

**TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN POLI-BADGE 3:1
SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA DENGAN METODE PIM
(*POLYMER INCLUSION MEMBRANE*)**

(Skripsi)

Oleh

Nia Puspita Dewi



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN POLI-BADGE 3:1 SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA DENGAN METODE PIM (*POLYMER INCLUSION MEMBRANE*)

Oleh

NIA PUSPITA DEWI

Penelitian transpor fenol menggunakan Poli-BADGE 3:1 sebagai senyawa pembawa dengan metode PIM (*Polymer Inclusion Membrane*) telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pH fenol pada fasa sumber, konsentrasi NaOH pada fasa penerima, ketebalan membran, dan waktu transpor fenol menggunakan Poli-BADGE 3:1 sebagai senyawa pembawa dengan metode PIM serta mempelajari kompetisi transpor fenol pada limbah buatan. Preparasi membran dilakukan dengan melarutkan Poli-BADGE 3:1, polivinil klorida (PVC), dan dibenzil eter (DBE) ke dalam pelarut tetrahidrofur (THF). Konsentrasi fenol setelah transpor ditentukan dengan spektrofotometer UV-Vis menggunakan penambahan reagen 4-aminoantipirin dan absorbansinya diukur pada panjang gelombang 460 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran PIM dengan senyawa *carrier* Poli-BADGE 3:1 mampu mentranspor fenol secara efektif sebesar 85,30% pada kondisi optimum: pH fasa sumber 5,5, konsentrasi fasa penerima 0,10M, ketebalan membran PIM T₅₄, dan waktu transpor 24 jam. Membran PIM sebelum dan setelah transpor dikarakterisasi menggunakan FTIR dan SEM. Transpor fenol dengan logam Pb(II) dan Cd(II) menghasilkan konsentrasi fenol yang tetranspor lebih kecil dibandingkan transpor fenol tanpa logam. Keberadaan logam kompetitor mengakibatkan adanya gangguan terhadap proses transpor fenol dari fasa sumber ke fasa penerima.

Kata kunci: Fenol, Poli-BADGE 3:1, PIM

ABSTRACT

TRANSPORT OF PHENOL USING POLY-BADGE 3:1 AS A CARRIER WITH PIM METHOD (POLYMER INCLUSION MEMBRANE)

By

NIA PUSPITA DEWI

Research on phenol transport using Poly-BADGE 3:1 as a carrier with PIM (Polymer Inclusion Membrane) method has been carried out. This study aims to study the effect of phenol pH on the source phase, NaOH concentration on the receiving phase, membrane thickness, and phenol transport time using Poly-BADGE 3:1 as a carrier compound using the PIM method and to study the competition of phenol transport in artificial waste. Membrane preparation was carried out by dissolving Poly-BADGE 3:1, polyvinyl chloride (PVC), and dibenzyl ether (DBE) in tetrahydrofuran (THF) solvent. The concentration of phenol after transport was determined with a UV-Vis spectrophotometer using the addition of 4-aminoantipyrine reagent and the absorbance was measured at a wavelength of 460 nm. The results showed that the PIM membrane with carrier compound Poly-BADGE 3:1 was able to transport phenol effectively by 85.30% under optimum conditions: source phase pH 5.5, receiving phase concentration 0.10M, PIM T₅₄ membrane thickness, and time 24 hour transport. PIM membranes before and after transport were characterized using FTIR and SEM. Transport of phenol with Pb(II) and Cd(II) metals resulted in a smaller concentration of phenol than that of phenol without metals. The presence of metal competitors results in disruption of the phenol transport process from the source phase to the receiving phase.

Key words: Phenol, Poly-BADGE 3:1, PIM

**TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN POLI-BADGE 3:1
SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA DENGAN METODE PIM
(*POLYMER INCLUSION MEMBRANE*)**

Oleh

Nia Puspita Dewi

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS**

pada

**Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2022**

Judul : **TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN POLI
BADGE 3:1 SEBAGAI SENYAWA
PEMBAWA DENGAN METODE PIM
(POLYMER INCLUSION MEMBRANE)**

Nama : **Nia Puspita Dewi**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1817011067**

Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

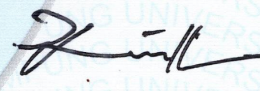


1. **Komisi Pembimbing**


Pembimbing I

Pembimbing II


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


Rinawati, Ph.D.
NIP. 197104142000032001

2. **Ketua Jurusan Kimia
FMIPA Universitas Lampung**


Mulyono, Ph.D.
NIP. 197406112000031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

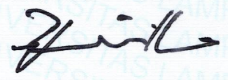
Ketua

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



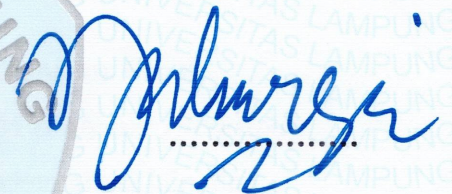
Sekretaris

: **Rinawati, Ph.D.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Prof. Suharso, Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Satripto Dwi Yuwono, M.T.
NIP. 19740705 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **19 Desember 2022**

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nia Puspita Dewi
Nomor Pokok Mahasiswa : 1817011067
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **Transpor Fenol Menggunakan Poli-BADGE 3:1 dengan Metode PIM (Polymer Inclusion Membrane)** ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 19 Desember 2022
Yang Menyatakan



Nia Puspita Dewi
NPM. 1817011067

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Nia Puspita Dewi, lahir di Balerejo pada tanggal 03 Mei 1999. Penulis merupakan anak keempat dari lima bersaudara dari pasangan Bapak Miskiran dan Ibu Kasmini. Penulis saat ini bertempat tinggal di Dusun Gunantoro Desa Balerejo, Kecamatan Batanghari, Lampung Timur.

Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Pertiwi I pada tahun 2006, lalu melanjutkan ke SD Negeri 1 Balerejo lulus pada tahun 2012, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 1 Batanghari lulus pada tahun 2015, dan selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMK Negeri 3 Metro lulus pada tahun 2018. Pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur Penerimaan Mahasiswa Perluasan Akses Pendidikan (PMPAP) dan menerima beasiswa tersebut.

Selama menjadi mahasiswa di Jurusan Kimia, penulis telah aktif berorganisasi. Organisasi yang pernah diikuti adalah Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) sebagai Kader Muda Himaki (KAMI) pada tahun 2018-2019, menjadi anggota Garuda Muda BEM FMIPA Unila tahun 2018, menjadi anggota bidang Kaderisasi dan Pengembangan Organisasi (KPO) pada tahun 2019-2020, menjadi staff Departemen Pemberdayaan dan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA Unila pada tahun 2019, menjadi anggota Kajian dan Keumatan ROIS FMIPA Unila pada tahun 2020, dan menjadi Sekretaris Umum Forum Mahasiswa PMPAP Universitas Lampung (Forma PMPAP Unila) pada tahun 2021.

Pada tahun 2020 penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi Kimia FMIPA Unila. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Balerejo, Kecamatan Batanghari, Lampung Timur. Penulis pernah mengikuti kegiatan sosial seperti Karya Wisata Ilmiah (KWI) BEM-FMIPA Unila di Desa Tanjung Tirta Kecamatan Way Bungur pada tahun 2018, Kunjungan Industri (KI) Himaki FMIPA Unila ke PT. Kratingdaeng, PT. Yakult Indonesia Persada dan PT. Amerta Indah Otsuka di Jawa Barat pada tahun 2019, dan *Chemistry Care* Himaki FMIPA Unila di Lampung Selatan pada tahun 2019. Selain itu, penulis pernah mendapatkan dana hibah Program Wirausaha Mahasiswa pada tahun 2020 dan 2021. Penulis juga berkesempatan mengikuti seminar Nasional NEC Kovalen Edu Fair di Universitas Sebelas Maret, Surakarta pada tahun 2019.

MOTTO

Bertaqwalah kepada Allah, maka Dia akan membimbingmu. Sesungguhnya Allah mengetahui segala sesuatu.

(QS. Al-Baqarah: 282)

Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu. Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui.
(QS. Al-Baqarah: 216)

Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.

(QS. Al-Baqarah: 286)

Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.

(QS. Al-Insyirah : 6)

Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkanmu tidak akan menjadi takdirku dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan pernah melewatkanmu.

(Umar Bin Khattab)

**Belajarlah mengalah sebelum orang lain mengalahkanmu.
Belajarlah merendah sebelum orang lain merendahkanmu.
Dan belajarlah bersabar hingga Allah mengangkat derajatmu.**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasi lagi Maha Penyayang.

**Dengan mengucap
Alhamdulillahirabbil'alamin dan dengan segala kerendahan hati ku
persembahkan karya sederhana ini kepada**

**Kedua orang tuaku, Bapak dan Ibu tercinta yang telah
membesarkan, mendidik, mendo'akan, mendukung dan memberikan cinta
serta kasih sayang untukku sepanjang masa**

**Seluruh keluarga besar, terutama kakak-kakakku tercinta Nur
Handayani, Novi Saputra, dan Niko Triono, serta adikku
tersayang Agil Prastyo yang selalu memberikan perhatian, dukungan
dan do'a untukku.**

**Dengan segala rasa hormat kepada Bapak Dr. Agung Abadi
Kiswandono, M.Sc., Ibu Pinawati, Ph.D., Prof. Suharso,
Ph.D., Alm. Bapak Dr. Supriyanto, M.S., dan Bapak Dr.
Hardoko Insan Qudus, M.S., serta seluruh Dosen Pengajar yang
telah membimbing dan mendidikku sampai menyelesaikan pendidikan
Sarjana.**

**Sahabat, kerabat dan teman-teman yang telah memberikan banyak
dukungan dan do'a.**

**Almamater Tercinta
Universitas Lampung**

SANWACANA

Alhamdulillah segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, karunia dan kasih sayang-Nya, penulis mampu menyelesaikan skripsi ini. Shalawat beriring salam senantiasa tercurah kepada Baginda Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, dan para sahabat semoga kita termasuk umatnya yang kelak mendapat *syafa'at* beliau kelak di *yaumul akhir*, *aamiin allahumma aamiin*.

Skripsi dengan judul **“Transpor Fenol menggunakan Poli-BADGE 3:1 sebagai Senyawa Pembawa dengan Metode PIM (*Polymer Inclusion Membrane*)”**

merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi penulis untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan skripsi ini, banyak pihak yang telah turut serta membantu penulis. Oleh sebab itu, dengan doa yang tulus penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. *My biggest love, my beloved and my wingless angel*, Bapak Miskiran dan Ibu Kasmini. Terima kasih sudah menjadi orang tua yang hebat, menjadi pengingat dan penasihat tanpa penghakiman, menjadi pelindung yang paling tangguh, dan menjadi tempat paling nyaman untuk bercerita. Terima kasih untuk semua perjuangan, kerja keras, dan semua hal yang selalu diprioritaskan untuk penulis. Semoga Allah SWT selalu memberikan kesehatan, keberkahan, keselamatan, rezeki dan kebahagiaan dunia akhirat kepada kalian. *Aamiin allahumma aamiin*.
2. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc., selaku pembimbing I atas segala kebaikan, ilmu, motivasi, keikhlasan, kesabaran, dan bimbingan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini dengan baik. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan keberkahan atas semua yang telah bapak berikan, *aamiin*.
3. Ibu Rinawati, Ph.D., selaku pembimbing II atas segala saran, nasihat, keikhlasan, kesabaran, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis dalam

perencanaan dan penyelesaian skripsi ini. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan keberkahan dan membalas semuanya dengan kebaikan.

4. Bapak Prof. Suharso, Ph.D., selaku pembahas atas segala kritik, saran, dan ilmu yang bermanfaat yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan keberkahan atas semua ilmu yang diberikan.
5. Bapak Alm. Drs. Supriyanto, M.S., dan Bapak Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S., selaku pembimbing akademik atas segala bimbingan, nasihat, dan kesabaran dalam membimbing penulis terkait bidang akademik selama masa perkuliahan.
6. Bapak Mulyono, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA atas segala ilmu, bimbingan, dan pengalaman yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan keberkahan dan membalas kebaikan Bapak dan Ibu.
9. Ibu Rinawati, Ph.D., selaku Kepala Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi atas izin penggunaan laboratorium yang telah diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan baik.
10. Bu Iin dan Pak Udin selaku Laboran Laboratorium Kimia Analitik yang telah banyak memberikan arahan serta membantu penulis dalam penyediaan alat untuk penelitian.
11. *Mba* Yuni dan Bu Endang yang selalu memberikan arahan, mengingatkan penulis dan memberikan semangat untuk penulis.
12. Keluarga besar Alm. Sudiharjo dan Alm. Boeran serta kerabat dekat atas segala bantuan dalam berbagai hal dan memberikan dukungan baik kepada penulis, maupun kepada orang tua penulis.
13. Kakak-kakakku tersayang Nurhandayani, Novi Saputra, dan Niko Triono atas segala perhatian, *support*, dan bantuannya. Terima kasih sudah menjadi kakak yang luar biasa untuk penulis.

14. Adikku tersayang Agil Prastyo atas segala perhatian dan semangatnya. Terima kasih sudah menjadi adik yang pengertian dan dapat diandalkan.
15. *Special thanks* untuk *partner Membrane'18* Kharisma Citra Aprilia, S.Si., Dedeh Kurniasih, S.Si., dan Fauzan Muhammad Rafi untuk semua bantuan, dukungan, kesabaran, keikhlasan dan pengalaman serta cerita suka duka selama perjalanan mengejar gelar Sarjana. Terima kasih untuk waktu dan kerjasamanya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian untuk skripsi ini. Terima kasih untuk segala hal, tanpa bantuan kalian mungkin skripsi ini belum tentu bisa terselesaikan dengan baik. *I Proud You!!*
16. Sahabat *Untill Jannah (aamiin)*, perempuan-perempuan kuat yang shalihah Nafisah Nasution, Mega Muryani, Dedeh Kurniasih, Andira Rahma Safitri, Anggi Lefiyani, Nadya Aulia Febiyanti untuk semua hal yang kalian berikan, canda tawa dan suka duka dalam setiap *moment* yang kita lewati, terima kasih sudah bersedia menjadi pendengar yang baik untuk setiap cerita, penasihat yang baik untuk setiap masalah, pengingat yang terbaik. Semoga kita dapat berjumpa kembali di pertemuan kedua kita (Surga). *Aamiin*
17. Sahabat Dunia Akhirat (*aamiin*) Saras, Nailul, Vera, dan Mba Ayu untuk setiap kebersamaan dan pengalaman yang tidak terlupakan, untuk pengingat dan segala bentuk dukungan serta semangat yang telah diberikan kepada penulis. *I Purple You!*
18. Teman-teman *Analytical Chemistry* Kharisma, Dedeh, Fauzan, Savira, Aldo, Sahrul, Alfi, Rizkana, Aluni, Eliza, Yanesta, Anggi, Wulan, Fauzia, Sania, Afifa, dan Andira yang telah memberikan bantuan dan semangat selama penulis menyelesaikan penelitian.
19. Kimia 2018 khususnya Kelas B untuk kebersamaan yang telah dilalui dalam kehidupan perkuliahan dari awal hingga saat ini. Semoga kita semua dimudahkan dan dilancarkan dalam berkarir setelah lulus dari Kimia.
20. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki), khususnya bidang KPO. Terima kasih untuk Kyay Mumu, Ginda Putri, Fauzan dan Yanesta atas segala pengalaman dan ilmu yang telah kalian bagikan kepada penulis.
21. Tim Chemistry, Pak Agung, Annida, Anggi dan Gustin atas kerjasama, pengalaman, ilmu, do'a, dukungan, semangat, dan nasihat yang kalian berikan

kepada penulis. Semoga kita masih diberi waktu untuk dapat bertemu dan belajar serta menikmati liburan kembali.

22. Tim PMW, Pak Agung, Pak Syaiful, *Mba* Merriezka, Kak Pandu, Hendriko, Nafisah, Kharisma atas kerjasama, pengalaman, ilmu, do'a, dukungan, semangat dan nasihat yang kalian berikan kepada penulis. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi kalian semua.
23. Kakak-kakak dan adik-adik tingkat Jurusan Kimia FMIPA Unila. Semoga ilmu yang kita peroleh selama menempuh pendidikan ini dapat membawa keberkahan dan bermanfaat bagi agama dan negara.
24. Teruntuk orang-orang baik yang selalu memberikan energi positif dan menjadi pengingat disaat persoalan hidup sedang tidak baik-baik saja. Selalu ada ya ☺
25. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih untuk segala do'a, ketulusan, dan kebaikan yang telah diberikan. Mohon maaf jika penulis tidak menyebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian yang telah diberikan kepada penulis.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat untuk kita semua. *Aamiin*

Bandar Lampung, 19 Desember 2022
Penulis

Nia Puspita Dewi

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Limbah Fenol dan Metode Penanggulangannya.....	6
2.2 Eugenol dan Poli-Bisfenol A Diglisidil Eter (Poli-BADGE).....	8
2.3 Metode Pemisahan Membran.....	10
2.4 Metode <i>Polymer Inclusion Membrane</i> (PIM).....	15
2.5 Karakterisasi Membran PIM.....	19
2.5.1 Spektrofotometer FTIR (<i>Fourier Transform Infra Red</i>).....	19
2.5.2 Spektrofotometer UV-Vis.....	21
2.5.3 <i>Scanning elektron microscope</i> (SEM).....	24
2.5.1 <i>Atomic Absorption Spectrofotometry</i> (AAS).....	26
III. METODE PENELITIAN.....	28
3.1 Waktu dan Tempat.....	28
3.2 Alat dan Bahan.....	28
3.2.1 Alat.....	28
3.2.2 Bahan.....	29
3.3 Prosedur Penelitian.....	29
3.3.1 Pembuatan membran PIM.....	29
3.3.2 Penentuan panjang gelombang maksimum fenol.....	30
3.3.3 Pengukuran konsentrasi fenol dalam sampel.....	30
3.3.4 Optimasi transpor fenol.....	31

3.3.4.1	Transpor fenol dengan variasi ph fasa sumber	31
3.3.4.2	Transpor fenol dengan variasi konsentrasi penerima (NaOH) pada pH optimum fasa sumber	31
3.3.4.3	Transpor fenol dengan variasi ketebalan membran pada pH fasa sumber dan konsentrasi NaOH optimum.....	31
3.3.4.4	Transpor fenol dengan variasi waktu pada pH fasa sumber, konsentrasi fasa penerima, dan ketebalan membran optimum	32
3.3.5	Kompetisi transpor fenol dengan logam Pb(II) dan Cd(II) pada limbah buatan	32
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	34
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1	Pembuatan Membran PIM.....	35
4.2	Panjang Gelombang Maksimum Fenol	40
4.3	Transpor Fenol dengan Variasi pH Fasa Sumber	40
4.4	Transpor Fenol dengan Variasi Konsentrasi Penerima (NaOH) pada pH Optimum Fasa Sumber.....	42
4.5	Transpor Fenol dengan Variasi Ketebalan Membran pada pH Fasa Sumber dan Konsentrasi NaOH Optimum.....	44
4.6	Transpor Fenol dengan Variasi Waktu pada pH Fasa Sumber, Konsentrasi Fasa Penerima, dan Ketebalan Membran Optimum.....	46
4.7	Kompetisi Transpor Fenol dengan Logam Pb(II) dan Cd(II) pada Limbah Buatan.....	49
4.8	<i>Liquid Membrane Loss (LM Loss)</i>	53
IV.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	54
5.1	Kesimpulan.....	54
5.2	Saran	54
	DAFTAR PUSTAKA	55
	LAMPIRAN	60

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Jenis-jenis membran berdasarkan ukuran pori (Khoiruddin <i>et al.</i> , 2010).....	11
2. Kelemahan dari metode membran cair (BLM, ELM, dan SLM).....	14
3. Senyawa pembawa dan referensi penelitian	14
4. Kesesuaian antara polimer dasar PVC dan CTA dan studi beberapa senyawa pendukung	17
5. Bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan	20
6. Komposisi komponen pembentuk membran PIM	29
7. Berat total komponen, berat membran yang telah jadi dan ketebalan membran PIM.....	35
8. Perbandingan bilangan gelombang hasil FT-IR membran PIM sebelum dan setelah transpor fenol	38
9. Hasil kompetisi logam limbah buatan.....	51
10. Perbandingan bilangan gelombang membran setelah transpor fenol.....	53
11. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi pH fasa sumber	68
12. Absorbansi dan konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi pH.....	68
13. Data \bar{x} , SD dan %RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi pH.....	69
14. Massa membran sebelum transpor variasi pH	69
15. Massa membran setelah transpor variasi pH.....	70
16. %ML <i>loss</i> variasi pH.....	70
17. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi konsentrasi fasa penerima.....	70
18. Absorbansi dan konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi	71
19. Data \bar{x} , SD dan %RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi konsentrasi	71
20. Massa membran sebelum transpor variasi konsentrasi	72
21. Massa membran setelah transpor variasi konsentrasi	72
22. %ML <i>loss</i> variasi konsentrasi	72
23. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi ketebalan membran PIM.....	72
24. Absorbansi dan konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi ketebalan	73
25. Data \bar{x} , SD dan %RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima	

pada variasi ketebalan	74
26. Massa membran sebelum transpor variasi ketebalan	74
27. Massa membran setelah transpor variasi ketebalan	74
28. %ML <i>loss</i> variasi ketebalan	74
29. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi waktu transpor.....	75
30. Absorbansi dan konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi waktu.....	75
31. Data \bar{x} , SD dan %RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi waktu.....	76
32. Massa membran sebelum transpor variasi waktu.....	76
33. Massa membran setelah transpor variasi waktu	77
34. %ML <i>loss</i> variasi waktu.....	77
35. Absorbansi larutan standar fenol pada limbah buatan	77
36. Absorbansi fenol di fasa sumber dan fasa penerima.....	78
37. Konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima	78
38. Data \bar{x} , SD dan %RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada limbah buatan	78
39. Kadar logam Pb(II) dan Cd(II) pada fasa penerima yang mengandung logam.....	78
40. Massa membran sebelum transpor pada limbah buatan.....	79
41. Massa membran setelah transpor pada limbah buatan.....	79
42. %ML <i>loss</i> pada limbah buatan	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur polieugenol (Kiswandono, 2014).....	9
2. Prediksi struktur poli-BADGE (Kiswandono, 2014).....	10
3. Tiga jenis membran cair (BLM, SLM, dan ELM) (Kiswandono, 2014).	13
4. Skema Pemisahan dengan Menggunakan Metode Membran (Mulder, 1996).....	15
5. Struktur dan Studi Polimer Pendukung PVC dan CTA (Pereira <i>et al.</i> , 2009).....	16
6. Skema alat FTIR (Dachriyanus, 2004).....	21
7. Skema alat Spektrofotometer UV-Vis (Khopkar, 2003).....	19
8. Hamburan elektron yang jatuh pada lembaran tipis (Smallman, 2000).....	21
9. Mikrograf Membran PIM sesudah Transpor.....	25
10. Skema umum komponen pada alat AAS (Haswell, 1991).....	26
11. Diagram alir penelitian.....	34
12. (a) Alat cetak membran PIM dan (b) Membran PIM yang berhasil dibuat	36
13. Perbandingan spektra IR (a) membran PIM sebelum transpor dan (b) membran PIM setelah transpor	37
14. Morfologi permukaan membran PIM (a,b) sebelum transpor dan (c,d) setelah transpor	38
15. Panjang gelombang maksimum fenol	40
16. Pengaruh pH fenol fasa sumber terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor (%Cs : konsentrasi fenol pada fasa sumber, %Cp: konsentrasi fenol pada fasa penerima	41
17. Pengaruh konsentrasi NaOH di fasa penerima terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor (%Cs : konsentrasi fenol pada fasa sumber, %Cp: konsentrasi fenol pada fasa penerima	43
18. Pengaruh ketebalan PIM terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor (%Cs: konsentrasi fenol pada fasa sumber, %Cp: konsentrasi fenol pada fasa penerima.....	45
19. Pengaruh waktu transpor terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor (%Cs:	

konsentrasi fenol pada fasa sumber, %Cp: konsentrasi fenol pada fasa penerima.....	47
20. Perbandingan konsentrasi fenol, logam Pb(II) dan logam Cd(II) yang terdapat pada fasa sumber, fasa penerima, dan fasa membran	50
21. Perbandingan Spektra IR membran setelah transpor (a) fenol, (b) fenol dan logam Pb+Cd, (c) fenol dan logam Pb, dan (d) fenol dan logam Cd.....	52
22. Kurva kalibrasi fenol pada variasi pH fasa sumber	68
23. Kurva kalibrasi fenol pada variasi konsentrasi fasa penerima	70
24. Kurva kalibrasi fenol pada ketebalan membran PIM.....	73
25. Kurva kalibrasi fenol pada variasi waktu transpor.....	75
26. Kurva kalibrasi fenol pada limbah buatan	78
27. (a) Alat cetak membran (b) Proses pencetakan membran PIM.....	84
28. (a) Membran PIM sebelum transpor (b) Membran PIM setelah transpor.....	84
29. <i>Chamber</i> alat transpor	84
30. Transpor fenol (a) sebelum transpor dan (b) setelah transpor.....	84
31. (a) ekstrak fenol dalam kloroform dan (b) pengompleksan sampel hasil transpor	85
32. Hasil ekstraksi	85

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin berkembangnya dunia industri yang didukung oleh pesatnya kemajuan teknologi memberikan dampak besar bagi kemajuan perekonomian suatu negara termasuk Indonesia. Hal ini tidak hanya memberikan dampak positif namun juga memberikan dampak negatif terutama bagi lingkungan. Banyaknya industri yang tidak mampu mengolah limbah hasil produksi dengan baik menjadi salah satu pokok permasalahan lingkungan yang cukup berat untuk ditangani hingga saat ini. Salah satu limbah industri yang memerlukan penanganan tepat saat ini adalah limbah fenol.

Fenol dikenal sebagai bahan yang beracun dan berbahaya, hal ini dikarenakan sifatnya yang korosif dan karsinogenik, sehingga jika terjadi kontaminasi pada makhluk hidup akan membahayakan makhluk hidup tersebut. Pada konsentrasi rendah yaitu 5-25 mg/L fenol dapat membunuh organisme perairan. Oleh karena itu, penanganan khusus untuk limbah industri (fenol) sebelum dibuang ke lingkungan sangat diperlukan. Dari pemikiran ini, berbagai metode telah digunakan untuk mengurangi dampak limbah fenol atau pemulihan (*recovery*) fenol dari air limbah. Diantara metode pemisahan limbah-limbah di perairan yang pernah dilakukan adalah adsorpsi (Li *et al.*, 2009; Malusis *et al.*, 2010), ekstraksi padat-cair, reaksi fotokatalis menggunakan TiO₂ (Aufa, 2017; Yulianto, 2011) yang masih terus dikembangkan teknologinya hingga saat ini agar diperoleh hasil pemisahan yang lebih efektif, proses yang sederhana dan ramah lingkungan dengan biaya yang relatif lebih murah (Kiswando, 2016).

Diantara banyaknya metode yang telah digunakan, penanganan limbah fenol dengan teknologi membran cair (*Liquid Membrane (LM)*) mendapatkan perhatian

dari para peneliti, hal ini dikarenakan sifatnya yang selektif, mudah dioperasikan, biaya lebih murah, dan tidak membutuhkan bahan serta energi yang besar.

Kusumastuti (2007) juga menyatakan bahwa hasil pemisahan menggunakan membran lebih ekonomis dibandingkan metode ekstraksi cair-cair. *Supported Liquid Membrane* (SLM) dikenal sebagai salah satu dari metode membran cair. Secara teknis, membran SLM memisahkan larutan di fasa sumber dan fasa penerima. Senyawa target yang akan dipisahkan di fasa sumber bergerak ke fasa organik yang terimobilisasi dalam pendukung, berdifusi melalui fasa membran kemudian diekstraksi kembali ke sisi membran yang lain menuju ke fasa penerima (Kiswando, 2014).

Teknologi pemisahan menggunakan membran SLM secara luas dapat diterima sebagai teknologi yang berguna bagi banyak industri dibandingkan pemisahan konvensional, namun dalam aplikasinya teknologi masih terdapat kelemahan (Nghiem *et al.*, 2006). Salah satu cara untuk mengatasi kelemahan yang ada pada membran SLM ini adalah dengan menambahkan suatu polimer pendukung dalam komposisi pembuatan membran tersebut, kemudian dicetak hingga terbentuk membran film yang tipis, stabil, dan fleksibel. Membran jenis ini dikenal sebagai *Polymer Inclusion Membrane* (PIM), yang menunjukkan kemampuan serbaguna dengan kestabilan yang sangat baik jika dibandingkan dengan teknologi membran cair lainnya. Kelebihan lainnya adalah membran PIM memiliki permukaan interfisial yang lebih luas, sangat selektif bergantung dari komposisi pembuatan membran yang tepat, memisahkan senyawa secara efisien, dan prosesnya yang mudah (Suah *and* Ahmad, 2017).

Pembuatan membran PIM pada umumnya menggunakan polimer pendukung berupa selulosa triasetat (CTA) dan polivinil klorida (PVC) agar diperoleh membran yang kuat dan stabil. Jenis polimer pendukung harus memiliki kesesuaian dengan senyawa pembawa (*carrier*), sehingga proses transpor akan lebih efektif dalam mengikat ion-ion yang melewati membran. *Plasticizer* ditambahkan untuk meningkatkan sifat plastis dan fleksibel.

Metode PIM dianggap mampu meningkatkan kestabilan membran dibandingkan metode membran cair yang lainnya. Hal ini dikarenakan adanya polimer pendukung yang dapat mencegah kebocoran senyawa pembawa. Dengan adanya *plasticizer* dapat digunakan untuk menjaga kestabilan membran. Oleh sebab itu, banyak penelitian yang telah dilakukan dalam pemisahan ion-ion logam dan senyawa organik berbahaya pada limbah cair industri, seperti yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Ling *and* Suah, 2017; Sgarlata *et al.*, 2008; Cho *et al.*, 2010; Meng *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2017).

Metode membran cair dengan PIM membutuhkan suatu senyawa pembawa (*carrier*) sebagai bagian dari metode PIM. Pada penelitian ini digunakan eugenol sebagai bahan dasar senyawa pembawa. Eugenol disintesis dari minyak cengkeh yang keberadaannya sudah banyak ditemukan di Indonesia. Eugenol memiliki gugus-gugus fungsi yang dapat dimodifikasi secara kimia, yaitu gugus metoksi (-OCH₃), hidroksi (-OH), dan alil pada ujung rantai. Keberadaan gugus hidroksil -OH ini diharapkan memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan fenol, sehingga dapat mengekstrak fenol dari fase sumber ke fase membran. Adanya gugus alil berupa rantai rangkap dua menyebabkan senyawa eugenol dapat melakukan reaksi polimerisasi menjadi polieugenol.

Polimerisasi eugenol yang dihasilkan dengan sintesis langsung menggunakan katalis asam ternyata masih memberikan kelemahan dalam proses interaksi senyawa target sehingga sifat efektivitasnya rendah. Hal ini diperkirakan karena polimer hasil sintesis ini memiliki berat molekul yang rendah, yaitu 39380 mol/g (Harimu *et al.*, 2010). Sehingga polimer dengan berat molekul yang rendah ini memiliki sisi aktif yang terbatas dalam proses transpornya.

Salah satu cara untuk meningkatkan berat molekul polieugenol ini adalah dengan melakukan sambung silang (*crosslink*) menggunakan senyawa-senyawa vinil. Reaksi polimerisasi senyawa vinil sebagian besar adalah polimerisasi adisi sehingga akan diperoleh berat molekul yang tinggi. Kiswandono (2014) telah melakukan sambung silang polieugenol dengan beberapa senyawa vinil, seperti

Divinil Benzen (DVB), Etilen Glikol Dimetakrilat (EGDMA), dan Dialil Ftalat (DAF) (Kiswandono, 2014).

Selain senyawa vinil tersebut di atas, alternatif lain adalah dengan polimerisasi polieugenol melalui gugus hidroksinya. Senyawa epoksida seperti Bisfenol-A-Diglisidil Eter (BADGE) digunakan sebagai agen sambung silang untuk memperpanjang rantai senyawa hasil sintesis. BADGE merupakan senyawa epoksida yang terlarut dalam air dan banyak dimanfaatkan sebagai senyawa perantara dalam melakukan proses polimerisasi.

Polimerisasi senyawa polieugenol BADGE akan menghasilkan berat molekul menjadi lebih besar, sehingga kemampuan senyawa pembawa dalam berinteraksi dengan senyawa target akan lebih besar. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan mempelajari pengaruh pH fenol pada fasa sumber, konsentrasi NaOH pada fasa penerima, ketebalan membran, dan waktu transpor menggunakan Poli-BADGE 3:1 sebagai senyawa pembawa dengan metode PIM, serta mempelajari kompetisi transpor fenol pada limbah buatan menggunakan metode PIM.

1.2 Tujuan Penelitian

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

1. Mempelajari pengaruh pH fenol pada fasa sumber, konsentrasi NaOH pada fasa penerima, ketebalan membran, dan waktu transpor fenol menggunakan Poli-BADGE 3:1 sebagai senyawa pembawa dengan metode PIM.
2. Mempelajari kompetisi transpor fenol, logam Pb(II) dan Cd(II) pada limbah buatan.
3. Mempelajari Karakterisasi senyawa pembawa Poli-BADGE 3:1 dan membran PIM menggunakan FT-IR dan SEM.

1.3 Manfaat Penelitian

Dengan memperhatikan tujuan penelitian yang ingin dicapai, maka hasil penelitian yang akan diperoleh diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Menambah informasi baru tentang pemanfaatan polieugenol dan senyawa turunannya sebagai senyawa pembawa untuk transpor fenol.
2. Memberikan wacana baru dalam pemanfaatan polimer di bidang analisis kimia.
3. Memberi kontribusi pada upaya pengurangan polutan organik, khususnya fenol di lingkungan perairan serta meningkatkan nilai ekonomis dari eugenol.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Fenol dan Metode Penanggulangannya

Fenol telah dikenal secara luas sebagai salah satu komponen di berbagai jenis industri. Dengan nama dagang triklorofenol atau dikenal sebagai TCP (*trichlorophenol*), fenol biasa dimanfaatkan dalam pembuatan obat-obatan, pembasmi rumput liar, dan lain-lain. Senyawa fenolik umumnya ditemukan di daerah perairan berasal dari limbah industri petrokimia, penyulingan minyak, plastik, fiber, besi, lem, baja, alumunium, dan industri bahan bakar sintetik. Pembuangan limbah tanpa penanganan terlebih dahulu memberikan masalah yang serius bagi lingkungan. Senyawa fenol tidak hanya dihasilkan sebagai buangan perindustrian, fenol juga dapat dihasilkan secara alami dari kotoran hewan, dan dekomposisi bahan-bahan organik (EPA, 2000).

Limbah fenol dan turunannya memiliki sifat beracun dan menyebabkan karsinogenik, karena itulah fenol ditetapkan sebagai salah satu limbah pencemar lingkungan yang berbahaya. Konsentrasi fenol yang aman bagi lingkungan adalah pada konsentrasi antara 0,5-1,0 mg/L, dan pada konsentrasi di atas 1,0 mg/L dikatakan bahwa air telah tercemar oleh limbah fenol dan berbahaya bagi makhluk hidup (PP RI No. 82 Tahun 2001). Fenol yang terkandung di dalam air pada konsentrasi 0,001 ppm sulit terdeteksi menggunakan panca indera karena tidak memiliki rasa dan bau. Pencemar fenol yang terbuang ke daerah perairan, sebagian besar senyawanya tidak dapat diuraikan secara biologis, sehingga diperlukan penanganan khusus dalam mengatasi limbah tersebut (Othman *et al.*, 2015).

Secara umum, dalam mengatasi permasalahan limbah fenol ini dapat menggunakan dua cara, yaitu pertama, dengan menurunkan kadar fenol yang tinggi di dalam air, dan cara kedua adalah melakukan *recovery* senyawa fenol (Yulianto, 2011). Sudah banyak metode yang telah dilakukan untuk menyingkirkan fenol dari limbah cair hasil industri, seperti adsorpsi menggunakan karbon aktif (Beker *et al.*, 2010; Hameed and Rahman, 2008; Malusis *et al.*, 2010; Stavropoulos *et al.*, 2008; Tseng *et al.*, 2010). Para peneliti tersebut telah mencoba melakukan pemisahan fenol dengan adsorpsi karbon aktif. Selain itu, adsorpsi fenol dengan adsorben polimer gugus amina dalam sikloheksana (Huang *et al.*, 2007).

Metode pemisahan fenol dengan teknik adsorpsi adalah metode yang banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Molva (2004) menggunakan batu bara muda untuk memisahkan limbah fenol dari perairan, dan memberikan hasil adsorpsi 43-60%. Moraitopoulos *et al.* (2009) menggunakan karbon aktif komersil untuk adsorpsi fenol dengan teknik *semi-batch* dan kontinu menggunakan refluks. Penelitian ini memberikan hasil yang lebih baik pada teknik kontinu dibandingkan teknik *semi-batch*. Teknik adsorpsi lain yang dilakukan adalah menggunakan tanah gambut, abu terbang dan bentonit dilakukan oleh Viaraghavan and Alfaro, (1998). Penggunaan bentonit untuk memisahkan fenol juga kembali dilakukan oleh Banat *et al.* (2000). Kemudian di tahun 2007 juga adsorpsi menggunakan abu eceng gondok dilakukan oleh Uddin *et al.* (2007).

Ekstraksi padat-cair juga dilakukan untuk memisahkan fenol. Beberapa peneliti diketahui telah melakukan teknik pemisahan ini seperti Li dan Lee (1997) dengan mekanisme penukar ion dan interaksi hidrofobik. Wirawan (2001) menggunakan ekstrak 3 dalam ekstraksi padat-cair. Sedangkan Mozhdhviri *et al.* (2009) menambahkan katalis dalam teknik ozonasi untuk menyingkirkan senyawa fenol dari perairan (Kiswandono dkk., 2010). Metode lain untuk menyingkirkan atau mengurangi kadar konsentrasi senyawa fenol di dalam air adalah dengan fotokatalis. Diketahui beberapa peneliti telah melakukan teknik pemisahan ini, seperti Desrosiers *et al.* (2006) dan Zainuddin *et al.* (2008) menggunakan TiO_2

sebagai fotokatalisnya. Metode fotokatalis ini merupakan teknologi untuk oksidasi suatu senyawa organik salah satunya adalah fenol di dalam limbah tanpa meninggalkan residu pada prosesnya (Kiswandono dkk., 2010).

Selain metode-metode pemisahan senyawa fenol dari limbah perairan yang telah disebutkan di atas, terdapat metode lain yang juga bertujuan untuk memisahkan senyawa fenol dari perairan, yaitu dengan cara *recovery*. *Recovery* adalah peroleh kembali sisa produk atau senyawa yang terdapat dalam limbah. Hal ini dikarenakan senyawa fenol yang telah mencemari perairan dan menjadi limbah kemudian dilakukan proses pemisahan sehingga nantinya senyawa fenol dapat dipisahkan dari perairan dan kembali dimanfaatkan dalam proses perindustrian. Metode yang biasa digunakan untuk proses *recovery* adalah dengan teknologi membran (Kiswandono dkk., 2010).

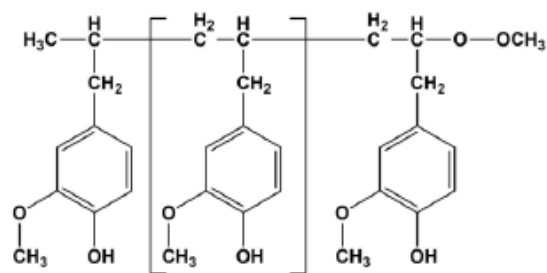
Teknologi pemisahan dengan membran ini merupakan suatu lapisan tipis dengan komponen pembuatan tertentu yang diletakkan dalam larutan organik. Teknologi membran merupakan salah satu proses pemisahan yang ramah lingkungan yang menjadi perantara antara fasa sumber (umpan) yang mengandung senyawa target yang ingin dipisahkan dan fasa penerima. Penelitian mengenai teknologi membran ini telah banyak dilakukan dengan berbagai model membran cair baik menggunakan membran SLM (*Supported Liquid Membrane*) maupun membran ELM (*Emulsion Liquid Membrane*). Kusumastuti (2007) dengan membran ELM melakukan *recovery* fenol dari suatu limbah perairan dan diperoleh *recovery* >90% (Kiswandono dkk., 2010).

2.2 Eugenol dan Poli-Bisfenol A Diglisidil Eter (Poli-BADGE)

Eugenol ($C_{10}H_{12}O_2$), merupakan turunan guaiakol yang mendapat tambahan rantai alil, dikenal dengan nama IUPAC 2-metoksi-4-(2-propenil) fenol. Senyawa ini dapat dikelompokkan dalam keluarga alilbenzena dari senyawa-senyawa fenol. Warnanya bening hingga kuning pucat, kental seperti minyak. Eugenol sedikit larut dalam air namun mudah larut pada pelarut organik.

Aromanya menyegarkan dan pedas seperti bunga cengkeh kering, sehingga sering menjadi komponen untuk menyegarkan mulut.

Senyawa pembawa (*carrier*) merupakan salah satu komponen pembentuk membran, khususnya membran PIM sehingga proses transpor akan berjalan. Pada penelitian ini eugenol digunakan sebagai bahan awal sintesis karena adanya tiga gugus fungsional yang terkait padanya, yaitu gugus alil, hidroksi dan metoksi. Melalui gugus alil, eugenol mampu dipolimerisasi menjadi polieugenol (Ngadiwiyana, 2008). Sintesis polieugenol dilakukan dengan menambahkan katalis BF_3 -dietileter. Proses polimerisasi eugenol menjadi polieugenol merupakan proses polimerisasi adisi kationik. Proses ini dikatakan polimerisasi adisi kationik karena gugus vinil dari eugenol mengalami reaksi adisi. Polimer yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 1.

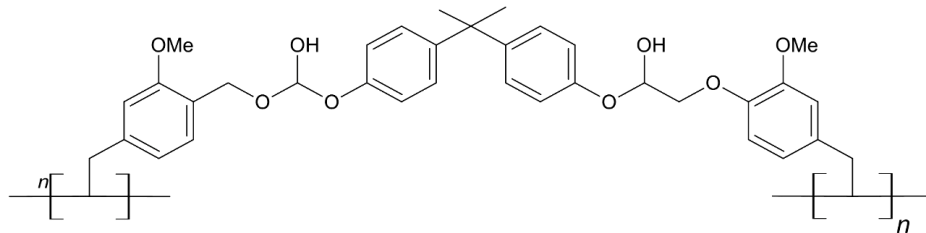


Gambar 1. Struktur polieugenol (Kiswandono, 2014)

Sedangkan Bisfenol A Diglisidil Eter (BADGE) adalah suatu epoksida yang larut dalam air dan banyak digunakan sebagai senyawa perantara untuk taut silang polimer (Leach *et al.*, 2005 dan Oshita *et al.*, 2002). Polimerisasi menggunakan senyawa epoksida ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan sisi aktif polieugenol yaitu gugus hidroksinya.

Polimerisasi dengan melibatkan senyawa diena dan senyawa epoksida dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh struktur tertaut silang dalam hasil akhirnya. Reaksi polimerisasi eugenol ataupun polieugenol dengan suatu agen taut silang (*crosslinking agent*) akan menyebabkan berat molekul hasil polimer menjadi besar (Handayani *et al.*, 2004), sehingga akan mempengaruhi

kemampuan membran dalam interaksi dengan senyawa target. Polimer hasil sintesis ini akan memiliki berat molekul yang besar, sehingga akan memiliki sisi aktif (gugus –OH dan cincin benzena) lebih banyak. Peningkatan sisi aktif pada polimer hasil sintesis ini diharapkan dapat meningkatkan kecepatan transpor sehingga proses transpor lebih cepat dan efisien. Perkiraan struktur polimer hasil taut silang antara polieugenol:BADGE terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Prediksi struktur poli-BADGE (Kiswandono, 2014)

Polimer hasil taut silang yang dihasilkan dari polimerisasi dapat digunakan sebagai senyawa pembawa. Senyawa pembawa yang baik adalah yang mempunyai kemampuan interaksi yang stabil di dalam membran, mempunyai selektifitas pemisahan yang tinggi terhadap spesies tertentu, serta memiliki kelarutan dan koefisien difusi yang baik dalam pelarut organik yang sesuai dan dapat dipakai dalam jumlah relatif sedikit (Kiswandono, 2014).

2.3 Metode Pemisahan Membran

Membran adalah lapisan semipermeabel yang tipis dan dapat digunakan untuk memisahkan dua komponen dengan cara menahan dan melewatkan komponen tertentu melalui pori-pori. Membran berupa padatan polimer tipis yang menahan pergerakan bahan tertentu. Membran merupakan suatu fasa yang berlaku sebagai rintangan yang selektif terhadap aliran molekul atau ion yang terdapat dalam cairan atau uap yang berhubungan dengan kedua sisinya (Kiswandono, 2016). Proses pemisahan dengan metode membran, dapat memindahkan salah satu komponen berdasarkan sifat fisik dan kimia dari membran serta komponen senyawa yang akan dipisahkan (Mulder, 1996).

Membran berfungsi untuk memisahkan suatu material berdasarkan pada ukuran dan bentuk molekul, menahan komponen dari umpan yang memiliki ukuran yang lebih besar dari pori-pori membran dan melewatkan komponen dengan ukuran yang lebih kecil. Larutan yang mengandung suatu komponen yang tertahan disebut konsentrat dan larutan yang mengalir disebut permeat. Kelebihan menggunakan metode membran sebagai salah satu metode pemisahan adalah tidak berubahnya struktur molekul senyawa yang dipisahkan, sehingga menyebabkan prosesnya lebih sederhana (Agustina, 2006).

Tabel 1. Jenis-Jenis Membran Berdasarkan Ukuran Pori (Khoiruddin *et al.*, 2010).

Jenis Membran	Bentuk Membran	Ketebalan	Driving Force	Ukuran Pori	Aplikasi
Mikro-filtrasi (MF)	Simetris berpori	10-150 μm	Tekanan < 2 bar	0,05-10 μm	Obat-obatan dan elektronik
Ultra-filtrasi (UF)	Asimetris berpori	150 μm (monolitik)	Tekanan 1-10 bar	1-100 μm	Purifikasi dan pemekatan terutama larutan protein.
Nano-filtrasi (NF)	Komposit	<i>Sublayer</i> \approx 150 μm , <i>toplayer</i> \approx 1 μm	Tekanan 10-25 bar	< 2 nm	Pengolahan makanan seperti susu, pemekatan dan demineralisasi parsial
Reverse Osmosis (RO)	Asimetris atau komposit	<i>Sublayer</i> \approx 150 μm , <i>toplayer</i> \approx 1 μm	Tekanan : Air payau (15-25 bar), air laut (40-80 bar)	< 2 nm	Pengolahan air, pemekatan, fraksionasi, <i>recovery</i> produk dan bahan kimia
Pervaporasi	Membran komposit atau asimetris dengan lapisan atas elastomer atau polimer <i>glassy</i>	\approx 0,1 hingga beberapa μm (lapisan atas)	Tekanan uap atau perbedaan aktivitas	Tidak berpori	Di bidang industri sebagai vakum permeat dengan tekanan rendah.

Membran berpori memiliki ukuran pori yang berbeda-beda, distribusi ukuran pori, ketebalan lapisan, dan porositas permukaan. Agar diperoleh selektifitas yang tinggi, maka pori membran harus relatif lebih kecil dari pada partikelnya. Pada

Tabel 1 di atas dijelaskan mengenai perbedaan beberapa jenis membran berdasarkan pada ukuran porinya.

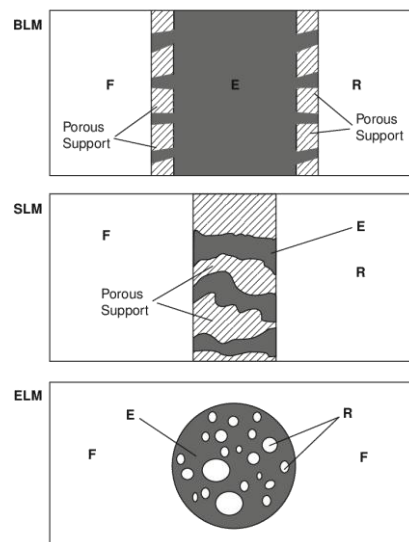
Teknologi pemisahan dengan membran beberapa tahun terakhir ini menarik perhatian peneliti dalam menangani limbah di perairan jika dibandingkan dengan teknologi konvensional. Membran cair (*Liquid Membrane (LM)*) memanfaatkan reagen ekstraktif, tidak larut dalam air, konstan sehingga dapat mengalir diantara dua larutan atau gas, yaitu pada fasa sumber atau umpan dan fasa penerima atau pelucut. Sifat efisiensi dan selektifitas membran cair dalam proses transpornya dapat ditingkatkan dengan adanya penambahan suatu agen pengompleks (*carrier*) dalam komponen pembentukan membran cair. Proses penambahan agen pengompleks ini dikenal sebagai pemisahan membran cair terfasilitasi atau *carrier mediated* (Kislik, 2010).

Teknologi membran untuk memisahkan gas telah diaplikasikan di industri selama 20 tahun terakhir. Membran untuk memisahkan gas digunakan untuk dehidrasi udara dan gas alam, hingga penghilangan uap organik dari aliran udara dan nitrogen. Pemisahan gas dengan teknologi membran ini diperkirakan akan terus berkembang setidaknya hingga 10 tahun ke depan (Mulder, 1996).

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

Metode membran cair diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu membran cair ruah (*Bulk Liquid Membrane (BLM)*), membran cair emulsi (*Emulsion Liquid Membrane (ELM)*), membran cair berpendukung (*Supported Liquid Membrane (SLM)*), membran cair terisi (*Contained Liquid Membrane (CLM)*), dan lain-lain

yang merupakan bagian dari teknologi membran cair yang masih umum digunakan untuk proses pemisahan. Para peneliti biasanya menggunakan membran SLM untuk mengatasi kelemahan yang terjadi pada membran BLM dan ELM. Perbedaan dari membran BLM, SLM, dan ELM dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tiga jenis membran cair (BLM, SLM, dan ELM) (F: fasa sumber, E: fasa membran, R: fasa penerima) (Kiswandono, 2014)

Membran cair dengan sistem BLM umumnya digunakan untuk mempelajari sifat transport senyawa yang memiliki luas permukaan kecil. Sehingga penggunaan membran BLM terbatas hanya pada skala laboratorium (Kiswandono, 2016). Teknik membran SLM dikembangkan berdasarkan pada distribusi cair-cair dengan adanya senyawa pembawa (*carrier*) sebagai penggerak, sehingga akan meningkatkan selektifitas transport senyawa target. Membran SLM memiliki dua komponen senyawa pembentuknya, yaitu polimer dasar dan senyawa pendukung anorganik. Polimer dasar yang biasa digunakan adalah polipropilena (PP), polietilena (PE), poli(tetrafluoroetilena) (PTEE), dan polivinilklorida (PVC). Sedangkan senyawa pendukung anorganik yang umum digunakan adalah logam oksida, dan zeolit. Adanya senyawa pendukung anorganik ini dapat meningkatkan stabilitas termal dan mekanik, serta memiliki daya tahan terhadap pelarut.

Teknik membran cair (BLM, SLM, ELM) yang semakin berkembang dan diminati untuk proses pemisahan yang digunakan namun secara aplikasinya, teknologi membran cair tersebut tetap terbatas secara praktisnya yang ditunjukkan pada Tabel 2 (Nghiem *et al.*, 2006).

Tabel 2. Kalemahan dari Metode Membran Cair (BLM, ELM, dan SLM) (Nghiem *et al.*, 2006)

Teknologi Membran Cair	Kelemahan
BLM	Memiliki luas permukaan interfasial yang rendah
ELM	Kerusakan emulsi saat transfer massa
SLM	Kestabilan yang buruk

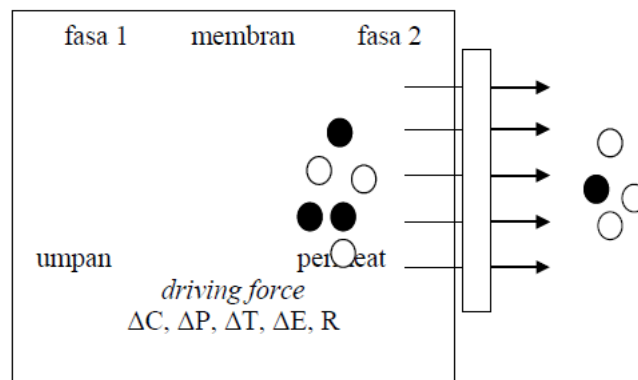
Proses pemisahan senyawa fenol menggunakan teknik membran cair dapat dilihat berdasarkan referensi penelitian pada Tabel 3 dibawah ini. Pada pemisahan dengan membran cair, senyawa pembawa berperan sebagai fasilitator yang terdapat dalam fasa membran. Proses transpornya diawali dengan difusi senyawa target pada fasa sumber melewati pembatas *layer* (lapisan), lalu akan terjadi penyerapan senyawa target pada fasa sumber ke fasa membran. Setelah senyawa target berada di fasa membran akan terjadi desorpsi pada fasa antarmuka membran ke fasa penerima, sehingga kemudian senyawa target akan terdifusi kembali ke fasa penerima (Kiswandono, 2016). Pada Gambar 4 memperlihatkan skema proses pemisahan menggunakan membran secara umum.

Tabel 3. Senyawa pembawa dan referensi penelitian

No.	Nama Senyawa Pembawa	Referensi
1.	Copoly-Eugenol Divinil Benzene (Co-EDVB)	Kiswandono, <i>et al.</i> , (2013).
2.	Copoly-Eugenol Etilen Glikol Dimetilkrilat (Co-EEGDMA)	Hakim, (2018).
3.	Copoly-Eugenol Dialil Ftalal (Co-EDAF)	Yulita, (2018).
4.	Poli-BADGE	Kiswandono, (2014).

Proses transport yang terjadi karena adanya daya dorong (*driving force*) dalam fasa umpan yang berupa beda tekanan (ΔP), beda konsentrasi (ΔC), beda

potensial listrik (ΔE), dan beda temperatur (ΔT) serta selektifitas membran yang dinyatakan dengan rejeksi.



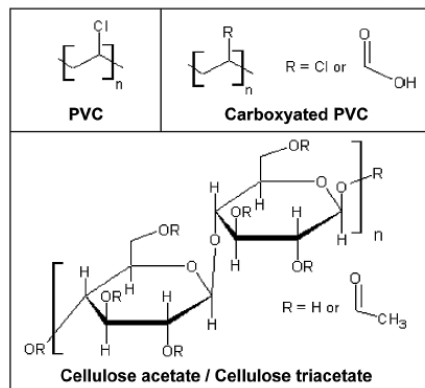
Gambar 4. Skema pemisahan dengan menggunakan metode membran (Mulder, 1996).

2.4 Metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM)

Diantara teknologi membran cair yang telah disebutkan pada sub-bab sebelumnya, membran cair terinklusi suatu polimer atau dikenal sebagai *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) menunjukkan kemampuannya yang serba guna dan memiliki kestabilan yang sangat baik jika dibandingkan dengan teknologi membran cair lainnya. Kelebihan lainnya adalah, permukaan interfasial yang lebih luas, kecepatan transfer massa yang tinggi, lebih ramah lingkungan karena penggunaan bahan-bahan kimia yang lebih sedikit, aliran yang tinggi, komposisi membran yang fleksibel, sangat selektif, memisahkan senyawa secara efisien, dan proses yang mudah (Suah and Ahmad, 2017).

Proses pembuatan membran PIM membutuhkan polimer pendukung seperti selulosa triasetat (CTA) atau polivinil klorida (PVC) untuk membentuk membran. Selain polimer pendukung, juga diperlukan suatu senyawa pembawa dan *plasticizer* (Nghiem *et al.*, 2006). Keberadaan senyawa pembawa secara efektif dapat mentransport dan mengikat ion-ion melewati membran. Sedangkan *plasticizer* ditambahkan untuk meningkatkan sifat elastis, fleksibel dan kestabilan material (Ling and Mohd Suah, 2017).

Polimer pendukung pada membran PIM berperan sangat penting dalam pembentukan dasar membran, karena akan menentukan kekuatan mekanik membran. Dari beberapa jenis polimer pendukung yang digunakan dalam teknologi PIM, polivinil klorida (PVC) dan selulosa triasetat (CTA) adalah polimer yang banyak dan umum digunakan sebagai komponen pembuatan membran. Banyaknya penggunaan PVC dan CTA sebagai *base polymer* dikarenakan keduanya memberikan film membran yang tipis, meningkatkan kestabilan membran, dan meminimalkan hambatan dalam proses transport ion-ion maupun senyawa organik molekul kecil di dalam membran. Pada Gambar 5 menunjukkan struktur dan gugus-gugus aktif pada polimer pendukung PVC dan CTA.



Gambar 5. Struktur dan Studi Polimer Pendukung PVC dan CTA (Pereira *et al.*, 2009)

PVC dan CTA tergolong polimer termoplastik yang mengandung rantai polimer linier tanpa adanya tautan silang (*crosslink*) antara kedua polimer tersebut. Kekuatan mekanik film tipis membran ditentukan dari kombinasi antara gaya antar molekul dan proses belitan (*entanglement*). Adanya interaksi polar yang kuat di antara gaya-gaya ini akan menghasilkan struktur polimer yang kaku (*rigid*) (Pereira *et al.*, 2009).

Senyawa pembawa (*carrier*) berperan untuk mentranspor senyawa target di dalam membran. Tanpa adanya senyawa pembawa, maka proses transpor tidak akan terjadi. Penggunaan senyawa pembawa yang sesuai dengan zat yang akan di ekstraksi akan mempengaruhi kadar ekstraksi yang diperoleh. Dari literatur yang

ada, penggunaan senyawa pembawa yang sesuai memberikan hasil E% pengambilan adalah >90%. Pada Tabel 4 menunjukkan beberapa senyawa pendukung yang umum digunakan dalam proses transport ion-ion ataupun senyawa-senyawa organik molekul kecil dan kesesuaiannya dengan polimer dasar (PVC dan CTA).

Tabel 4. Kesesuaian antara polimer dasar PVC dan CTA dan studi beberapa senyawa pendukung (Pereira *et al.*, 2009)

Senyawa Pendukung (<i>Carrier</i>)	Polimer Dasar	
	PVC	CTA
Alamine 336	-	-
Alamine 336 terprotonasi	+	+
Aliquat 336	+	+
Cyanex 272	+	+
Cyanex 923	-	+
D2EPHA	+	-
P50 Oxime	+	+
TBP	+	+

(+ *cocok*; - *tidak cocok*)

Proses transport zat dalam membran PIM dapat tercapai karena adanya senyawa pendukung yang merupakan agen pengompleks atau sebagai penukar ion. Kompleks atau ion yang terbentuk antara ion logam zat dengan senyawa pendukung akan terlarut dalam membran sehingga memfasilitasi terjadinya transport ion-ion logam melintasi membran. Senyawa pendukung yang bersifat asam adalah reagen yang umum dalam proses ekstraksi dan digunakan pada skala industri besar dalam hidrometalurgi. Selain itu senyawa kompleks yang terbentuk dari *carrier* makrosiklik dan makromolekul menghasilkan selektivitas pemisahan yang sangat baik, namun untuk aplikasi skala industri besar cukup mahal dan implikasi terhadap lingkungan belum diketahui lebih lanjut (Nghiem *et al.*, 2006).

Struktur molekul senyawa pendukung mempengaruhi kecepatan transport dari larutan target untuk melewati membran. Hal ini merupakan faktor yang paling penting untuk mengatur selektivitas membran dengan menyesuaikan struktur molekul pembawa dengan senyawa target, sehingga akan diperoleh selektivitas tertentu. Aguilar *et al.* (2001) melaporkan bahwa senyawa pendukung yang

hidrofilik (*diazabenzocrown*) memiliki selektivitas yang lebih tinggi dalam memisahkan ion logam Pb(II) lebih dari Cd(II) dan Zn(II). Sifat kebasaaan yang lebih tinggi juga mempengaruhi selektivitas yang lebih baik untuk Cr(VI) lebih dari Zn(II) dan Cd(II) (Kozlowski *and* Walkowiak, 2004; Nghiem *et al.*, 2006). Sifat netral dan asam akan memberikan selektivitas yang rendah.

Selektivitas yang tinggi dapat dicapai dengan senyawa pendukung makrosiklik dan makromolekul, tergantung pada struktur kimianya. Adanya polimer pendukung dan senyawa pendukung (*carrier*) yang sesuai dengan senyawa target, diharapkan akan terbentuk membran yang homogen, film tipis, selektivitas tinggi, dan kuat (Pereira *et al.*, 2009).

Plasticizer sebagai salah satu komponen pembentuk membran PIM. Rantai molekul membran PIM memiliki kombinasi berbagai jenis gaya tarikan, diantaranya adalah gaya Van Der Waals yang melimpah namun lemah dan tidak spesifik, sementara interaksi polar lebih kuat terjadi di pusat-pusat polar molekul. Kejadian ini akan menghasilkan membran dengan film tipis yang kaku dan tidak fleksibel, sehingga hal ini tidak memberi keuntungan dalam aliran difusi senyawa target dalam matriks polimer. Untuk meningkatkan spesies logam, aliran, kehalusan dan fleksibilitas membran. Sehingga, *plasticizer* berperan untuk menembus antara molekul polimer dan “sebagai penetral” gugus polar polimer dengan gugus polarnya sendiri atau untuk meningkatkan jarak antar molekul polimer sehingga akan mengurangi gaya tarik antarmolekul.

Penggunaan membran sebagai suatu teknologi pemisahan mempunyai keunggulan dibandingkan dengan teknologi pemisahan lainnya, keuntungan yang dimiliki yaitu: (1) lebih ekonomis dalam pemakaian energi, karena pemisahan menggunakan membran tidak melibatkan perubahan fasa. Walaupun ada perubahan fasa seperti pada distilasi membran, namun temperatur yang dibutuhkan jauh lebih rendah dari pada titik didih larutan yang akan dipisahkan, (2) tidak membutuhkan zat bantu kimia dan tidak ada tambahan produk buangan, (3) bersifat modular artinya modul membran dapat ditingkatkan kapasitas proses

dengan memperbanyak unitnya, dan (4) dapat digabungkan dengan jenis operasi lainnya.

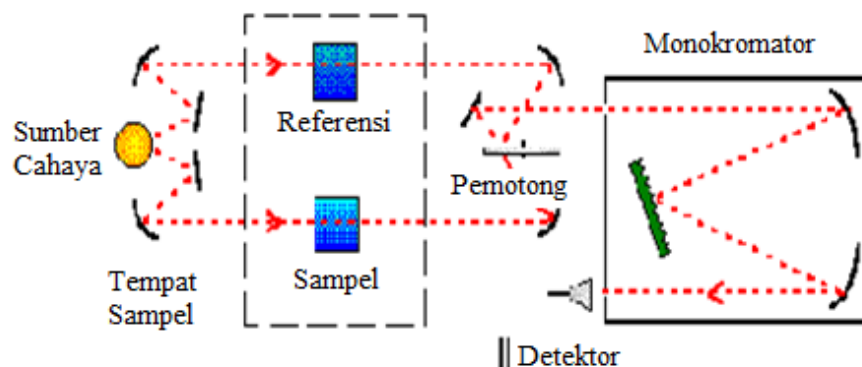
2.5 Karakterisasi Membran PIM

Pada penelitian ini dilakukan beberapa karakterisasi untuk menunjang hasil dari analisis yang dilakukan. Analisis gugus fungsi dan komponen kimia terhadap hasil sintesis membran menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), mengukur serapan cahaya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis, dan morfologi permukaan membran menggunakan *Scanning Elektron Microscope* (SEM).

2.5.1 Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)

Fourier Transform Infra Red (FTIR) merupakan suatu metode spektroskopi *infra red* yang digunakan untuk mengamati interaksi-interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik. Metode ini didasarkan pada absorpsi radiasi inframerah oleh sampel yang akan menghasilkan perubahan keadaan vibrasi dan rotasi dari molekul sampel. Vibrasi dapat terjadi karena energi yang berasal dari sinar *infrared* tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi elektron pada molekul senyawa yang ditembak yang mana besarnya energi vibrasi tiap atom atau molekul berbeda tergantung pada atom-atom dan kekuatan ikatan yang menghubungkannya sehingga dihasilkan frekuensi yang berbeda pula. Intensitas absorpsi bergantung pada seberapa efektif energi foton inframerah dipindahkan ke molekul, yang dipengaruhi oleh perubahan momen dipol yang terjadi akibat vibrasi molekul (Amand and Tullin, 1999).

Hal yang perlu diperhatikan dalam menginterpretasi kurva serapan inframerah adalah bilangan gelombang, bentuk kurva serapan (sempit tajam atau melebar) dan intensitas serapan (kuat, sedang, atau lemah). Hubungan antara persen absorbansi dengan frekuensi dapat menghasilkan sebuah spektrum inframerah (Kosela, 2010). Skema alat spektroskopi FTIR dan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema alat FTIR (Dachriyanus, 2004)

Menurut Dachriyanus (2004), Jika suatu frekuensi tertentu dari radiasi inframerah dilewatkan pada sampel suatu senyawa organik maka akan terjadi penyerapan frekuensi oleh senyawa tersebut. Detektor yang ditempatkan pada sisi lain dari senyawa akan mendeteksi frekuensi yang dilewatkan pada sampel yang tidak diserap oleh senyawa. Banyaknya frekuensi yang melewati senyawa (yang tidak diserap) akan diukur sebagai persen transmittan. Spektrofotometer inframerah pada umumnya digunakan untuk menentukan gugus fungsi suatu senyawa organik dan mengetahui informasi struktur suatu senyawa organik dengan membandingkan daerah sidik jarinya. Kisaran serapan yang kecil dapat digunakan untuk menentukan tipe ikatan. Untuk memperoleh hal tersebut maka dibutuhkan tabel bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan. Bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan disajikan pada Tabel 5 (Dachriyanus, 2004).

Tabel 5. Bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan

Bilangan gelombang (cm^{-1})	Jenis ikatan
3750-3000	regangan O-H, N-H
3000-2700	regangan $-\text{CH}_3$, $-\text{CH}_2$, C-H aldehyd
2400-2100	regangan $\text{C}\equiv\text{C}$ -, $\text{C}\equiv\text{N}$
1900-1650	regangan $\text{C}=\text{O}$ (asam, aldehyd, keton, amida, ester, anhidrida)
1675-1500	regangan $\text{C}=\text{C}$ (aromatik dan alifatik), $\text{C}=\text{N}$
1475-1300	C-H <i>bending</i>
1000-650	C=C-H, Ar-H <i>bending</i>

Analisis menggunakan spektrofotometer FTIR dapat mengidentifikasi material yang belum diketahui dan dapat menentukan kualitas dan jumlah komponen sebuah sampel (Hamdila, 2012). Karakterisasi FTIR dilakukan pada hasil sambung silang senyawa pembawa dan sesudah polimerisasi yang bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam senyawa pembawa, sehingga dapat menunjukkan keberhasilan sintesis senyawa pembawa tersebut. