

**STUDI TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN SENYAWA *CARRIER*  
Co-EDAF(Copoli Eugenol-Dialil Ftalat) 8% DENGAN METODE *Polymer  
Inclusion Membrane* (PIM)**

(Skripsi)

Oleh

**FATRY SINJIA**



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

## ABSTRAK

### STUDI TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN SENYAWA *CARRIER* Co-EDAF (Copoli Eugenol-Dialil Ftalat) 8% DENGAN METODE *Polymer Inclusion Membrane* (PIM)

Oleh

FATRY SINJIA

Telah dilakukan Sintesis kopoli eugenol-dialil ftalat (Co-EDAF) 8% yang berfungsi sebagai senyawa *carrier*. Co-EDAF 8% merupakan salah satu komponen dalam pembuatan *polymer inclusion membrane* (PIM). Selanjutnya senyawa Co-EDAF 8% dikarakterisasi menggunakan *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) serta dilakukan uji transpor fenol menggunakan metode PIM dengan beberapa parameter diantaranya pH fasa sumber, konsentrasi fasa penerima, ketebalan membran yang digunakan, waktu transpor serta uji transpor pada limbah buatan. Karakterisasi membran dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi permukaan membran dan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi. Senyawa hasil sintesis berbentuk serbuk, berwarna *orange* dan larut terhadap kloroform, dietil eter dan tetrahidrofur. Hasil FTIR menunjukkan hilangnya gugus vinil pada bilangan gelombang  $995,27\text{ cm}^{-1}$  dan gugus alil pada bilangan gelombang  $1636\text{ cm}^{-1}$ . Hasil uji transpor fenol menunjukkan bahwa PIM menggunakan senyawa *carrier* Co-EDAF 8% mampu mentranspor fenol sebesar 82,42 % pada pH 5,5 di fasa sumber, konsentrasi NaOH 0,1 M di fasa penerima, ketebalan membran 0,27 mm (tipe membran  $t_{54}$ ) dengan waktu transpor selama 48 jam. Uji transpor fenol pada limbah buatan dihasilkan bahwa membran PIM selektif terhadap *recovery* fenol,

Kata kunci : Co-EDAF, *Dialil Ftalat*, Fenol, PIM

## ABSTRACT

### TRANSPORT PHENOL STUDY USING Co-EDAF (Copoly Eugenol-Diallyl Phthalate) 8% AS A CARRIER COMPOUND BY Polymer Inclusion Membrane (PIM) METHODE

Oleh

FATRY SINJIA

Synthesis of copoly eugenol-diallyl phthalate (Co-EDAF) 8% has been carried out as a carrier compound. Co-EDAF 8% is one component in the creation of polymer inclusion membranes (PIMs). Furthermore Co-EDAF 8 % compounds were characterized using the Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and phenol transport tests were carried out using the PIM method with some parameter among them are source phase pH, receiving phase concentration, the thickness of membrane that used in this research, time transport, and test metal transport. Membrane characterization is carried out using *Scanning Electron Microscopy* (SEM) to know the membrane surface morphology and FTIR to know functional groups. The synthesis product result was an orange powder which dissolves with chloroform, diethyl ether and tetrahydrofuran. The results by FTIR showed the loss of vinyl and allyl groups at wave number  $995.27\text{ cm}^{-1}$  and  $1636\text{ cm}^{-1}$  respectively. Transport phenol study showed that the PIM using an Co-EDAF 8% as a carrier compound was able to transport phenols up to 82.42% at pH 5.5 in the source, the concentration of 0.1 M NaOH in the receiver with a membrane thickness 0,27 (type membrane  $t_{54}$ ) with time transport until 48 hours. Transport phenol test in synthetic wastes showed that PIM membrane was selective for the recovery of phenol.

Keywords: Co-EDAF, Diallyl Phthalate, Phenol, PIM

**STUDI TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN SENYAWA *CARRIER*  
Co-EDAF(Copoli Eugenol-Dialil Ftalat) 8% DENGAN METODE *Polymer*  
*Inclusion Membrane* (PIM)**

**Oleh**

**FATRY SINJIA**

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 TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN SENYAWA CARRIER Co-EDAF (Copoly Eugenol-Dialil Ftalat) 8% DENGAN METODE *Polymer Inclusion Membrane* (PIM)**

Nama Mahasiswa : **Fatry Sinjia**

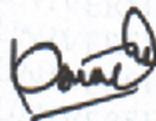
No. Pokok Mahasiswa : 1517011066

Jurusan : Kimia

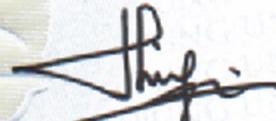
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

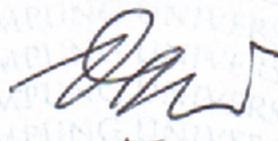


**Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.**  
NIP 19700705 200501 1 003



**Syaiful Bahri, M.Si.**  
NIP 19730825 200003 1 001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila

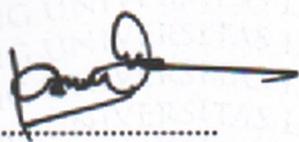


**Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T.**  
NIP 19740705 020003 1 001

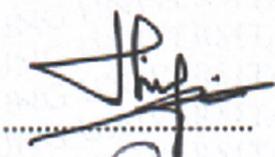
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

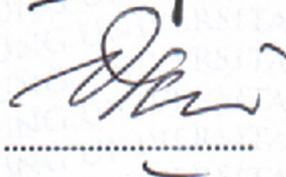
Ketua : **Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.** .....



Sekretaris : **Syaiful Bahri, M.Si.** .....



Penguji  
Bukan Pembimbing : **Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T.** .....



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 05 Agustus 2019**

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : **Fatry Sinjia**  
Nomor Pokok Mahasiswa : **1517011066**  
Jurusan : **Kimia**  
Judul Skripsi : **STUDI TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN SENYAWA CARRIER Co-EDAF (Copoly Eugenol-Dialil Ftalat) 8% DENGAN METODE *Polymer Inclusion Membrane* (PIM)**

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri, dan sepanjang pengetahuan saya tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau ditulis orang lain atau dipergunakan dan diterima sebagai persyaratan penyelesaian studi pada Universitas atau Institut lain.

Bandar Lampung, 14 Agustus 2019

Yang Menyatakan,

  
**Fatry Sinjia**

## RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Fatry Sinjia, lahir di Bandar Lampung pada tanggal 19 Januari 1998, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara, putri dari pasangan suami istri Bapak Gusta Herman dan Ibu Siti Maryam. Penulis saat ini bertempat tinggal di Perum Korpri Blok A.9 No.10, Sukarame, Bandar Lampung.

Penulis menyelesaikan pendidikan mulai dari TK Aisyiyah Bustanul Athfal I Tanjung Karang Barat pada tahun 2003, kemudian melanjutkan pendidikannya ke SDN 2 Harapan Jaya lulus pada tahun 2009, lalu melanjutkan ke SMP Al-Azhar 3 Bandar Lampung lulus pada tahun 2012, dan melanjutkan pendidikan di SMAN 12 Bandar Lampung lulus pada tahun 2015. Tahun 2015 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN dan pernah mendapat DEAN AWARD Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung tahun 2018 .

Selama menempuh pendidikan di jurusan kimia, penulis pernah menjadi Asisten praktikum kimia dasar I dan Asisten praktikum kimia analitik I pada tahun 2018. serta Asisten praktikum kimia analisis lingkungan pada tahun 2019. Selain itu, penulis aktif berorganisasi dimulai dengan menjadi Kader Muda Himaki dan

Garuda BEM tahun 2015, Sekretaris Bidang Sosial dan Masyarakat (SOSMAS) tahun 2017 dan Dewan Pembina Himaki tahun 2018.

Tahun 2018 penulis pernah lolos pendanaan Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dan terpilih sebagai peserta Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional (PIMNAS) yang diselenggarakan di Universitas Negeri Yogyakarta sebagai ketua tim dengan judul “Pengembangan Metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) Yang Mengandung Senyawa *Carrier* Co-EDAF Sebagai Upaya Penanggulangan Limbah Fenol”. Pada tahun yang sama penulis sebagai pembicara pada acara *Science Week* yang diselenggarakan oleh Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, penulis pernah menjadi mentor sekaligus juri dalam program Mt-PKM yang diselenggarakan oleh Forkom Bidikmisi Universitas Lampung, penulis juga pernah sebagai pemateri pada program pelatihan PKM yang diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI), Tahun 2019 penulis pernah mengisi kegiatan *Workshop* PKM yang diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO).

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Atas Rahmat Allah SWT  
Kupersembahkan Karya Sedehanaku ini kepada :*

*“Ibu”*

*Sebagai ungkapan rasa terimakasihku atas segala pengorbanan yang telah kau lakukan yang mungkin tidak akan terbalaskan dengan apapun*

*Keluarga Tercinta  
Yang telah memberikan cinta, kasih, dukungan dan doa untukku.*

*Pembimbing Penelitianku, Dr. Agung Abadi  
Kiswandono dan Syaiful Bahri M.Si*

*Orang terkasih, Sahabat, kerabat dan seluruh Teman.*

*Almamater tercinta Universitas Lampung*

## MOTTO

*"Tidak ada kesuksesan melainkan atas pertolongan Allah"*  
*(Q.S. Huud:88)*

*"Ilmu adalah buruan, tulisan adalah pengikatnya maka ikatlah ilmu dengan menuliskannya" (Imam Syafi'i)*

*"Ketika mimpi dan harapan seseorang menjadi lebih besar dan luas maka semua masalah menjadi kecil dan mudah untuk dihadapi"*

*"Tidak penting seberapa lambat kita melaju, selagi kita tidak berhenti" (Anonim)*

*"Ilmu pengetahuan bukanlah yang dihafal, melainkan yang memberi manfaat (Imam Syafi'i)"*

## SANWACANA

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas segala rahmat, karunia dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Studi Transpor Fenol Menggunakan Senyawa *Carrier* Co-EDAF (Copolymer Eugenol-Dialil Ftalat) 8% Dengan Metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM)”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Prodi Kimia FMIPA Unila. Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua, buya, bunda dan kedua kakak yang selalu memberikan kasih sayang, motivasi, dukungan dalam bentuk moril maupun material serta doa untuk penulis.
2. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc. selaku Pembimbing Utama penelitian atas segala bimbingan, motivasi, bantuan, nasihat, saran dan seluruh kebaikannya hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
3. Bapak Syaiful Bahri, M.Si. selaku Pembimbing Kedua penelitian atas bimbingan, motivasi, bantuan, nasihat, saran, dan seluruh kebaikannya hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Pembahas atas segala kritik, saran, motivasi dan inspirasi yang sangat membangun dalam penulisan skripsi ini.

5. Ibu Dr. Zipora Sembiring, M.S. selaku Pembimbing Akademik atas bimbingan, arahan dan motivasinya selama diperkuliahan ini.
6. Bapak Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S. selaku Kepala Laboratorium Kimia Analitik atas izinnya untuk menyelesaikan penelitian.
7. Bapak Dr. Eng Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
8. Bapak Drs. Suratman M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
9. Segenap staf pengajar dan karyawan khususnya Jurusan Kimia dan FMIPA Universitas Lampung pada umumnya.
10. *Partner membrane research* khususnya Rulan Aprilia S.Si, Gita Tifani S.Si, Fitri Sunarsih S.Si, mba Chandra Saka Nusantari, M.Si atas kerjasama dan motivasi untuk penulis selama penelitian.
11. My Partner squad "SOMPLAAK", Nur Wulandari S.Si, Meynisa Zunaidar S.Si Yesi Oktiara Kasih S.Si, Meitri Ayu Ningrum S.Si, Dira Avista S.Si, Widya Kusuma S.Si, Elsin Azmi S.Si, Hani Chintia Ramadani S.Si, Zuwita Wulandari S.Si. Terimakasih atas waktunya untuk selalu menemani dalam suka maupun duka, serta memberikan dukungan dan perhatian selama kuliah di Universitas Lampung.
12. My another friends; Miranda Sari S.Si, Ayu Miranda Umar S.Si dan Ronerson S.Si atas doa, tenaga dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.
13. Adik-adik reseach membrane; Icha, Wiwin, Cika, Nurmalia atas dukungan semangat serta doa yang diberikan.

