotometer UV-Vis menggunakan *photodiode* yang telah dilengkapi monokromator.

2. Monokromator, merupakan alat yang memecah cahaya polikromatis menjadi cahaya tunggal (monokromatis) dengan komponen panjang gelombang tertentu. Monokromator berfungsi untuk mendapatkan radiasi monokromator dari sumber radiasi yang memancarkan radiasi polikromatis. Monokromator terdiri dari susunan : celah (slit) masuk – filter – kisi (*grating*) – celah (slit) keluar.
3. Wadah sampel (kuvet), merupakan wadah sampel yang akan dianalisis. Kuvet dari leburan silika (kuarsa) dipakai untuk analisis kualitatif dan kuantitatif pada daerah pengukuran 190-1100 nm, dan kuvet dari bahan gelas dipakai pada daerah pengukuran 380-1100 nm karena bahan dari gelas mengabsorpsi radiasi UV.
4. Detektor, menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel. Cahaya kemudian diubah menjadi sinyal listrik oleh amplifier dan dalam rekorder akan ditampilkan dalam bentuk angka-angka pada reader (komputer).
5. *Visual display/read out*, merupakan suatu sistem baca yang menangkap besarnya isyarat listrik yang berasal dari detektor. Menyatakan dalam bentuk% transmittan maupun absorbansi.

Cara kerja alat spektrofotometer UV-Vis yaitu sinar dari sumber radiasi diteruskan menuju monokromator. Cahaya dari monokromator diarahkan terpisah

melalui sampel dengan sebuah cermin berotasi. Detektor menerima cahaya dari sampel secara bergantian secara berulang-ulang. Sinyal listrik dari detector diproses, diubah ke digital dan dilihat hasilnya, selanjutnya perhitungan dilakukan dengan komputer yang sudah terprogram (Harjadi, 1993). Skema alat spektroskopi UV-Vis dapat dilihat pada berikut.



Gambar 7. Skema alat spektrofotometer UV-Vis (Khopkar, 2003)

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2019 sampai Juli 2019 di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi membran PIM menggunakan SEM dan FT-IR yang akan dilakukan di UPT LSIT Universitas Lampung. Analisis transpor fenol variasi konsentrasi *plasticizer*, variasi konsentrasi dan jenis garam, *lifetime*, dan pemakaian membran PIM secara berulang menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis yang akan dilakukan di Laboratorium Analitik dan Instrumentasi FMIPA Universitas Lampung.

#### B. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah *magnetic stirrer*, *magnetic bar*, neraca digital analitik (Mettler Toledo AB54-S), statif dan klem, *chamber* berdiameter 3,5 cm, pH meter (HM-30R), batang pengaduk, spatula, oven, cetakan membran, pengukur ketebalan membran, rangkaian alat transpor fenol, alat penunjang berupa alat-alat gelas, *Scanning Electron Microscope* (SEM) (JSM 6360LA), dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) (Shimadzu 820PC), spektrofotometer UV-Vis (Hitachi U-2010).

Bahan-bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *co*-EEGDMA, bahan kimia *pure analysis* produksi Merck yaitu fenol (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH), dietil eter, polivinil klorida PVC, dibenzileter (DBE), tetrahidrofur (THF), 4-aminoantipirin, *buffer phosphate* (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> dan KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), natrium hidroksida (NaOH), garam natrium nitrat (NaNO<sub>3</sub>), kalium klorida (KCl), natrium klorida (NaCl), natrium sulfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), kalium nitrat (KNO<sub>3</sub>), asam klorida (HCl), kloroform (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>), kalium ferisianida {K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]}, ammonium hidroksida (NH<sub>4</sub>OH).

## C. Metode

### 1. Pembuatan Membran PIM

Membran PIM dicetak atau dibuat dalam suatu cetakan yang telah dilengkapi dengan *magnetic stirrer*. Perbandingan *co*-EEGDMA sebagai seyawa pembawa, PVC sebagai polimer dasar, dan DBE sebagai plasticizer adalah 10:32:58 (Kiswando, 2014). Komponen penyusun membran yaitu *co*-EEGDMA 0,0540 g, PVC sebanyak 0,1730, dan DBE sebanyak 0,3132 g. Tetrahidrofur(THF) sebanyak 10 mL digunakan pada setiap membran PIM yang berfungsi untuk menghomogenkan campuran dalam cetakan. Hasil cetakan didiamkan selama tiga hari untuk menguapkan pelarut secara alami. Membran PIM sebelum dan sesudah transpor dikarakterisasi menggunakan SEM dan FTIR.

## 2. Pengaruh variasi konsentrasi *plasticizer* terhadap transpor fenol

Membran PIM dengan pemlastis yang optimumnya dengan tetap memperhatikan perbandingan rasio berat membran *carrier* : PVC : DBE (10:32:58) seperti yang tercantum dalam Tabel 2. Membran dengan jenis pemlastis yang optimum divariasikan dengan variasi 0,3032; 0,3100; 0,3132; 0,3200; 0,3232 g ditimbang terlebih dahulu sebelum digunakan untuk transpor, kemudian membran dipasang di antara fasa sumber dan fasa penerima pada *chamber*. Untuk fasa sumbernya diisi dengan 50 mL larutan fenol 60 ppm dengan pH 5,5 sedangkan untuk fasa penerimanya diisi dengan 50 mL NaOH 0,5 M. *Chamber* ditutup dan pada masing-masing fasa diberi pengaduk magnet ukuran kecil, diaduk selama 48 jam pada suhu kamar dan dalam keadaan yang tidak terkena cahaya matahari. Setelah 48 jam, konsentrasi fenol yang terkandung dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 456 nm dengan penambahan 4-aminoantipirin. Membran dikeringkan selama 48 jam kemudian ditimbang.

Tabel 2. Komposisi membran

No.	Berat (g)			Perbandingan (%)		
	PVC	<i>Carrier</i>	<i>Plasticizer</i>	PVC	<i>Carrier</i>	<i>Plasticizer</i>
1	0,1730	0,0540	0,3032	32,6	10,2	57,2
2	0,1730	0,0540	0,3100	32,3	10,0	57,7
3	0,1730	0,0540	0,3132	32,0	10,0	58,0
4	0,1730	0,0540	0,3200	31,6	9,9	58,5
5	0,1730	0,0540	0,3232	31,4	9,8	58,7

### 3. Pengaruh variasi jenis garam terhadap transpor fenol

Membran PIM dengan komposisi optimum ditimbang dahulu sebelum digunakan untuk transpor, kemudian membran dipasang di antara fasa sumber dan fasa penerima pada *chamber*. Untuk fasa sumber, diisi dengan variasi garam sebanyak 50 mL larutan NaNO<sub>3</sub>, KCl, NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan KNO<sub>3</sub> dengan konsentrasi 0,001 M dalam fenol 60 ppm dengan pH 5,5 sedangkan untuk fasa penerimanya diisi dengan 50 mL NaOH 0,5 M. *Chamber* ditutup dan pada masing-masing fasa diberi pengaduk magnet ukuran kecil, diaduk selama 48 jam pada suhu kamar dan dalam keadaan yang tidak terkena cahaya matahari. Setelah 48 jam, konsentrasi fenol yang terkandung dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 456 nm. Membran dikeringkan selama 48 jam kemudian ditimbang.

### 4. Pengaruh variasi konsentrasi garam terhadap transpor fenol

Membran PIM dengan komposisi optimum ditimbang dahulu sebelum digunakan untuk transpor, kemudian membran dipasang di antara fasa sumber dan penerima pada *chamber*. Untuk fasa sumber diisi dengan 50 mL larutan garam yang optimum dengan variasi 0; 0,001; 0,01; 0,1 dan 1,00 M dalam fenol 60 ppm dengan pH 5,5 sedangkan untuk fasa penerimanya diisi dengan 50 mL NaOH 0,5 M. Selanjutnya penelitian dengan fasa sumber diisi dengan 50 mL larutan fenol 60 ppm dengan pH 5,5 sedangkan untuk fasa penerimanya diisi dengan larutan garam yang optimum dengan variasi 0; 0,001; 0,01; 0,1 dan 1,00 M dalam 50 mL NaOH 0,5 M. *Chamber* ditutup dan pada masing-masing fasa diberi pengaduk

magnet ukuran kecil, diaduk selama 24 jam pada suhu kamar dan dalam keadaan yang tidak terkena cahaya matahari. Setelah 24 jam, konsentrasi fenol yang terkandung dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 456 nm. Membran dikeringkan selama 48 jam kemudian ditimbang.

#### **5. Pengaruh pemakaian membran PIM berulang terhadap transpor fenol**

Membran PIM dengan komposisi optimum ditimbang dan dipasang kembali pada *chamber* untuk digunakan pada transpor fenol berikutnya. Untuk fasa sumber diisi dengan 50 mL larutan fenol 60 ppm dengan pH 5,5 sedangkan untuk fasa penerimanya diisi dengan 50 mL NaOH 0,5 M. *Chamber* ditutup dan pada masing-masing fasa diberi pengaduk magnet ukuran kecil, diaduk selama 48 jam pada suhu kamar dan dalam keadaan yang tidak terkena cahaya matahari. Setelah 48 jam, konsentrasi fenol yang terkandung dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 456 nm. Membran kemudian dicuci dengan akuades, dikeringkan dan ditimbang untuk digunakan pada transpor fenol berikutnya yang ke tiga kali. Membran dikeringkan selama 48 jam kemudian ditimbang.

#### **6. Lifetime membran PIM**

Membran PIM dengan komposisi optimum dipasang di antara fasa sumber dan fasa penerima pada *chamber*. Untuk fasa sumber diisi dengan 50 mL larutan fenol 60 ppm dengan pH 5,5 dengan dua macam variasi yaitu tanpa penambahan

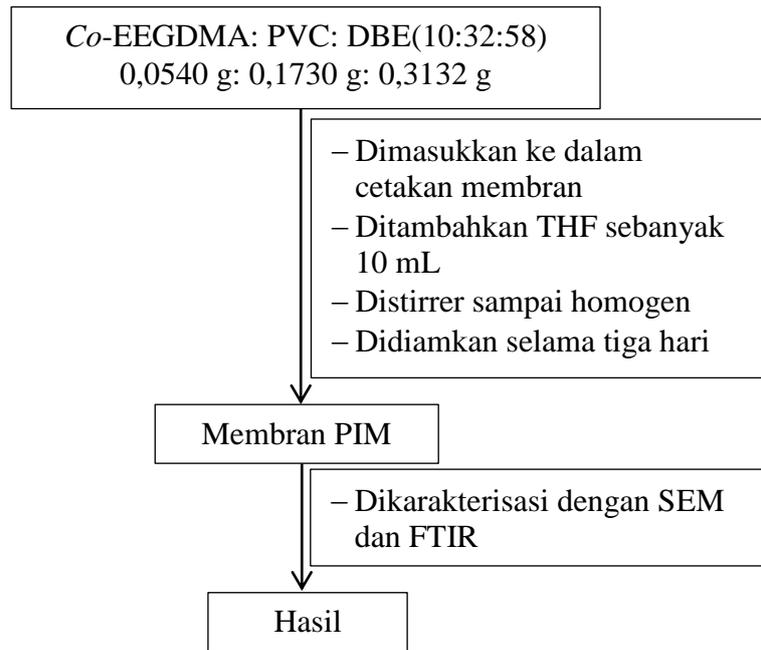
garam dan penambahan garam yang optimum konsentrasi 0,01 M sedangkan untuk fasa penerimanya diisi dengan 50 mL NaOH 0,5 M. *Chamber* ditutup dan pada masing-masing fasa diberi pengaduk magnet ukuran kecil, diaduk pada suhu kamar. Fasa sumber dan fasa penerima diukur pH-nya setiap hari sampai pH fasa sumber menjadi lebih besar dari 9,00.

### 7. Alat Transpor Fenol

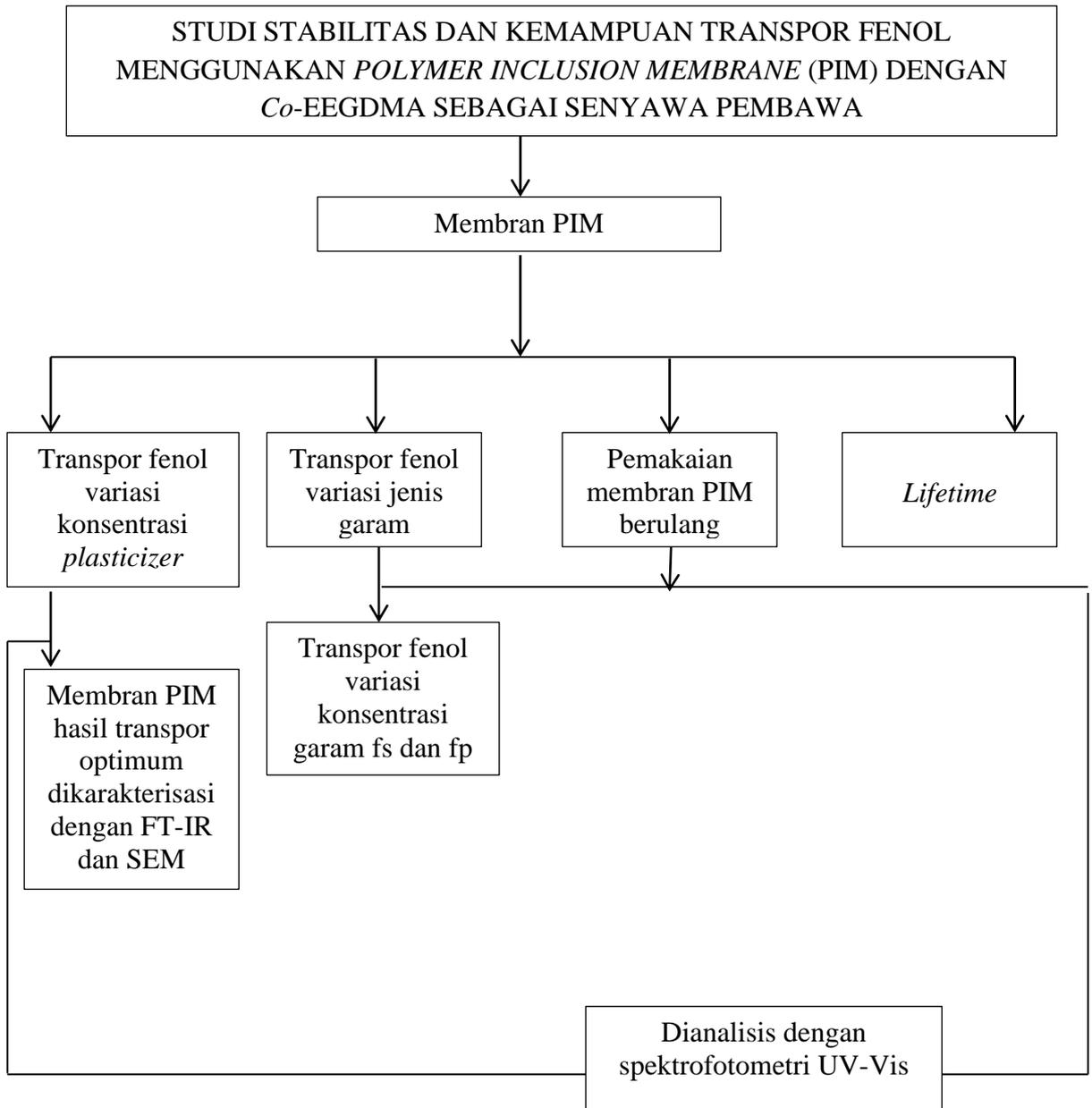


Gambar 8. Alat transpor fenol

## 8. Diagram Penelitian



Gambar 9. Pembuatan Membran PIM



Gambar 10. Diagram penelitian

## V. KESIMPULAN

### A. Kesimpulan

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

1. Pembuatan *polymer inclusion membrane* (PIM) dengan senyawa pembawa *co*-EEGDMA 10% menghasilkan membran tipis berwarna kuning membayang yang dapat digunakan untuk transpor fenol.
2. Stabilitas membran PIM dicapai pada penambahan *plasticizer* sebesar 0,3132 g dengan persentase hasil transpor sebesar 91,54%. Penambahan garam  $\text{NaNO}_3$  difasa sumber dan di fasa penerima membuat membran PIM menjadi lebih stabil karena dapat mengurangi persentase *ML Loss*.
3. Membran PIM dapat digunakan untuk transpor fenol dengan empat kali pengulangan dengan persentase hasil transpor fenol berturut-turut sebesar 91,50; 71,12; 63,32; dan 44,95%. Penambahan garam pada transpor fenol membuat umur membran menjadi lebih lama yaitu 108 hari dibandingkan dengan tanpa penambahan garam yang hanya 24 hari.

**B. Saran**

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang stabilitas dan ketahanan membran PIM dengan menggunakan senyawa pembawa yang lain untuk transpor fenol.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alva, V.A., and Peyton, B.M. 2003. Phenol and Catechol Biodegradation by the Haloalkaliphile *Halomonas Campisalis*: Influence of pH and Salinity . *Environ. Sci. Technol*, **37**(19): 4397-4402.
- Anwar, C. 1994. *The Conversion of Eugenol into More Valuable Substances*. FMIPA-UGM, Yogyakarta.
- Babcock, W.C., Brooke, J. dan Friessen, 1985, *Fundamentals of Coupled-Transport Membranes*, U.S Department of Energy, New York.
- Bartsch, R.A. and Way, J.D. 1996. Chemical Separations with Liquid Membranes. CS Symposium Series 642. American Chemical Society, Washington.
- Cichy, W. and Szymanowski, J. 2002. Recovery of Phenol from Aqueous Streams in Hollow Fiber Modules. *Environ Sci. Technol*, **36**(9): 2088-2093.
- Cleij, M., Scrimin., C.P., Tecilla P., and Tonellato, U. 1997. Efficient and Highly Selective Copper (II) Transport Across a Bulk Liquid Chloroform Membrane Mediated by Liphophilic Dipeptides. *J. Org. Chem*, **62**: 5592-5599.
- Considine, D.M., and Considine, G.D. 1982. *Food and Food Production Encyclopedia*. Van Nortand Reinhold Co, New York.
- Danesi, P.R. 1984. Separation of Metal Species by Supported Liquid Membranes, *Sep. Sci. Technol.*, **19**(11 – 1): 857 – 894.

- Day, R.A., dan Underwood, A.L. 1986. *Analisis Kimia Kuantitatif Edisi Kelima*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Gherrou, A., Kerdjoudj, H., Molinari, R., and Drioli, E. 2001. Modelization of The Transport of Silver and Copper in Acidic Thiourea Medium Through a Supported Liquid Membrane. *Desalination*, **139**: 317-325.
- Giwangkara, S.E. 2006. *Aplikasi Logika Syaraf Fuzzy Pada Analisis Sidik Jari Minyak Bumi Menggunakan Spektrofotometer Infra Merah Transformasi Fourier (FTIR)*. Sekolah Tingkat Energi dan Mineral, Cepu-Jawa Tengah.
- Güell, R., Anticó, E., Kolev, S.D., Benavente, J., Salvadó, V., and Fontàs, C. 2011. Development and Characterization of Polymer Inclusion Membranes for the Separation and Speciation of Inorganic As Species. *J. Membr. Sci.*, **383**: 88-95.
- Hakim, T.W. 2018. Studi Transpor Fenol Menggunakan Polymer Inclusion Membrane (PIM) dengan Senyawa Carrier Kopolimer (Eugenol-Etilen Glikol Dimetakrilat). *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Hamdila, J.D. 2012. Pengaruh Variasi Massa Terhadap Karakteristik Fungsionalitas Dan Termal Komposit MgO-SiO<sub>2</sub> Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Katalis. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Hameed, B.H. and Rahman, A.A. 2008. Removal of Phenol from Aqueous Solutions by Adsorption onto Activated Carbon Prepared from Biomass Material. *Journal of Hazardous Materials*, **160**(2-3): 76-81.
- Happy, M.R. 2012. Studi Stabilitas dan Kemampuan Transpor Fenol Menggunakan Polymer Inclusion Membrane (PIM) dengan Polimer Polieugenol Tersambung Silang Bisphenol A Diglycidyl Ether (BADGE) sebagai Membran Carrier. *Skripsi*. Universitas Gadjah Mada.
- Harjadi, W. 1993. *Ilmu Kimia Analitik Dasar*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

- Hiratani, K., Hirose, T., Kasuga, K., and Saito, K. 1992. N-98 Quinolyl-2-Pyridylmethyl) Malonamide Derivates as a Novel Cu (II) Carrier. *J. Org. Chem*, **57**: 7083-7087.
- Huda, N. 2001. Pemeriksaan Kinerja Spektrofotometer UV-Vis GBC 911A Menggunakan Pewarna Tartrazine CL 19140. *Sigma Epsilon*. **1**(20): 15-20.
- Huidong, Z., Biyu, W., Yanxiang, W.U., and Qilong, R.E.N. 2009. Instability Mechanisms of Supported Liquid Membrane for Phenol Transport. *Chin. J. Chem. Eng.*, **17**(5): 750-755.
- Jumina., Triwulandari, E., and Anwar, C. 2005. Synthesis of C-Methyl-4-10-16-22-Tetramethoxycalix[4]Arenes. *Indonesian Journal of Chemistry*, **5**(1): 58-69.
- Karabacakoglu, B., Tımsek, F., Demiral, H., and Demiral, I. 2008. Liquid Phase Adsorption of Phenol by Activated Carbon Derived From Hazelnut Bagasse. *Journal of International Environmental Application & Science*, **3**(5): 73-80.
- Kazemi, P., Peydayeshb, M., Bandegib, A., Mohammadia, T., and 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.
- Ketaren, S. 1985. *Pengantar Teknologi Minyak Atsiri*. Balai Pustaka, Jakarta.
- Khopkar, S.M. 2003. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press, Jakarta.
- Kim, J. S., Lee, S.H., Yu, S.H., Cho, M.H., Kim, D.W., Kwon, S.G., and Lee, E.H. 2002. Calix[6]Arene Bearing Carboxylic Acid and Amide Groups in Polymeric CTA Membrane. *Bull. Kor. Chem. Soc.*, **23**(8): 1085-1088.
- Kinasih, E.S. 2012. Studi Stabilitas Polymer Inclusion Membrane (PIM) Menggunakan Kopolimer (Eugenol-Dialil Ftalat) sebagai Molekul Pembawa Untuk Transpor Fenol. *Skripsi*. Universitas Gadjah Mada.

- Kislik, V.S. 2010. *Liquid Membranes: Principles and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment*. Elsevier, Inggris.
- Kiswandono, A.A. 2010. Studi Transpor Fenol dengan Menggunakan Membran Cair Polieugenol. *Tesis*. Universitas Gadjah Mada.
- Kiswandono, A.A., Siswanta, D., Aprilita, N.H., and Santosa, S.J. 2012. Preparation of Copoly (Eugenol-DVB) as Membrane Carrier for Transport Phenol by Polymer Inclusion Membrane. *Indo. J. Chem.*, **12**(2): 105-112.
- Kiswandono, A.A., Siswanta, D., Aprilita, N.H., and Santosa, S.J., and Hayashita, T. 2013. Extending the Life Time of Polymer Inclusion Membrane Containing Copoly (eugenol-DVB) as Carrier for Phenol Transport. *Indo. J. Chem.*, **13** (3): 254-261.
- Kiswandono, A.A. 2014. Kajian Transpor Fenol Melalui Membran Berbasis Polieugenol Tertaut Silang Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane. *Disertasi*. Universitas Gadjah Mada.
- Kiswandono, A.A. 2016. Metode Membran Cair untuk Pemisahan. *Analytical & Environmental Chemistry*, **1**: 74–88.
- Koecherginsky, N.M., Yang, Q., and Seelam, L. 2007, Recent Advances in Supported Liquid Membrane Technology, *Sep. Sci. Technol.*, **53**: 17–177.
- Kozlowski, C. 2006. Facilitated Transport of Metal Ions Through Composite and Polimer Inclusions Membranes. *Desalination*, **198**: 132-140.
- Kujawski, W., Warszawski, A., Ratajczak, W., Porbski, T., Capata, W., and Ostrowska, I. 2004. Removal of Phenol from Waterwaste by Different Separation Techniques. *Desalinator*, **163**: 287-296.
- Li, N.N. 1968. *Patent No. No 3. 410-794*. US Patent.

- Li, Z., Wu, M., Jiao, Z., Bao, B., and Lu, S. 2004. Extraction of Phenol from Wastewater by N-Octanolpyrrolidine. *Journal of Hazardous Materials*, **B114**: 11–14.
- Mohapatra, P.K., and Manchanda, V.K. 2003. Liquid Membrane Based Separations of Actinides and Fission Products. *Indian J. Chem.*, **42A**: 2925.
- Mortaheb, H.R., Amini, M.H., Sadeghian, F., Mokhtarani, B., and Daneshyar, H. 2008. Study on a New Surfactan for Removal of Phenol from Wastewater by Emulsion Liquid Membrane. *J. Hazard. Mater*, **160**: 582-588.
- Mozhdehvari, H., Tabatabaei, S.M., and Tajkhalili, A. 2009. Catalytic Ozonation of Phenol Occurring in Power Plants Oily. *Waste Water 24th International Power System Conference*.
- Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membranes Technology, 2nd edition*. Kluwer Academic Publisher, Netherlands.
- Neplenbroek, A.M., Bargeman, D., and Smolders, C.A. 1992. Mechanism of Supported Liquid Membrane Emulsion Formation, *J. Membr. Sci.*, **67**: 149.
- Nghiem, L.D., Mornane, P., Potter, I.D., Perera, J.S.M., Cattrall, R.W., and Kolev, S.D. 2006. Extraction and Transport of Metal Ions and Small Organic Compounds Using Polymer Inclusion Membranes. *J. Membr. Sci.*, **281**: 7-41.
- Park, Y., Skelland, A.H.P., Forney, L.J., and Kim, J.H. 2006. Removal of Phenol and Substitued Phenols by Newly Developed Emulsion Liquid Membrane Process. *Water Res.*, **40**: 1763-1772.
- Pattilo, C. 1995. *Membranes: Liquid Membranes in Particular, A Tutorial of Sorts*. Rensselaer Polytechnic Institute, New York.
- Pont, N., Salvado, V., and Fontas, C. 2008. Selective Transport and Removal of Cd from Chloride Solutions by Polymer Inclusion Membranes. *J. Membr. Sci.*, **318**: 340-345.

- Pratomo. 2003. Pembuatan dan Karakterisasi Membran Komposit Polisulfonselulosa Asetat untuk Proses Ultrafiltrasi. *Jurnal Pendidikan Matematika Dall Saills*, 45-53.
- Rahmi. 2007. Adsorpsi Fenol Pada Membran Komposit Khitosan Berikatan Silang. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, **6**(1): 28-34.
- Reis, M.T.A., de Freitas, O.M.F., Ismael, M.R.C., and Carvalho, J.M.R. 2007. Recovery of Phenol from Aqueous Solutions Using Liquid Membranes with Cyanex 923. *J. Membr. Sci.*, **305**: 313-324.
- Sastrohamidjodjo, H. 2002. *Kimia Minyak Atsiri*. FMIPA-UGM, Yogyakarta.
- Senturk, H. Basri., Ozdes, D., Gundogdu, A., Duran, C., and Soylak, M. 2009. Removal of Phenol from Aqueous Solutions by Adsorption onto Organomodified Tirebolu Bentonite: Equilibrium, Kinetic & Thermodynamic Study. *Journal of Hazardous Materials*, **172**(1): 53-62.
- Setyowati, L. 1998. Pengaruh Penambahan Divinil Benzena (DVB) pada Kopolimerisasi Kationik Eugenol-DVB dan Sifat Pertukaran Kation Kopolimer Garamnya. *Tesis*. Universitas Gadjah Mada.
- Shipra. 2009. *To Study Selective Transport of Ag(I) Ion Using Polymer Inclusion Membranes Containing Thiuram Sulphide as a Pembawa, A Thesis Master of Science in Chemistry, School of Chemistry & Biochemistry*. Thapar University, Patiala.
- Slamet, Arbianti R., dan Daryanto. 2006. Pengolahan Limbah Organik Fenol Logam Berat Cr (VI) atau Pt (IV) Secara Simultan dengan Fotokatalisis TiO<sub>2</sub>, ZnO-TiO<sub>2</sub>. *Reaktor*, **11**(2): 78-85.
- Sousa, A.R., and Trancoso, M.A. 2009. Validation of An Environmental Friendly Segmented Flow Method for The Determination of Phenol Index in Waters as Alternative to The Conventional One. *Talanta*, **79**: 796-803.

- Stanisavljevic, M., and Nedic, L. 2004. Removal of Phenol from Industrial Wastewaters by Horseradish (*Cochlearia armoracia L*) Peroxidase. *Working and Living Environmental Protection*, **2**(4): 345-349.
- Strečková, M., Sopčák, T., Medvecký, L., Bureš, R., Fáberová, M., Batko., and Briančin, J. 2012. Preparation, Chemical&Mechanical Properties of Microcomposite Materials Based on Fe Powder & Phenol-Formaldehyde Resin. *Chemical Engineering Journal*, **180**: 343–353.
- Suhandi, D., Purwoko, T., dan Pangastuti, A. 2006. Biodegradasi Fenol oleh Isolat *Bacillus sp* Asal Sumur Kawengan Cepu. *Bioteknologi*, **3**(11): 8-13.
- Takeuchi, H., Takahashi, K., and Goto, W. 1989. Some Observation on the Stability of Supported Liquid Membranes, *J. Membr. Sci.*, **34**: 19–29.
- Thermo, N. 2001. *Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry*. Thermo Nicolet Corporation, USA.
- Venkateswaran, P., and Palanivelu, K. 2006. Recovery of Phenol from Aqueous Solution by Supported Liquid Membrane Using Vegetable Oils as Liquid Membrane. *J. Hazard Mater*, **131**: 146-152.
- Walkowiak, W., Ulewicz, M., and Kozłowski, C.A. 2002. Application of Macrocyclic Compounds for Metal Ions Removal and Separation. *ARS. Sep. Acta.*, **1**: 87-98.
- Wu, C.F., Chen, Y.L., Chen, C.C., Yang, T.T., and Chang, P.E. 2007. Applying Open-path Fourier Transform Infrared Spectroscopy for Measuring Aerosols. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. **42**: 1131–1140.
- Xu, Man-Cha., Zhou Yun., and Huang, Jian-Han. 2008. Adsorption Behaviors of Three Polymeric Adsorbents with Amide Groups for Phenol In Aqueous Solution. *J. Colloid and Interface Sci.*, **327**: 9-14.

Yaftian, M.R., Burgard, M., Dieleman, C.B., and Matt, D. 1998. Rare-Earth Metal-Ion Separation Using a Supported Liquid Membrane Mediated by a Narrow Rim Phosphorylated Calix[4]Arene. *J. Membr. Sci.*, **144**: 57-64.

Zha, F.F., Fane, A.G., and Fell, C.J.D. 1995. Instability Mechanisms of Supported Liquid Membrane in Phenol Transport Processes. *J. Membr. Sci.*, **107**: 59-74.

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: Physicochem, Eng. Aspects*, **351**: 38-45.