14. My kance since 2012; Kiki Kurniawati, Ananda Carerina Kahfi, Faila Sova, Lestari Ramadhini, Aprilia Widiatama, Ridwan Afwan Karim Fauzi, Fitri Ayu Pratiwi atas dukungan serta memberi saran atas keluh kesah penulis selama kuliah di Universitas Lampung.
15. My kance since 2009; Bella Pratiwi, Javira Asri Gusumawati dan Intan Nata Sasmita atas motivasi, dukungan dan selalu membantu penulis selama kuliah di Universitas Lampung.
16. Kepada beberapa individu langka yang telah mendengarkan tanpa menghakimi, yang membantu saya walaupun mereka tau saya mungkin tidak bisa membalas, yang berbicara tanpa adanya prasangka buruk, Memahami tanpa harus berpura-pura, dan mencintai saya dengan segala kekurangan dan kelebihan yang saya punya dan tetap tinggal ketika saya sedang memperbaiki diri.
17. My ups and downs partner in Himaki; Tria Prabowo S.Si, Mentari Yunika Sari S.Si, Ayu Miranda Umar S.Si, Muhammad Alfarizi S.Si, Ammar Luthfi S.Si, Rama Aji Wijaya S.Si, Widya Susanti S.Si, Fitri Nuraini S.Si, Rizqy Putra Haryansyah S.Si, Siska Sari Marvita S.Si, Isnaini Hidayati S.Si, Marli Wulansari S.Si, Mahyal Fadhilah S.Si, Harist Oktavian S.Si atas kerjasama dan kebersamaanya.
18. Teman-teman Squad Analytic yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, terimakasih atas dukungan dan kerjasama selama masa perkuliahan.
19. Teman-teman kimia kelas B atas kerjasama dan kebersamaannya selama masa perkuliahan.

20. My Big Family in chemistry 2015 atas semangat, saran, motivasi dan segala suka duka yang telah dilewati selama masa perkuliahan.
21. Teman-teman Kuliah Kerja Nyata (KKN) desa Cahyou Randu; Heni, Dieky, Desi, Feri, kak Samuel atas motivasi dan semangat yang telah diberikan.
22. Kakak dan adik jurusan kimia FMIPA Universitas Lampung angkatan 2011, 2012, 2013, 2014, 2016, 2017 dan 2018
23. Semua pihak yang telah membrantu dan mendukung penulis dalam penyusunan skripsi.

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

Bandar Lampung, Agustus 2019

Penulis

**Fatry Sinjia**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	4
C. Manfaat Penelitian .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Eugenol dan DAF .....	5
B. Senyawa Fenol .....	7
C. Metode Penanganan Limbah Fenol .....	9
D. Teknologi Membran .....	10
E. Karakterisasi .....	15
1. <i>Forier Transform Infra Red</i> (FTIR) .....	15
2. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) .....	18
3. Spektrofotometri UV-VIS .....	20
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b>	
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	23
B. Alat dan Bahan .....	24
1. Alat-alat yang digunakan .....	24
2. Bahan-bahan yang digunakan .....	24
C. Metode .....	25
1. Sintesis Copoli Eugenol- Dialil ftalat (Co-EDAF ) 8% .....	25
2. Pembuatan Membran PIM .....	26
3. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Fenol .....	28
4. Studi Transpor Fenol .....	30
a. Optimasi Transpor Fenol dengan Variasi pH pada Fasa Sumber .....	30
b. Optimasi Transpor Fenol dengan Variasi Konsentrasi pada Fasa Penerima .....	31
c. Optimasi Transpor Fenol dengan Variasi Ketebalan Membran .....	32

d. Optimasi Transpor Fenol dengan Variasi Waktu Kontak .....	33
e. Transpor Fenol Pada Limbah Buatan .....	34

#### **IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. Sintesis Copoli Eugenol- Dialil ftalat (Co-EDAF ) 8% .....	36
B. Pembuatan Membran PIM.....	40
C. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Fenol .....	42
D. Studi Transpor Fenol.....	43
1. Optimasi Transpor Fenol dengan Variasi pH pada Fasa Sumber .	43
2. Optimasi Transpor Variasi Konsentrasi pada Fasa Penerima .....	45
3. Optimasi Transpor Variasi Ketebalan Membran.....	48
4. Optimasi Transpor Variasi Waktu Kontak.....	51
5. Studi Transpor Fenol Pada Limbah Buatan .....	53

#### **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

A. Kesimpulan .....	56
B. Saran .....	57

#### **DAFTAR PUSTAKA**

#### **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Senyawa eugenol .....	5
2. Prediksi struktur polieugenol hasil taut silang dengan DAF.....	7
3. Membran cair (a) BLM (b) ELM (c) SLM .....	12
4. a. Skema membran SLM tanpa gel b. SLM menggunakan gel homogen, c. SLM menggunakan gel pada salah satu sisi membran .....	14
5. Skema alat <i>Fourier Transform Infra Red</i> .....	16
6. Skema alat <i>Scanning Electron Microscopy</i> .....	19
7. Hamburan elektron-elektron apabila mengenai <i>specimen</i> .....	20
8. Instrumen spektrofotometer.....	22
9. Diagram alir sintesis Co-EDAF 8% .....	26
10. Diagram alir pembuatan membran PIM.....	28
11. Diagram alir penentuan panjang gelombang maksimum fenol .....	29
12. Diagram alir optimasi transport variasi pH pada fase sumber.....	30
13. Diagram alir optimasi transpor variasi konsentrasi fasa penerima .....	31
14. Diagram alir optimasi transpor variasi ketebalan membran.....	32
15. Diagram alir optimasi Transpor variasi waktu kontak.....	33
16. Diagram alir transpor fenol pada limbah buatan .....	34
17. Serbuk Senyawa Co-EDAF 8% .....	37
18. Reaksi pada sintesis Copoli Eugenol-dialil ftalat 8% .....	38
19. Perbandingan Spektrum FTIR eugenol dan Senyawa Co-EDAF 8% .....	39
20. Membran PIM dengan senyawa Co-EDAF 8 % sebelum transpor .....	40

21. Hasil SEM PIM Co-EDAF 8%; a. sebelum transpor; b. Sesudah transpor.....	41
22. Kurva Panjang gelombang maksimum fenol .....	42
23. Grafik % transpor fenol pada variasi pH fasa sumber. ....	44
24. Grafik % transpor fenol pada variasi konsentrasi fasa penerima .....	47
25. Grafik % transpor fenol pada variasi ketebalan membran .....	49
26. Pengaruh ketebalan membran PIM terhadap % fenol yang tertinggal di fasa membran.....	50
27. Grafik % transpor fenol pada variasi waktu transpor .....	51
28. Perbandingan Spektrum FTIR membrane PIM (a) sebelum dan (b) sesudah transport.....	53
29. Perbandingan transpor fenol yang mengandung Logam(a) dan tanpa logam(b).....	55
30. Kurva standar fenol variasi pH .....	71
31. Kurva standar fenol variasi konsentrasi NaOH .....	73
32. Kurva standar fenol variasi ketebalan membran .....	75
33. Kurva standar fenol variasi waktu kontak.....	77
34. Kurva standar fenol pada limbah buatan.....	79
35. Sintesis Co-EDAF 8% .....	81
36. Pencetakan Membran .....	81
37. Transpor Fenol.....	82

## DAFTAR TABEL

Gambar	Halaman
1. Komposisi komponen pembentuk membran co-EDAF.....	27
2. Titik leleh beberapa senyawa Co-EDAF dengan beberapa variasi agen tautsilang .....	37
3. Persentase komponen membran yang hilang (%ML) .....	48
4. Hasil transpor logam pada limbah buatan .....	54
5. Kurva Standar fenol variasi pH .....	71
6. Absorbansi fenol Fasa sumber dan Fasa penerima variasi pH .....	72
7. Konsentrasi fenol Fasa sumber, dan Fasa penerima variasi pH .....	72
8. %Fenol pada fasa sumber, fasa penerima dan fasa membran variasi pH .....	72
9. Kurva standar fenol variasi konsentrasi NaOH .....	73
10. Absorbansi fenol Fasa sumber dan Fasa penerima variasi Konsentrasi NaOH .....	74
11. Konsentrasi fenol Fasa sumber, dan Fasa penerima variasi Konsentrasi NaOH.....	74
12. %Fenol pada fasa sumber, fasa penerima dan fasa membran variasi Konsentrasi NaOH .....	74
13. Kurva Standar fenol variasi pH .....	75
14. Absorbansi fenol Fasa sumber dan Fasa penerima variasi Ketebalan membran .....	76
15. Konsentrasi fenol Fasa sumber, dan Fasa penerima variasi ketebalan membran .....	76
16. %Fenol pada fasa sumber, fasa penerima dan fasa membran variasi ketebalan membran.....	76

17. Kurva Standar fenol variasi waktu kontak .....	77
18. Absorbansi fenol Fasa sumber dan Fasa penerima variasi waktu kontak .....	78
19. Konsentrasi fenol Fasa sumber, dan Fasa penerima variasi waktu kontak .....	78
20. %Fenol pada fasa sumber, fasa penerima dan fasa membran variasi waktu kontak .....	79
21. Kurva Standar fenol pada limbah buatan .....	79
22. %Fenol Fasa sumber, Fasa penerima dan Fasa membran pada Limbah buatan .....	80

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Perkembangan sektor industri yang cukup pesat dapat menimbulkan masalah lingkungan yang cukup serius, karena limbah industri, termasuk polutan senyawa organik yang akan masuk ke lingkungan. Fenol sebagai senyawa polutan organik dan sebagai salah satu komponen dalam air limbah yang sangat berbahaya, karena beracun dan bersifat korosif terhadap kulit serta karsinogenik, oleh karena itu fenol digolongkan sebagai bahan beracun dan berbahaya (B3). Selain mencemari perairan dengan warna yang keruh dan bau tidak sedap, senyawa fenol dapat menimbulkan efek kronik bagi organism dan menyebabkan kematian pada ikan dalam konsentrasi rendah yaitu 5-25 mg/L (Alva and Peyton, 2003).

Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup RI No.51/MENLH/10/1995 dan Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 907/MENKES/SK/VII/2002, senyawa fenol dinyatakan aman keberadaannya dalam air untuk kehidupan ekosistem akuatik pada konsentrasi 0,5-1,0 mg/L, sedangkan ambang batas senyawa (turunan) fenol dalam baku mutu air minum adalah maksimal 0,02 mg/L (Slamet dkk., 2006).

Senyawa fenol banyak ditemukan dalam limbah industri kertas, tekstil, plastik, nilon, insektisida, herbisida, antiseptik dan pengawet kayu. Fenol juga dapat ditemukan pada tar batubara dan beberapa proses produksi minyak bumi.

Menurut Stanisavljević and Nidic (2004) menyatakan bahwa dalam limbah industri konsentrasi limbah fenol berkisaran antara 100-1000 mg/L.

Polutan di daerah perairan, khususnya fenol dapat dihilangkan dengan beberapa teknik, diantaranya adalah adsorpsi. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pemisahan fenol serta kromium (VI) menggunakan komposit karbon aktif dan kitosan dengan kemampuan adsorpsi mencapai 95 % (Huang *et al.*, 2014). Pemisahan fenol dengan menggunakan teknik tersebut umumnya tidak ekonomis karena membutuhkan bahan serta energi yang besar. Metode lain untuk memisahkan fenol adalah dengan membran cair.

Metode membran cair merupakan gabungan dari metode ekstraksi cair-cair dengan tahap penerimaan dalam satu kali proses yang berkelanjutan. Membran PIM (*Polymer Inclusion Membrane*) dalam prosesnya melibatkan senyawa *carrier*. Senyawa *carrier* bereaksi dengan komponen yang ditargetkan pada fasa sumber, bergerak melintasi membran, dan melepaskan komponen ini di fasa penerima. Berbagai polimer sebagai senyawa *carrier* telah digunakan dengan beberapa metode membran cair diantaranya adalah Bis(piridilmetil)amina (Gardner *et al.*, 2006), kuarterner amina, piridin dan turunannya (Nghiem *et al.*, 2006). Salah satu senyawa *carrier* berbasis senyawa bahan alam adalah Copoli Eugenol-Dialil Ftalat (Co-EDAF).

Eugenol dalam cengkeh ini dapat digunakan sebagai bahan awal sintesis suatu senyawa karena mengandung tiga gugus fungsional yaitu gugus alil, eter, dan fenol. Pada umumnya polieugenol merupakan hasil sintesis dari senyawa eugenol. Polieugenol dalam prosesnya dapat disintesis dengan menggunakan katalis, baik asam sulfat (Handayani dan Wuryanti, 2001) maupun boron triflorida ( $\text{BF}_3$ ) dan dietil eter (La Harimu dkk., 2009), tetapi polimer hasil sintesis ini belum efektif karena kemampuan interaksi dengan senyawa target yang rendah. Hal ini dimungkinkan karena polimer hasil sintesis ini memiliki berat molekul yang rendah. Hasil sintesis yang telah dilakukan oleh La Harimu dkk (2009) menghasilkan berat molekul polieugenol 39380 g/mol. Polimer dengan berat molekul yang rendah dimungkinkan memiliki sisi aktif terbatas.

Salah satu alternatif untuk meningkatkan berat molekul adalah dengan cara sambung silang antara Eugenol dengan senyawa senyawa diena melalui reaksi polimerisasi. Reaksi polimerisasi senyawa diena yang memiliki gugus 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 (Stevens, 2001). Salah satu senyawa diena yang dapat mengalami polimerisasi adisi adalah dialil ftalat (DAF). Ikatan rangkap dua pada senyawa diena ini mempunyai sifat reaktif sehingga proses sintesis dapat dilakukan pada suhu kamar.

Senyawa *carrier* Co-EDAF 8% merupakan hasil tersambung silang antara eugenol dan DAF. Senyawa ini dapat digunakan sebagai senyawa *carrier*. Hal ini dikarenakan sisi aktif kedua senyawa ini sebagai memiliki kemiripan yaitu sama sama memiliki gugus  $-\text{OH}$  dan cincin benzena. Oleh karena itu dapat

diprediksi bahwa polimer hasil sintesis pada penelitian ini dapat menjadi fasilitator terjadinya transpor senyawa fenol.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian transpor fenol menggunakan senyawa *carrier* Co-EDAF 8%. Proses pemisahan fenol pada penelitian ini menggunakan metode PIM berbasis polimer dasar *polivinil klorida* (PVC) dan dibenzil eter (DBE) sebagai *plasticizer*.

## **B. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan sintesis eugenol tersambungsilang dialil ftalat melalui reaksi polimerisasi.
2. Mempelajari pengaruh pH fasa sumber (fenol), konsentrasi fasa penerima (NaOH), ketebalan membran dan waktu kontak pada proses transpor fenol menggunakan metode PIM.
3. Melakukan uji kompetisi transpor fenol dengan logam Cu(II) dan Pb(II).

## **C. Manfaat Penelitian**

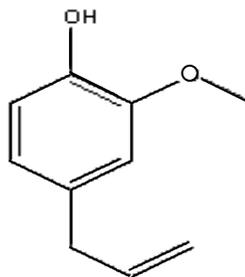
Hasil penelitian yang akan diperoleh diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menambah informasi ilmiah tentang pemanfaatan eugenol.
2. Memberikan informasi terkait perkembangan teknologi pemisahan fenol berbasis membran.
3. Memberikan informasi ilmiah tentang kompetisi transpor fenol dengan logam.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Eugenol dan DAF

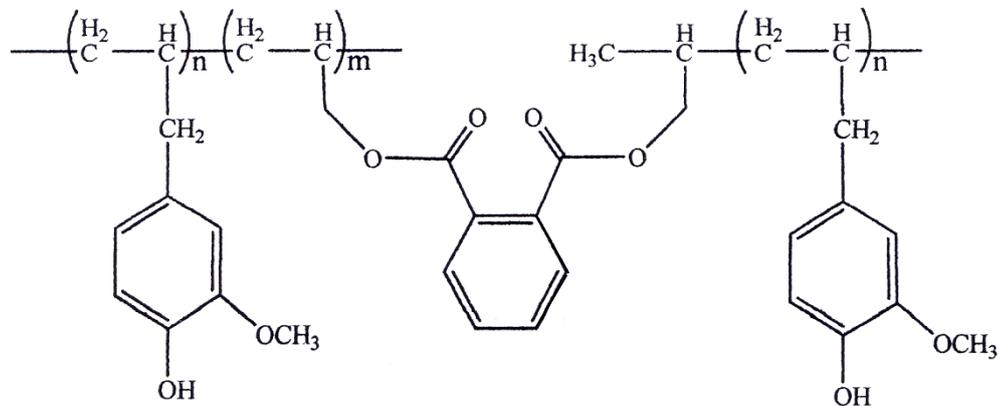
Senyawa eugenol (Gambar 1) merupakan salah satu komponen kimia dalam minyak cengkeh yang memberikan bau dan aroma yang khas pada minyak cengkeh. Eugenol merupakan senyawa dari golongan hidrokarbon beroksigen (*oxigenated hydrocarbon*) yang merupakan cairan minyak berwarna sedikit kekuningan, mudah menguap, akan menjadi coklat jika kontak dengan udara.



**Gambar 1.** Senyawa Eugenol

Pada umumnya polieugenol dapat dihasilkan melalui sintesis langsung menggunakan katalis, baik asam sulfat maupun boron trifluoro dietil eter (Handayani dan Wuryanti, 2001). Prediksi Struktur polieugenol hasil taut silang dengan DAF (Gambar 2) mengikuti prosedur atau metode yang telah dilakukan oleh Kiswandono *et al.* (2012), yakni eugenol dan dialil ftalat dimasukkan ke

dalam labu erlenmeyer, kemudian ditambahkan katalis  $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  dan diaduk dengan pengaduk magnet. Reaksi terjadi ditandai dengan perubahan warna.



**Gambar 2.** Prediksi Struktur polieugenol hasil taut silang dengan DAF (Kiswandono, 2014)

Kopolimerisasi eugenol dengan DAF merupakan reaksi polimerisasi adisi kationik karena gugus vinil dari polieugenol mengalami reaksi adisi. Dengan kopolimerisasi eugenol ini diharapkan dapat meningkatkan jumlah sisi aktif pada polimer yakni cincin benzena dan gugus hidroksi maka dapat menyebabkan berat molekul semakin tinggi sehingga dapat meningkatkan transpor fenol. DAF merupakan monomer yang memiliki gugus diena sehingga dapat digunakan kopolimerisasi untuk memperoleh struktur tersambung silang dalam hasil akhirnya (Kiswandono, 2010).

## B. Senyawa Fenol

Fenol ( $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$ ) merupakan senyawa organik yang mempunyai gugus hidroksil yang terikat pada cincin benzena. Senyawa fenol juga mempunyai beberapa nama lainnya seperti asam karbolik, asam fenat, asam fenilat, fenil hidroksida, oksibenzena, benzenol, monofenol, fenil hidrat, fenilat alkohol, dan fenol alkohol

(Nair *et al.* 2008). Fenol merupakan senyawa kimia yang berbentuk kristal putih dengan berat molekul 94,11 g/mol, berat jenis 1,0576 g/mL, titik didih 181,8°C dan titik leleh 40,9 °C dengan pKa sebesar 9,9 (Dean, 1985). Fenol bersifat higroskopis, berbau tajam, dan bersifat iritasi. Fenol menguap lebih lambat daripada air dan larut dengan baik dalam air, tetapi tidak larut dalam natrium karbonat. Fenol juga dapat larut dalam pelarut organik seperti hidrokarbon aromatik, alkohol, keton, eter, asam, dan hidrokarbon halogen (Park *et al.*, 2006). Molekul fenol mempunyai kecenderungan untuk melepas 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).

Fenol merupakan limbah utama yang ada pada air limbah dari beberapa aktivitas industri seperti batubara, pekerjaan tambang, penyulingan gasolin, produksi farmasi, pabrik baja dan besi, dan penyamakan kulit (El-Naas *et al.*, 2009).

Limbah fenol juga dihasilkan dari limbah cair industri mikroelektronik, industri minyak dan gas, tekstil, kertas, otomotif, pabrik bahan kimia, serat gelas, bubur kertas, perekat, kayu lapis, cat, keramik, plastik, formaldehida dan sebagainya.

Fenol bila mencemari perairan dapat menimbulkan rasa dan bau tidak sedap dan pada konsentrasi tertentu akan menyebabkan kematian organisme di perairan (Alva and Peyton, 2003). Fenol juga dapat menimbulkan efek yang buruk terhadap kesehatan manusia, antara lain berupa kerusakan hati, ginjal, penurunan

tekanan darah, pelemahan detak jantung hingga kematian. Senyawa fenol dapat dikatakan aman bagi lingkungan jika konsentrasinya berkisar antara 0,5-1,0 mg/L sesuai dengan KEPMEN No 51/MENLH/10/1995 dan ambang fenol dalam air baku air minum adalah 0,02 mg/L (Slamet dkk., 2006).

### **C. Metode Penanganan Limbah Fenol**

Fenol termasuk polutan yang berbahaya bagi lingkungan, biota dan manusia bila kadarnya melampaui batas. Para peneliti mencoba melakukan *recovery* dan *removal* fenol dalam perairan menggunakan berbagai macam metode. Adsorpsi merupakan salah satu metode *recovery* fenol, Senturk *et al.* (2009) melakukan penghilangan fenol dari perairan dengan menggunakan bentonit termodifikasi. Hasilnya menunjukkan bahwa bentonit termodifikasi mampu mengadsorpsi fenol secara spontan dan eksotermik pada kisaran temperatur 0-40 °C. Kelemahan metode adsorpsi adalah 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 (Slamet dkk., 2006).

Selain metode adsorpsi, metode penanganan fenol dapat dilakukan dengan menggunakan metode ekstraksi. Ekstraksi fenol dari air limbah menggunakan kumena sebagai ekstraktan. Percobaan dilakukan dengan tiga parameter dan menghasilkan bahwa proses ekstraksi kumena sangat bergantung pada pH, karena fenol terionisasi pada pH tinggi. Metode menunjukkan hasil yang baik pada berbagai konsentrasi fenol (50-2200 mg/L)(Liu *et al.*, 2013). Selain itu, ekstraksi fenol dari perairan dengan menggunakan N-oktanoilpirolidin telah dilakukan (Li *et al.*, 2004). Hasil penelitian menunjukkan bahwa N-oktanoilpirolidin dalam

kerosen sulfonat dalam kondisi asam mampu mengekstrak fenol secara efektif. Udiharto (1997) melakukan degradasi fenol menggunakan aktivitas organisme pada kondisi aerob. Hasil penelitian menyebutkan degradasi hampir mencapai 100% pada temperatur 37 °C. Namun, pengolahan limbah secara aerob membutuhkan energi tinggi dan lahan pengolahan yang luas. Selain itu, pengolahan limbah secara aerob membutuhkan kondisi khusus, seperti temperatur, pH, nutrisi dan daur hidup bakteri agar proses degradasi berjalan maksimal (Eckenfelder *et al.* 1988). Slamet dkk. (2005) melakukan pengolahan limbah fenol dan logam berat ( $\text{Cr}^{6+}$  atau  $\text{Pt}^{4+}$ ) secara simultan menggunakan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO-TiO}_2$  dan  $\text{CdS-TiO}_2$  didapat hasil oksidasi fenol mencapai 93%. Namun, daya adsorpsi material fotokatalis umumnya lebih rendah dibandingkan dengan material adsorben, sehingga laju degradasi fotokatalitik cukup rendah (Slamet dkk., 2006).

Suhandi dkk. (2006) melakukan biodegradasi fenol menggunakan bakteri yang dapat hidup pada medium dengan hidrokarbon sebagai satu-satunya sumber karbon. Beberapa metode yang telah digunakan tersebut menurut Stanisavljević and Nidic (2004) mempunyai kekurangan seperti biaya operasional yang tinggi, pembentukan produk samping yang berbahaya, efisiensi dan konsentrasi terbatas untuk metode tertentu dan tidak ekonomis karena membutuhkan bahan, biaya dan energi yang besar (Sun *et al.*, 2008).

#### **D. Teknologi Membran**

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 serta 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).

Pemisahan dengan membran tergolong hal baru dan cepat berkembang. Salah satu teknologi membran adalah membran cair (*liquid membrane*). Membran cair mendapat perhatian dari para peneliti karena keselektifannya yang tinggi dengan senyawa *carrier* dalam membran (Kusumocahyo *et al.*, 2006). Proses pemisahan menggunakan membran cair merupakan sebuah terobosan yang selektif menghilangkan kontaminan dari limbah (Alvarez, 2001). Proses pemisahan ini dapat dilakukan pada suhu kamar, tidak bersifat destruktif dan dapat dikombinasikan dengan proses lainnya tanpa penambahan zat lain (Mulder, 1996). Membran cair terdiri dari cairan yang berperan sebagai penghalang semipermeabel dan tidak bercampur dengan fasa sumber maupun penerima (Bartsch and Way, 1996).

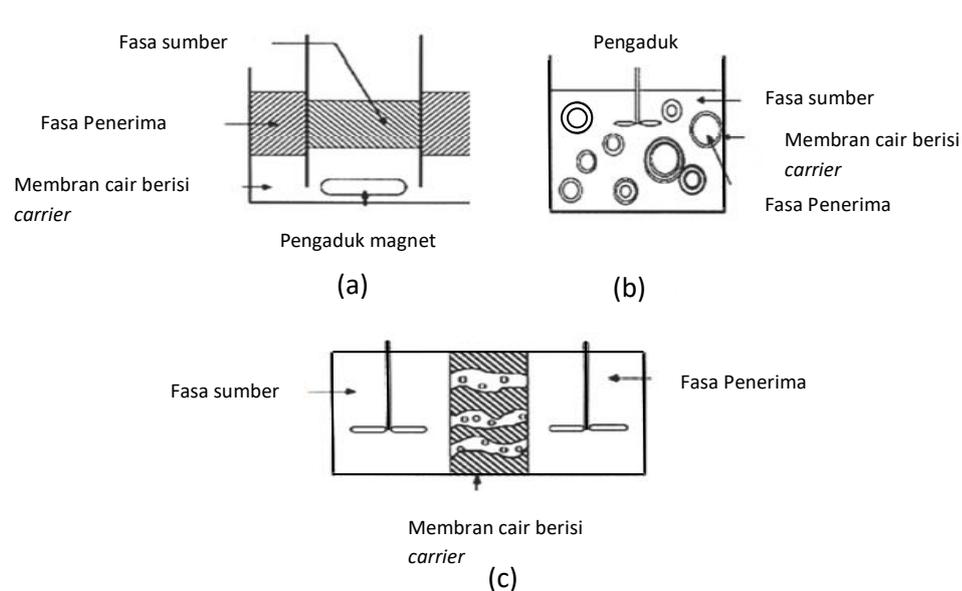
Pada membran cair, senyawa *carrier* merupakan faktor penting. Prinsip pemisahan pada membran cair tidak ditentukan oleh membran itu sendiri, tetapi oleh sifat senyawa *carrier*. Senyawa *carrier* sebagai fasilitator yaitu hal penentu dalam pemisahan dari fasa sumber. Senyawa *carrier* berada tetap di dalam membran dan dapat bergerak jika dilarutkan dalam cairan. Senyawa *carrier* yang dapat digunakan dalam membran cair mempunyai kriteria yaitu, (1) mempunyai kemampuan ekstraksi yang tinggi melalui pembentukan kompleks yang stabil di

dalam membran, (2) mempunyai selektifitas pemisahan yang tinggi, (3) memiliki kelarutan dan koefisien difusi yang baik (Bartsch and Way, 1996).

Membran berdasarkan pada struktur dan prinsip dikelompokkan menjadi tiga jenis antara lain adalah membran berpori, membran tidak berpori, dan membran cair.

(Venkateswaran and Palanivelu, 2006) mengklasifikasikan membran cair menjadi tiga tipe yaitu membran cair ruah (*Bulk Liquid Membranes*), membran cair emulsi (*Emulsion Liquid Membranes*) dan membran cair berpendukung (*Supported Liquid Membranes*) (Kocherginsky *et al.*, 2007) yang dapat dilihat pada

Gambar 3.



**Gambar 3.** Membran cair (a) BLM, (b) ELM, (c) SLM (Pattilo, 1995)

BLM terdiri dari sejumlah ruah fasa sumber dan penerima yang dipisahkan oleh sejumlah pelarut organik yang tidak bercampur dengan air. Biasanya BLM dipisahkan tanpa pendukung mikropori, sehingga disebut sebagai lapisan BLM (Kislik, 2010). Menurut Gardner *et al.* (2006) ditinjau dari aspek ekonomis, BLM tidak dapat digunakan dalam skala industri. Bahkan menurut Li (1968) BLM

memiliki luas permukaan yang kecil, sehingga penggunaannya terbatas pada kajian transpor dalam skala laboratorium.

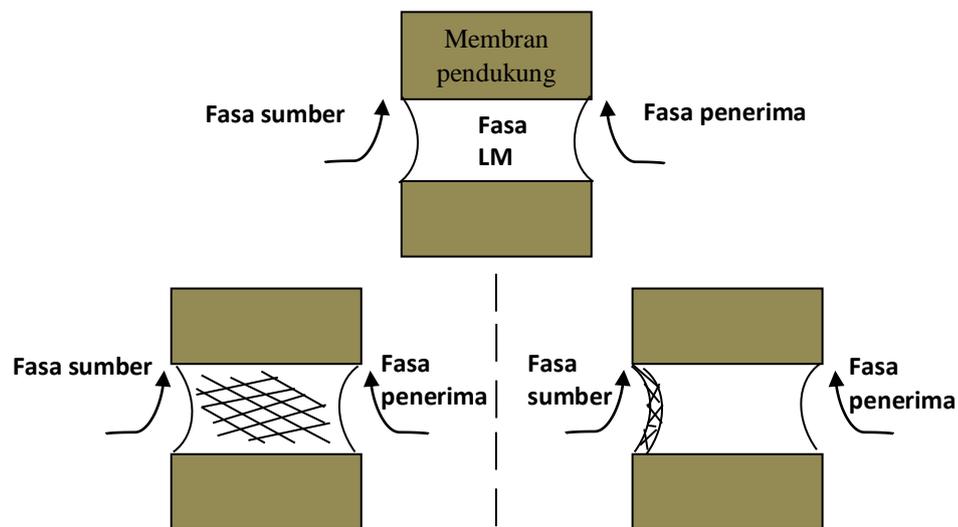
ELM merupakan membran cair dimana fasa penerima diemulsikan dalam membran cair, membran cair akan terdispersi ke fasa sumber dan terjadi transfer massa dari fasa sumber ke fasa penerima. Permasalahan dalam metode ini adalah emulsi harus dihasilkan sebelum proses pemisahan berlangsung dan harus stabil untuk menghindari kebocoran, namun emulsi juga harus bersifat tidak stabil saat proses pemisahan selesai (Kocherginsky *et al.*, 2007).

SLM adalah membran cair dengan larutan organik diimobilisasi dalam pori polimer, yang mana membran diletakkan di tengah pipa yang memisahkan kedua fasa (Chimuka *et al.*, 1998). SLM sangat efektif dalam proses pemisahan dan pemurnian pada skala industri maupun laboratorium (Yaftian *et al.*, 1998). SLM juga memiliki selektifitas yang baik, menggunakan sedikit ekstrak dan konsumsi energi rendah (Mohapatra and Manchanda, 2003). Namun SLM memiliki permasalahan dengan kestabilan yang rendah. Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian yang telah dilakukan oleh Zha *et al.* (1995); Hill *et al.* (1995), yang menjelaskan bahwa permasalahan pada SLM adalah mudah hilangnya komponen organik di dalam membran sehingga mengalami kebocoran pada saat transpor. Ditambahkan oleh Nghiem *et al.* (2006) SLM mempunyai stabilitas yang rendah, dengan komponen organik atau membran cair mudah keluar dari pori polimer yang diakibatkan oleh pembentukan emulsi.

Pembentukan emulsi dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi membran cair.

Semakin besar konsentrasi membran cair, maka kelarutan senyawa *carrier* akan

meningkat dan tegangan muka antara membran dan fasa sumber menjadi berkurang. Ketika tegangan muka berkurang, emulsi akan terbentuk dan menyebabkan membran cair keluar dari pori polimer. Mekanisme kehilangan membran cair melalui pembentukan emulsi. Kekurangan ini dapat diatasi dengan membuat membran cair menjadi gel menggunakan PVC. Pembentukan gel dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan menghomogenkan gel dan dengan membuat lapisan tipis pada salah satu sisi membran (Neplenbroel *et al.*, 1992) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Skema membran a. SLM tanpa gel, b. SLM menggunakan gel homogen, c. SLM menggunakan gel pada salah satu sisi membran (Dzygiel and Wiczorek, 2010)

Modifikasi dengan pembentukan gel pada membran SLM menggunakan PVC disebut dengan metode PIM. Membran tipe ini biasanya dibentuk oleh suatu polimer seperti selulosa triasetat (CTA) atau polivinil klorida (PVC), molekul *carrier* dan *plasticizer* (Kislik, 2010). Pencampuran komponen-komponen tersebut membentuk suatu membran 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).

PIM dianggap mampu meningkatkan kestabilan dari metode SLM karena dua hal, yaitu polimer dasar (misalnya: 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.

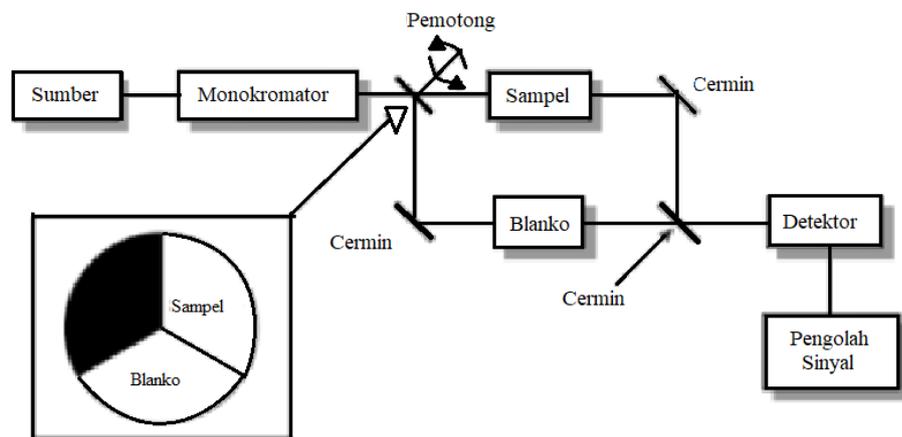
Penelitian menggunakan metode PIM telah dilakukan oleh Kozlowski (2006) dan Pont *et al.* (2008). Kozlowski (2006) menggunakan PIM untuk transpor ion logam Pb(II), Cd(II) dan Zn(II). Hasilnya metode PIM efektif untuk mentranspor ion logam. Pont *et al.* (2008) menggunakan PIM untuk transpor selektif dan penghilangan Cd dan larutan klorida hasilnya bahwa PIM terbukti efektif untuk transpor Cd baik dalam media garam maupun asam.

## **E. Karakterisasi**

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

FTIR merupakan suatu metode analisis yang mengamati interaksi antar atom-atom dalam molekul berdasarkan perubahan vibrasi yang terbentuk pada saat sampel teradsorpsi dengan energi khusus dan dilewati oleh sinar inframerah (Ayyad, 2011). Sinar inframerah ini berada pada jangkauan panjang gelombang 2,5 – 25  $\mu\text{m}$  atau jangkauan frekuensi 2000 – 400  $\text{cm}^{-1}$ , yaitu daerah khusus yang berguna untuk identifikasi gugus fungsional.

Prinsip dasar dari analisis FTIR adalah penyerapan radiasi elektromagnetik oleh gugus-gugus fungsi tertentu dengan energi vibrasi dalam bentuk spektrum. Besarnya bilangan gelombang yang akan muncul bergantung pada kekuatan ikatan dan massa atom yang melakukan ikatan kimia. Saat sampel dilewati sinar inframerah, maka sejumlah frekuensi akan diserap dan sebagian lainnya ditransmisikan, selanjutnya diterjemahkan kedalam sebuah kurva spektrum inframerah. Instrumen FTIR menggunakan sistem yang disebut dengan interferometer untuk mengumpulkan spektrum. Interferometer terdiri atas sumber radiasi, pemisah berkas, dua buah cermin, laser dan detektor. Skema lengkap dari instrumentasi FTIR ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Skema alat *Fourier Transform Infra Red* (Ayyad, 2011)

Pada skema, sumber (*source*) akan memancarkan berkas radiasi sinar infra merah dengan berbagai panjang gelombang. Radiasi ini selanjutnya dilewatkan melalui monokromator untuk mendapatkan radiasi dengan panjang gelombang tertentu (tunggal), dan berkas sinar inilah yang dilewatkan melalui pembagi (*chopper*) yang berperan untuk membagi sinar menjadi dua berkas. Berkas pertama

diteruskan ke sampel dan berkas kedua akan diteruskan ke sebuah cermin yang akan memantulkan berkas sinar yang tidak diserap oleh blanko melalui cermin bercelah, sehingga kedua berkas menjadi satu. Berkas sinar inilah yang akhirnya diteruskan ke detektor, dan selanjutnya masuk ke pengolah data menghasilkan spektrum.

FTIR digunakan untuk melakukan analisa kualitatif yaitu untuk mengetahui ikatan kimia yang dapat ditentukan dari spektra vibrasi yang dihasilkan oleh suatu senyawa pada panjang gelombang tertentu. Selain itu digunakan juga untuk analisa kuantitatif yaitu melakukan perhitungan tertentu dengan menggunakan intensitas. Karakterisasi menggunakan FTIR dapat dilakukan dengan menganalisis spektra yang dihasilkan sesuai dengan puncak-puncak yang dibentuk oleh suatu gugus fungsi, karena senyawa tersebut dapat menyerap radiasi elektromagnetik pada daerah inframerah dengan panjang gelombang antara 2,5 – 50  $\mu\text{m}$ .

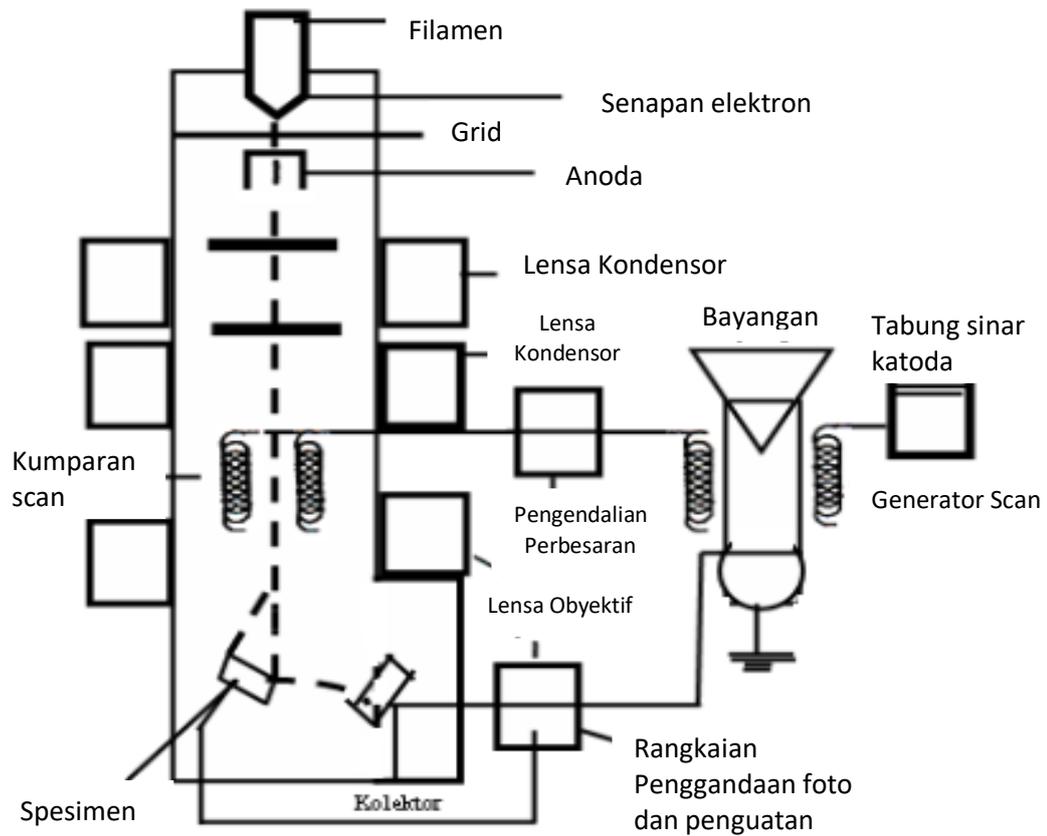
Khusus untuk katalis, FTIR digunakan juga untuk identifikasi jenis situs asam yang ada dalam katalis yang telah mengadsorpsi basa adsorbat (Seddiqi, 2003). Dari spektra yang dihasilkan dari FTIR, jenis situs asam (Bronsted-Lowry atau Lewis) yang terdapat pada katalis dapat diketahui melalui puncak-puncak serapan yang dihasilkan dari interaksi basa adsorbat dengan situs-situs asam tersebut. Pada penggunaan piridin sebagai basa adsorbat, situs asam Bronsted-Lowry akan ditandai dengan puncak serapan pada bilangan-bilangan gelombang 1485 – 1500, 1620, dan 1640  $\text{cm}^{-1}$ . Sedangkan untuk situs asam Lewis puncak-puncak muncul akibat terbentuknya ikatan koordinasi antara ikatan C-C dengan kompleks

piridin dan ditandai oleh puncak-puncak serapan pada bilangan gelombang 1447 – 1460, 1488 - 1503, 1580, dan 1600 – 1633  $\text{cm}^{-1}$  (Tanabe *et al.*, 1981).

## 2. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

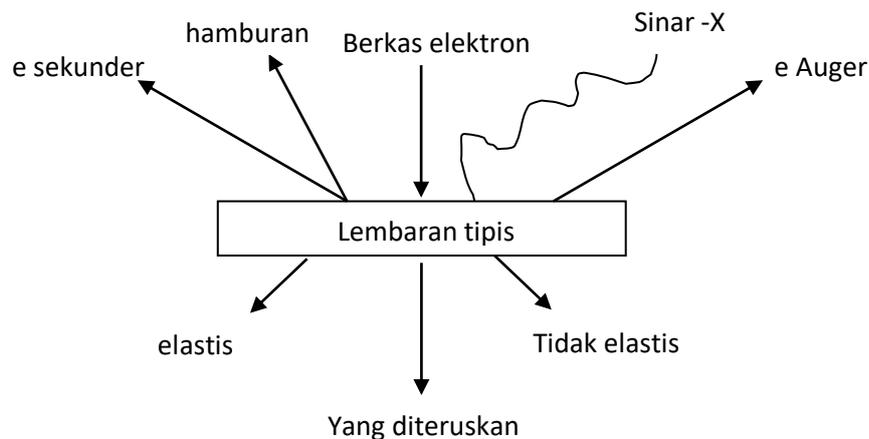
Alat SEM (*Scanning Electron Microscopy*) memiliki kegunaan dalam melakukan karakterisasi material yang heterogen pada permukaan bahan skala mikrometer atau bahan submikrometer. Pada SEM dapat diamati karakteristik bentuk, struktur, serta distribusi pori pada permukaan bahan. Prinsip kerja alat ini adalah Apabila elektron berinteraksi dengan bahan (*specimen*) maka akan menghasilkan elektron sekunder dan sinar-X karakteristik. *Scanning* pada permukaan bahan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur *scanning generator* dan *scanning coils*. Elektron sekunder hasil interaksi antara elektron dengan permukaan specimen ditangkap oleh detektor SE (*Secondary Electron*) yang kemudian diolah dan diperkuat oleh *amplifier* dan kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (Smallman, 2000). Skema dasar SEM disajikan pada Gambar 6.

Setiap jumlah sinar yang dihasilkan dari monitor sinar katoda dihubungkan dengan jumlah target, jika terkena berkas elektron berenergi tinggi dan menembus permukaan target, maka terjadi ionisasi atom dari cuplikan padatan. Elektron bebas ini tersebar keluar dari aliran sinar utama, sehingga tercipta lebih banyak elektron bebas, dengan demikian energinya habis lalu melepaskan diri dari target. Elektron ini kemudian dialirkan ke unit demagnifikasi dan dideteksi oleh detektor dan selanjutnya dicatat sebagai suatu foto (Wagiyo dan Handayani, 1997).



**Gambar 6.** Skema alat *Scanning Electron Microscopy* (Smallman, 2000)

Struktur suatu material dapat diketahui dengan cara melihat interaksi yang terjadi jika suatu *specimen* padat dikenai berkas elektron. Berkas elektron yang jatuh tersebut sebagian akan dihamburkan sedang sebagian lagi akan diserap dan menembus *specimen*. Bila *specimen* cukup tipis, sebagian besar ditransmisikan dan beberapa elektron dihamburkan secara tidak elastis. Interaksi dengan atom dalam *specimen* menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X dan elektron auger, yang semuanya dapat digunakan untuk mengkarakterisasi material. Berikut ini adalah gambaran mengenai hamburan elektron-elektron apabila mengenai *specimen* disajikan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Hamburan elektron-elektron apabila mengenai *specimen*

Interaksi antara elektron dengan atom pada sampel akan menghasilkan pelepasan elektron dengan energi rendah, foton sinar-X, dan elektron auger, yang seluruhnya dapat digunakan untuk mengkarakterisasi material. Elektron sekunder adalah elektron yang dipancarkan dari permukaan kulit atom terluar yang dihasilkan dari interaksi berkas elektron jauh dengan padatan sehingga mengakibatkan terjadinya loncatan elektron yang terikat lemah dari pita konduksi. Elektron auger adalah elektron dari kulit orbit terluar yang dikeluarkan dari atom ketika elektron tersebut menyerap energi yang dilepaskan oleh elektron lain yang jatuh ke tingkat energi yang lebih rendah (Smallman, 2000).

### 3. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis merupakan salah satu instrumentasi yang digunakan untuk mengukur absorpsi energi cahaya oleh suatu atom atau molekul pada panjang gelombang tertentu. Prinsip dasar spektrofotometer UV-Vis yaitu saat suatu material disinari dengan gelombang elektromagnetik maka foton akan

diserap oleh electron dalam material. Setelah menyerap foton, elektron akan berusaha berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi.

Panjang gelombang cahaya UV-Vis bergantung pada mudahnya perpindahan elektron. Senyawa yang menyerap cahaya pada daerah tampak mempunyai elektron yang lebih mudah berpindah dibanding senyawa yang menyerap pada panjang gelombang UV yang lebih pendek. Intensitas penyerapan dijelaskan dengan hukum Lambert-Beer yang menyatakan bahwa proporsi berkas cahaya datang yang diserap oleh suatu bahan tidak bergantung pada intensitas berkas cahaya yang datang. Hukum Lambert-Beer hanya berlaku jika di dalam bahan tidak ada reaksi kimia ataupun proses fisis yang dapat dipicu oleh berkas cahaya datang.

$$A = \varepsilon b C \quad \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

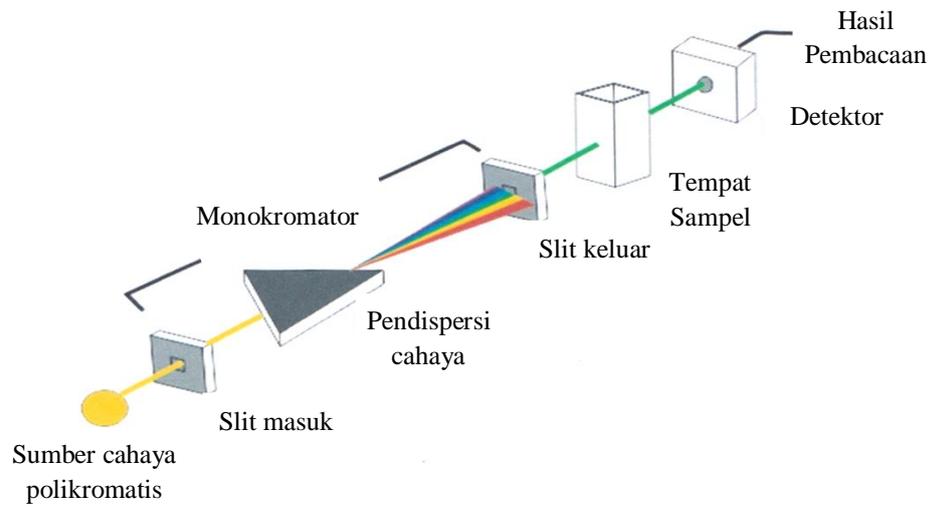
$A$  = absorbansi

$\varepsilon$  = absorptivitas molar (dalam  $L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ )

$b$  = ketebalan bahan/medium yang dilintasi oleh cahaya (cm)

$C$  = konsentrasi molar ( $\text{mol L}^{-1}$ )

Persamaan pada hukum Lambert-Beer yaitu absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi molar. Ini artinya jika nilai absorbansi menurun mendekati nol maka konsentrasi bahan/larutan yang dilalui juga akan mendekati nol. Dengan kata lain bahan/larutan telah terdegradasi sempurna. Instrumen spektrofotometer dapat dilihat pada Gambar 8 (Underwood and Day, 1980).



**Gambar 8.** Instrumen spektrofotometer (Underwood and Day, 1980)

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada 28 Februari 2019 sampai 9 Juli 2019 di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi senyawa *carrier* Co-EDAF menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) yang dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung. Karakterisasi membran PIM menggunakan SEM dan FT-IR yang dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung. Analisis optimasi transpor menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi FMIPA Universitas Lampung. Analisis aplikasi limbah buatan menggunakan *Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy* (MP-AES) yang dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung.

## B. Alat dan Bahan

### 1. Alat-alat yang digunakan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah *magnetic stirrer*, *magnetic bar*, neraca digital analitik (Mettler Toledo AB54-S), pipet tetes, spatula, tabung reaksi, corong pisah, statif dan klem, *chamber* berdiameter 3,5 cm, mortar dan alu, *thickness gauge* (Mitutoyo 7301), pH meter (HM-30R), *scanning electron microscope* (SEM) (JSM 6360LA), spektrofotometer UV-Vis (Hitachi U-2010), spektrofotometer *fourier transform infrared* (FTIR) (Shimadzu 820PC), gelas ukur, gelas kimia, batang pengaduk, spatula, labu bulat, oven, labu takar, dan cetakan membran.

### 2. Bahan-bahan yang digunakan

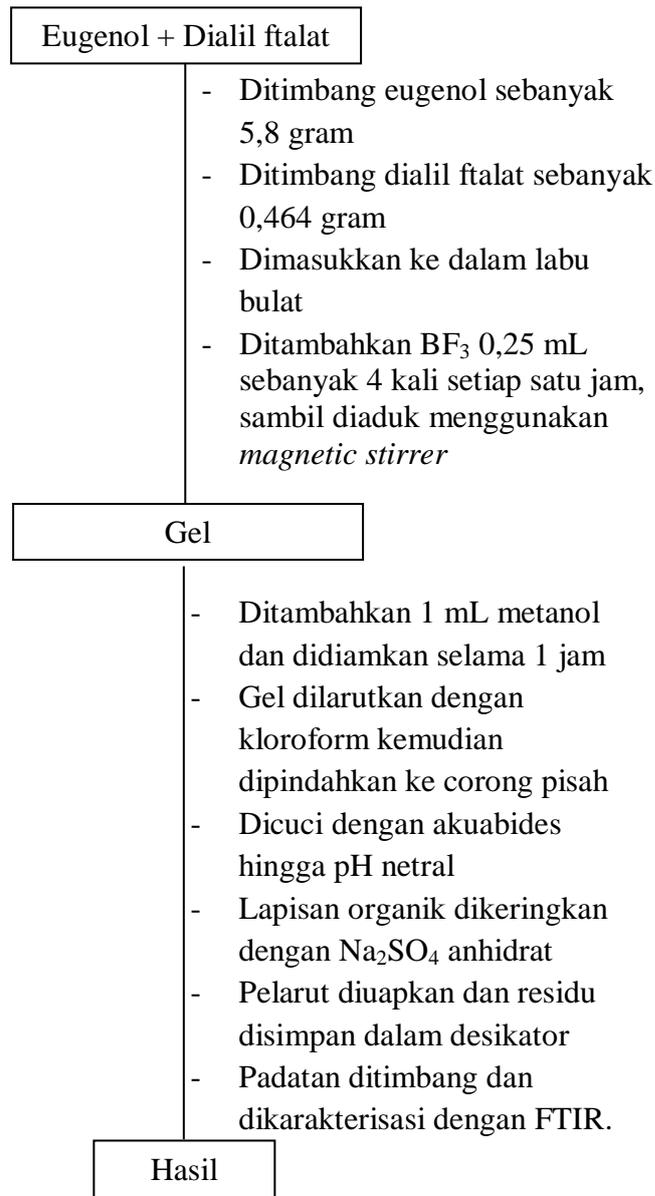
Bahan-bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah eugenol, dialil ftalat (DAF), boron triflorida ( $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ ), metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), kloroform ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ), akuabides, fenol, natrium sulfat anhidrat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), polivinil klorida (PVC), dibenzil eter (DBE), amonia ( $\text{NH}_3$ ), asam klorida (HCl), tetrahidrofur (THF), natrium hidroksida (NaOH), akuades, 4-aminoantipirin (AAP), kalium ferrisianida ( $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ), timbal (II) nitrat ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ), tembaga (II) nitrat ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), kalium fosfat ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), dikalium fosfat ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ), tisu, dan *aluminium foil*.

## C. Metode

### 1. Sintesis Copoli Eugenol-Dialil Ftalat (Co-EDAF) 8 %

Eugenol dimasukkan ke dalam labu bulat, kemudian ditambahkan DAF dan boron triflorida  $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  sebagai katalis sebanyak empat kali. Penambahan katalis ini dilakukan setiap satu jam sambil diaduk dengan pengaduk magnet pada suhu kamar. Adanya reaksi ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi merah.

Pada penambahan katalis terakhir, reaksi polimerisasi dilanjutkan hingga 12-16 jam, lalu ditambahkan 1 mL metanol ke dalam labu bulat untuk menghentikan reaksi. Gel yang terbentuk dilarutkan dalam kloroform kemudian dipindahkan dalam corong pisah kemudian dicuci berkali-kali dengan akuabides sampai pH netral. Lapisan organik dipindahkan ke dalam gelas kimia kapasitas 50 mL dan ditambah  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidrat kemudian didekantasi. Pelarutnya diuapkan dengan *rotary evaporator* pada suhu  $40\text{ }^\circ\text{C}$  kemudian residu disimpan dalam desikator. Padatan atau polimer yang terbentuk ditimbang lalu dikarakterisasi dengan FT-IR. Adapun diagram alir dari sintesis Copoli Eugenol-Dialil Ftalat (*Co-EDAF*) 8 % ditunjukkan pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Diagram alir sintesis Co-EDAF 8%

## 2. Pembuatan Membran PIM

Membran PIM dicetak atau dibuat dengan variasi berat 0,2700; 0,5400 dan

1,0800 g dalam suatu cetakan yang telah dilengkapi dengan *magnetic stirrer*.

Komponen penyusun membran yaitu Co-EDAF sebagai *senyawa carrier*, PVC

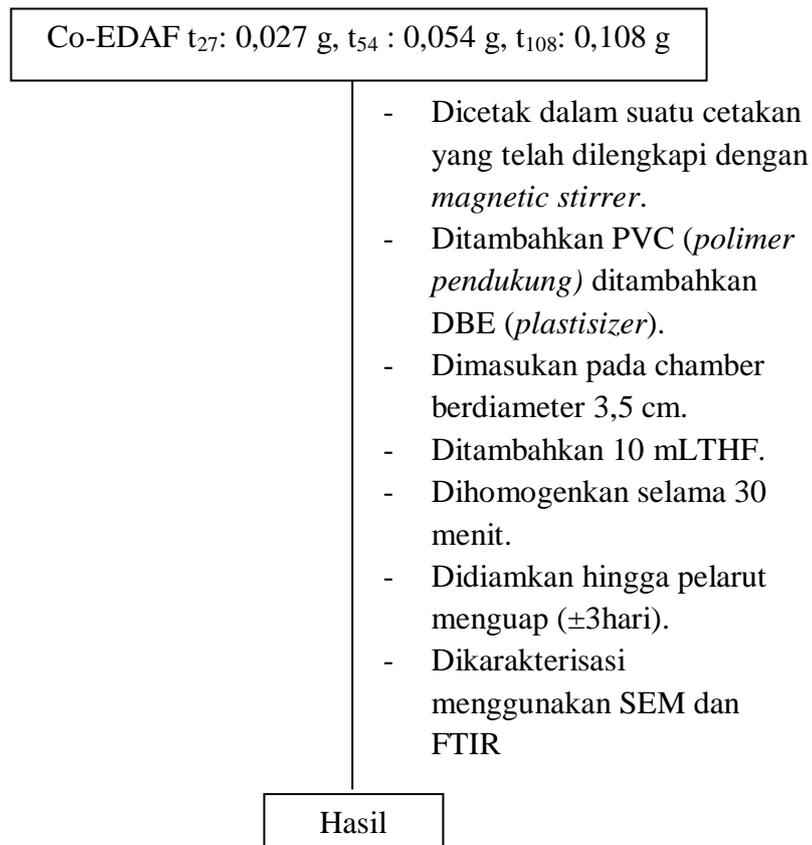
sebagai polimer dasar, dan DBE sebagai *plasticizer* dengan komposisi membran

PIM seperti terlihat di Tabel 1. Tetrahidrofuran (THF) sebanyak 10 mL digunakan pada setiap membran PIM yang berfungsi untuk menghomogenkan campuran dalam cetakan, kemudian hasil cetakan didiamkan selama tiga hari untuk menguapkan pelarut secara alami.

**Tabel 1.** Komposisi komponen pembentuk membran co-EDAF

Membran	co-EDAF (g)	PVC (g)	DBE (g)	Berat Total (g)
1	0,027	0,0864	0,1566	0,2700
2	0,054	0,1728	0,3132	0,5400
3	0,108	0,3456	0,6264	1,0800

Setelah membran PIM dibuat, kemudian dipakai untuk proses transpor fenol yang dilakukan pada *chamber* berdiameter 3,5 cm. Diameter membran yang langsung bersentuhan dengan larutan adalah 2,5 cm. Fasa sumber berisi larutan fenol 60 ppm dan fasa penerima berisi NaOH yang berperan sebagai *stripping agent*. Karakterisasi membran sebelum dan sesudah transpor dianalisis menggunakan FT-IR dan SEM. Adapun diagram alir pada pembuatan membran PIM ditunjukkan pada Gambar 10.

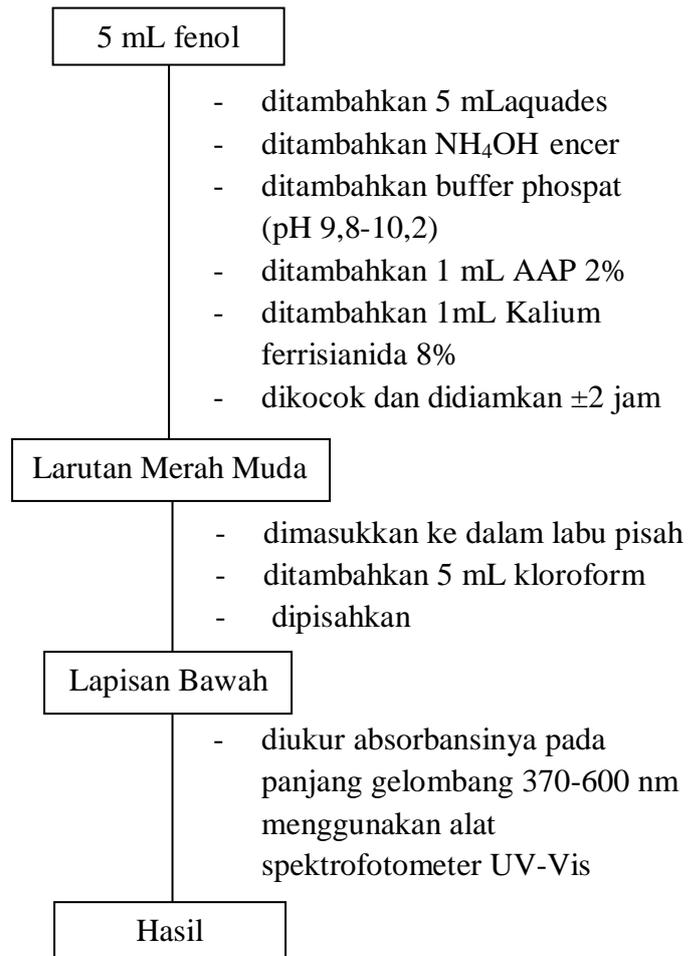


**Gambar 10.** Diagram alir pembuatan membran PIM

### 3. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Fenol

Sebanyak 5 mL fenol 60 ppm ditambahkan dengan 5 mL akuades sehingga volumenya menjadi 10 mL dan ditambahkan dengan  $\text{NH}_4\text{OH}$  1 M dan pH-nya diatur menjadi 9,8-10,2 menggunakan buffer fosfat. Kemudian, ditambahkan dengan 1 mL larutan 4-aminoantipirin 2% dan 1 mL larutan kalium ferrisianida 8% lalu dikocok dan didiamkan selama 2 jam sampai terjadi perubahan warna (merah muda). Setelah terjadi perubahan warna, larutan dipindahkan ke dalam corong pisah dan ditambahkan dengan 5 mL kloroform. Corong pisah dikocok dan didiamkan beberapa saat hingga terjadi pemisahan, kemudian lapisan

kloroform dipisahkan dan dilakukan pengukuran absorbansi pada ekstrak larutan kloroform menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada  $\lambda$  (panjang gelombang) 400 nm sampai 600 nm untuk mendapatkan panjang gelombang maksimum. Adapun diagram alir penentuan panjang gelombang maksimum fenol ditunjukkan pada Gambar 11.

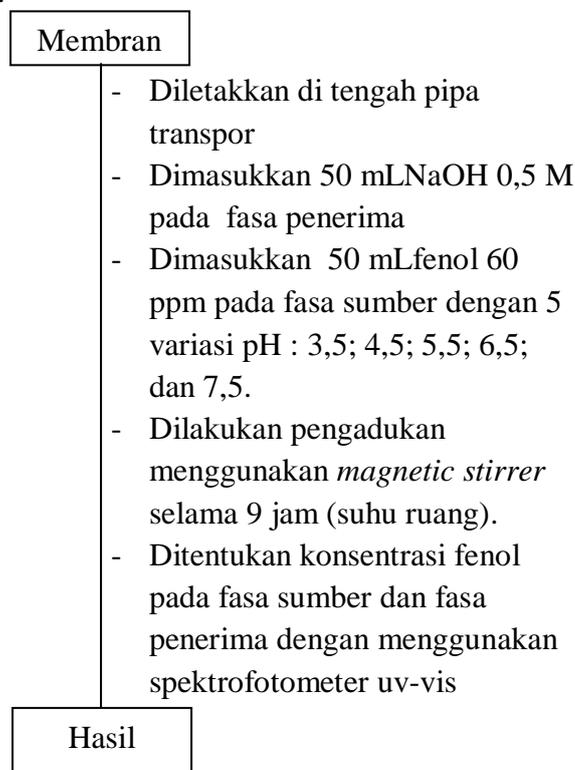


**Gambar 11.** Diagram alir penentuan panjang gelombang maksimum fenol

#### 4. Studi Transpor Fenol

##### a. Optimasi Transpor Fenol dengan Variasi pH pada Fasa Sumber

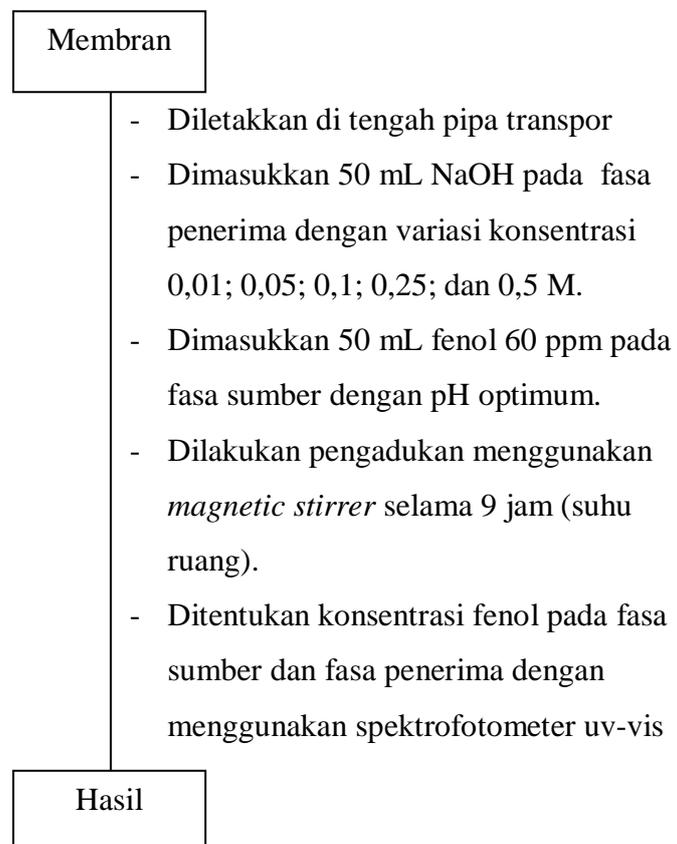
Membran polimer dengan ketebalan normal yang sudah dicetak dan mengandung senyawa *carrier* ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL NaOH 0,5 M sebagai fasa penerima dan masing-masing 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber. Pipa transpor ditutup dan diaduk selama 9 jam dengan pengaduk magnet pada fasa sumber dengan variasi pH 3,5; 4,5; 5,5; 6,5; dan 7,5 dan 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. Adapun diagram alir optimasi transpor variasi pH pada fasa sumber ditunjukkan pada Gambar 12.



**Gambar 12.** Diagram alir optimasi transpor variasi pH pada fasa sumber

### b. Optimasi Transpor Fenol dengan Variasi Konsentrasi pada Fasa Penerima

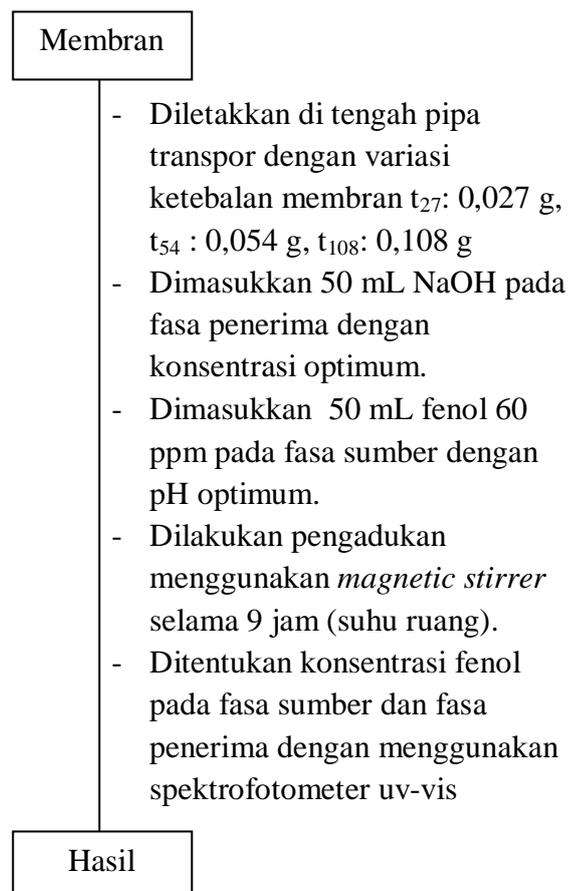
Membran polimer dengan ketebalan normal yang sudah dicetak dan mengandung senyawa *carrier* ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL NaOH sebagai fasa penerima dan masing-masing 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet pada fasa sumber dengan pH optimum dan fasa penerima dengan variasi konsentrasi 0,01; 0,05; 0,1; 0,25; dan 0,5 M. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Adapun diagram alir pada optimasi transpor variasi fasa penerima ditunjukkan pada Gambar 13.



**Gambar 13.** Diagram alir optimasi transpor variasi konsentrasi fasa penerima

### c. Optimasi Transpor Fenol dengan Variasi Ketebalan Membran

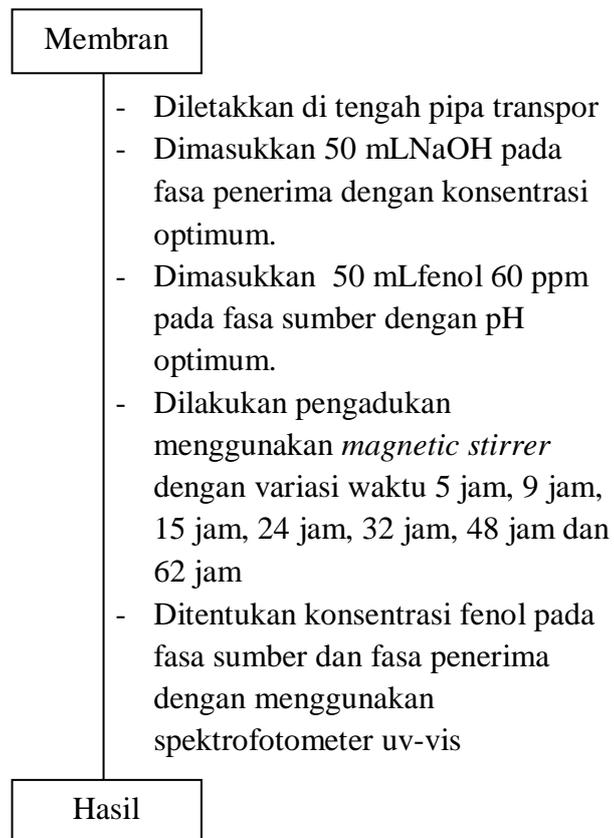
Membran polimer dengan variasi ketebalan  $t_{27}$ ,  $t_{54}$ , dan  $t_{108}$  yang sudah dicetak dan mengandung senyawa *carrier* ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL NaOH sebagai fasa penerima dan masing-masing 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet pada fasa sumber dan fasa penerima dengan pH dan konsentrasi optimum. 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. Adapun diagram alir optimasi variasi ketebalan membran ditunjukkan pada Gambar 14.



**Gambar 14.** Diagram alir optimasi transpor variasi ketebalan membran

#### d. Optimasi Transpor Fenol dengan Variasi Waktu Kontak

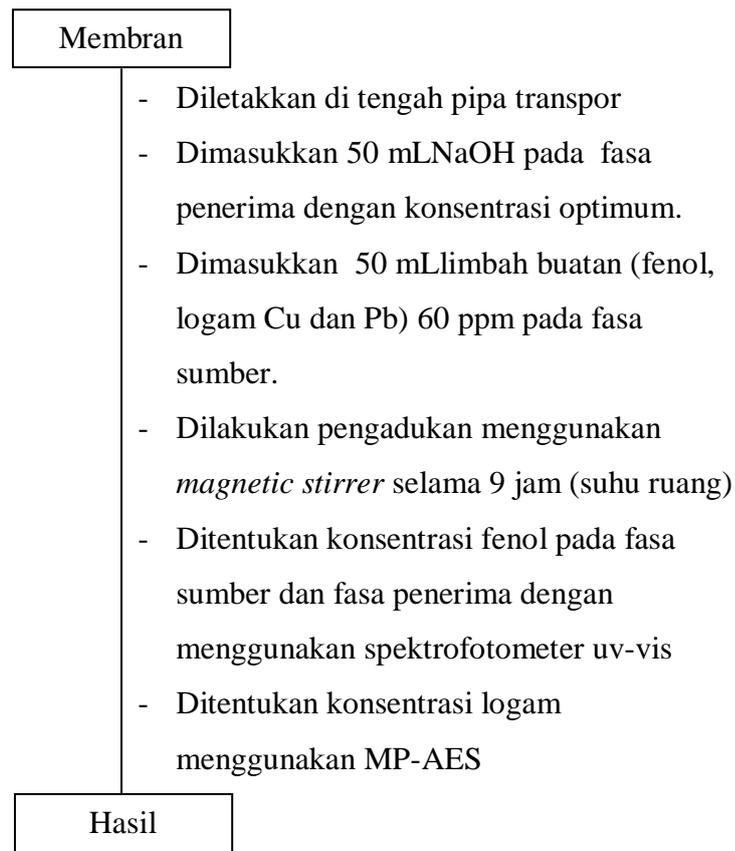
Membran polimer dengan ketebalan optimum yang sudah dicetak dan mengandung senyawa *carrier* ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL NaOH sebagai fasa penerima dengan konsentrasi optimum dan masing-masing 50 mL fenol 60 ppm dengan pH optimum sebagai fasa sumber. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk *magnetic stirrer* dengan variasi waktu 4 jam, 9 jam, 15 jam, 24 jam, 36 jam, 48 jam dan 62 jam. 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. Adapun diagram alir optimasi transpor variasi waktu kontak ditunjukkan pada Gambar 15.



**Gambar 15.** Diagram alir optimasi Transpor variasi waktu kontak

**e. Transpor Fenol pada Limbah Buatan**

Transpor fenol pada limbah buatan dilakukan pada pH fasa sumber optimum 5,5, Konsentrasi fasa penerima optimum 0,1 M, dengan ketebalan membran optimum  $t_{54}$ . Membran PIM dengan diameter 3,5 cm dipasang pada pembatas kolom transpor membran antara fasa sumber dan penerima, kemudian kolom sisi fasa penerima diisi 50 mL NaOH dengan konsentrasi optimum dan sisi fasa sumber diisi 50 mL limbah buatan, yaitu larutan fenol 60 ppm yang mengandung logam Pb(II) dan Cu(II). Larutan sumber diatur pH nya dengan pH optimum fenol. Adapun diagram alir transpor fenol pada limbah buatan ditunjukkan pada Gambar 16.



**Gambar 16.** Diagram alir transpor fenol pada limbah buatan

Kolom transpor membran ditutup lalu pada masing-masing fasa diaduk selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah selesai diaduk, konsentrasi fenol yang terdapat pada fasa sumber dan fasa penerima dianalisis kadar fenolnya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum, sedangkan logam Pb dan Cu dianalisis menggunakan MP-AES dan kemudian dibandingkan.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Sintesis Copoli Eugenol-Dialil Ftalat (Co-EDAF) 8 % menghasilkan serbuk berwarna *orange* dengan titik leleh 89,3-90,8 °C, Sintesis ini berhasil dilakukan ditandai dengan hilangnya gugus vinil (CH=CH<sub>2</sub>) pada bilangan gelombang 995,27 cm<sup>-1</sup> dan gugus alil pada bilangan gelombang 1636 cm<sup>-1</sup>.
2. Transpor fenol optimum pada pH 5,5 fasa sumber, konsentrasi NaOH 0,1 M, dengan ketebalan membran t<sub>54</sub> dan waktu kontak optimum selama 48 jam dengan % fenol yang dapat tertranspor sebanyak 82,42 %.
3. Kompetisi fenol dan logam menunjukkan bahwa metode PIM yang digunakan cukup selektif untuk *recovery* fenol, hal ini dibuktikan dengan hasil konsentrasi logam yang tertranspor ke fasa penerima yang cukup rendah yaitu pada logam Pb 0,109 ppm atau setara dengan 0,181% dan pada logam Cu 0,051 ppm atau setara dengan 0,085%.

## B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, pada penelitian selanjutnya

disarankan :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai uji kestabilan pada membran Co-EDAF 8% dalam transpor fenol.
2. Perlu dilakukan transpor fenol menggunakan senyawa *carrier* selain Co-EDAF 8% dengan menggunakan metode *polymer inclusion membrane* (PIM).

## DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez, G.S. 2001. Study on Polymeric Inclusion Membranes, Transport and Characterisation. Thesis Royal Institute of Technology. Stockholm.
- Alva, V.A., and Peyton, B. M. 2003. Phenol and Catechol Biodegradation by the Haloalkaliphile *Halomonas Campisalis*: Influence of pH and Salinity. *Environmental Science and Technology* 37(19):4397–4402.
- Ayyad, O.D. 2011. Novel Strategies The Synthesis of Metal Nanoparticle and Nanostructure. Thesis. Universitas de Barcelona. Barcelona.
- Bartsch, R.A., and Way, J.D. 1996. Chemical Separations With Liquid Membranes. *J. Am. Chem. Soc* 622-442.
- Chimuka, L., Megersa, N., Nonberg, J., Mathiasson and Ai J. 1998. Incomplete Trapping in Supported Liquid Membrane Extraction with a Stagnant Acceptor for Weak Bases. *Anal. Chem* 70: 3906-3911.
- Dean, J.A. 1985. Separation of Metal Species by Supported Liquid Membranes. *Sep. Sci. Technol* 19:857-894.
- Dzygiel, P., and Wieczorek, P. 2010. Stereoselective Transport of Amino Acids and Peptides Through Liquid Membranes. *J. Chem. In* 33.
- Eckenfelder, W.W., Patozka, J.B., and Pulliam, G.W. 1988. Anaerobic Versus Aerobic Treatment in the USA. Proceedings of the 5th International Symposium of Anaerobic. *Digestion* 105-114.
- El-Naas, M., Al-Muhtaseb, S.A., and Makhlof, S. 2009. Biodegradation of Phenol by *Pseudomonas Putida* Immobilized in Polyvinyl Alcohol (PVA) Gel. *Journal of Hazardous Materials* 164:720–725.
- Febriasari, A. 2011. *Study Recovery Fenol Menggunakan Teknologi Polymer Inclusion Membrane (PIM) Berbasis PVC dengan Polieugenol sebagai Carrier*. (Tesis). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Gardner, J.S., Peterson, Q.P., Walker, J.O., Jensen, B.D., Adhikary, B., Harrison, R.G., and Lamb, J.D. 2006. Anion Transport Through Polymer Inclusion Membranes Facilitated by Transition Metal Containing Carriers. *J. Membr. Sci* 277:165-167.

- Handayani dan Wuryanti. 2001. Sintesis Polieugenol dengan Katalis Asam Sulfat, *Jurnal Ilmu Dasar*, Vol. 2 No. 20:103-110.
- Harimu, L. 2010. Sintesis Amida, Ester dan Asam Turunan Polieugenol dan Kajian Aplikasinya untu Pengompleks Logam pad Metode Pemisahan Ekstraksi Cair-Cair dan Transpor Membran Cair. (Disertasi). Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Hill, C., Dozol, J.F., Rouquette, H., Eymard, S., and Tournois, B. 1996. Study of the Stability of Some Supported Liquid Membranes. *J. Membr. Sci* 114:73-80.
- Huang R, Yang B, Liu Q, Liua Y. Multifunctional activated carbon/ chitosan composite preparation and its simultaneous adsorption of Sustainable Energy. 2014; 33(3):814–23.
- Kislik, V.S. 2010. Liquid Membranes: Principle and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment. Elseiver. Inggris.
- Kiswandono, A.A. 2010. *Studi Transpor Fenol dengan Menggunakan Membran Cair Polieugenol*. Tesis. Kimia Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Kiswandono, A.A., dan Maslahat, M. 2011. Studi Transpor Senyawas Fenol Menggunakan Mmembran Cair Polieugenol dengan Pelarut Diklorometana. *Jurnal sains Natural Universitas Nusa Bangsa*. 1 (2) : 145:155.
- Kiswandono, A.A., Siswanta, D., Aprilita, N.H., and Santosa, S.J. 2012. Transpor of Phenol Through Polymer Inclusion Membrane (PIM) Using Copoly(eugenol-DVB) as Membrane Carriers. *Indo. J. Chem* 12(2):105-112.
- Kiswandono, Agung Abadi. 2014. Kajian Transpor Fenol Melalui Membran Berbasis Polieugenol Tertaut Silang Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane (PIM). (Disertasi). Jurusan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Kocherginsky, N.M., Yang, Q., and Seelam, L. 2007. Recent Advances in Supported Liquid Membrane Technology. *Sep. Purif. Technol* 53:171–177.
- Kozlowski, C.A. 2006. Facilitated Transpor of Metal Ions Through Composite and Polimer Inclusions Membranes. *Desalination* 198:132-140.
- Kusumocahyo, S.P., Kanamori, T., Sumaru, K., Aomatsu, Matsuyama, S., Teramoto, M., and Shinbo, T. 2006. Quantitative Analysis of Transpor Process of Cerium(III) Ion Through Polymer Inclusion Membrane Containing

- N,-tetraoctyl-3-oxapentanediamide (TODGA) as Carrier. *J. Membr. Sci* 281:42-51.
- La Harimu, Matsjeh, S., Siswanta, D., dan Santosa, S.J., 2009, Sintesis Polieugenil Oksiasetat Sebagai Pengembangan untuk Pemisahan Ion Logam Berat Fe(III), Cr(III), Cu(II), Ni(II), Co(II) dan Pb(II) Menggunakan Metode Ekstraksi Pelarut, *Indo. J. Chem.*, 9(2), 261 – 266.
- Li, Norman N. 1968. *Liquid Surfactant Membranes*. US. 410–794.
- Li, Z., Wu, M., Jiao, Z., Bao, B., and Lu, S. 2004. Extraction of Phenol from Wastewater by N-octanolpyrrolidine. *J. Hazard, Mater* 114:111-114.
- Liu J, Xie J, Ren Z, Zhang W. Solvent extraction of phenol with cumene from wastewater. *Desalin Water Treat.* 2013; 51:3826–31
- Mohapatra, P.K. and Manchanda, V.K. 2003. Liquid Membrane Based Separations of Actinides and Fission Products. *Indian J. Chem* 42: 2925.
- Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membrans Technology*, 2nd edition. Kluwer Academic Publisher. Netherlands.
- Nair, CI., Jayachandran, K., and Shashidar, S. 2008. Biodegradation of Phenol. *African Journal of Biotechnology* 7:4951–4958.
- Neplenbroel, A. M., Bargeman, D., and Smolders, C.A. 1992. Supported Liquid Membranes: Instability Effects. *J. Membr. Sci* 67:149.
- Nghiem, L.D., Mornane, P., Potter, I.D., Perera, J.M., Cattrall, R.W., and Kolev, S.D. 2006. Extraction and Transpor of Metal Ions and Small Organic Compounds Using Polymer Inclusion Membranes (PIMs). *J. Membr. Sci* 281:7–41.
- Park, Yonggyun, A. H. P., Skelland, L. J., Forney., and Jae, H. K. 2006. Removal of Phenol and Substituted Phenols by Newly Developed Emulsion Liquid Membrane Process. *Water Research* 40(9):1763–1772.
- Pattilo, C. 1995. *Membranes: Liquid Membranes in Particular, A Tutorial of Sorts*. Rensselaer Polytechnic Institute. New York.
- Paulo, F.M.M., Jorge, Correia., dan de Carvalho, M.R., 2003, Recovery of Phenol from Phenolic Resin Plant Effluents by Emulsion Liquid Membranes, *J. Hazard. Mater.*, 225, 41-49.

- Pont, N., Salvado, V., and Fontas, C. 2008. Selective Transpor 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 Sails* 3: 45-53.
- Seddigi, Z.S. 2003. Acidic Properties of HZSM-5 Using Acetylacetone, TPD Ammonia, and FTIR of Adsorbed Pyridine. *The Arabian Journal for Science and Engineering* 27: 149-156.
- Senturk., Hasan, B., Duygu, O., Ali, G., Celal, ., and Mustafa, S. 2009. Removal of Phenol from Aqueous Solutions by Adsorption onto Organomodified Tirebolu Bentonite: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Study. *Journal of Hazardous Materials* 172(1):353–362.
- Shipra. 2009. Thesis To Study Selective Transpor of Ag(I) Ion Using Polymer Inclusion Membranes Containing Thiuram Sulphide as a Carrier. Thapar University.
- Slamet, Bismo, S., Arbianti, A., dan Sari, Z. 2006. Penyisihan Fenol Dengan Kombinasi Proses Adsorpsi Dan Fotokatalisis Menggunakan Karbon Aktif Dan TiO<sub>2</sub>. *Jurnal Teknologi* 4:303-311.
- Slamet, Arbianti, R., dan Daryanto. 2005. Pengolahan Limbah Organik (Fenol) dan Logam Berat (Cr<sup>6+</sup> atau Pt<sup>4+</sup>) secara Simultan dengan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>, Zn-O dan CdS-TiO<sub>2</sub>. *Makara Teknologi*. 9(2):66-71.
- Smallman, R. E. 2000. Metalurgi Fisik Modern, Edisi Keempat. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- SNI 06-6989.21-2004. Metode Penentuan Fenol. Badan Standardisasi Nasional.
- Stanisavljević, M., and Nidic, L. 2004. Removal Of Phenol from Industrial Wastewaters by Horseradish (*Cochlearia Armoracia* L) Peroxidase. *Working and Living Environmental Protection* 2(4):345–349.
- Stevens, M.P., 2001, Kimia Polimer alih bahasa oleh Sopyan I., diterjemahkan, dari buku Polymer Chemistry an Introduction, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Suhandi, D., Purwoko, T., and Pangastuti, A. 2006. Biodegradasi Fenol oleh olat *Bacillus* spp asal Sumur Kawangan Cepu. *Bioteknologi* 3(1):8-13.

- Sun, H., Hankins, N.P., Azzopardi, B.J., Hilal, N., and Almeida, C.A.P. 2008. A Pilot-plant Study of the Adsorptive Micellar Flocculation Process Optimum Design and Operation. *Puri. Technol* 62(2):273-280.
- Tanabe, K., Anderson, J.R., Boudart, M. 1981. Solid Acid and Base Catalyst in Catalysis Science and Technology. *Springer-Link* 2:231-273.
- Udiharto, M. 1997. Pemanfaatan Mikroorganisme Untuk Menurunkan Kadar Fenol dalam Air Formasi. Lembaran Publikasi Lemigas Vol. 31 No.2. Jakarta.
- Underwood, A.L., and R.A. Day. 1980. Quantitative Analysis 4th Edition. Prentice-Hall. Inc.
- Venkateswaran, P., and Palanivelu, K. 2006. Recovery of Phenol From Aqueous Solution by supported Liquid Membrane Using Vegetable Oils as Liquid Membrane. *J. Hazard* 131:146–152.
- Wagiyo dan Handayani, A. 1997. Petunjuk Praktikum Scanning Electron Microscope, SEM dan Energy Dispersive Spectrometer, EDS. Badan Tenaga Atom Nasional. Tangerang.
- Xu Man-Cai, 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 Membranes in Phenol Transpor Process. *J. Membr. Sci* 107:59-74.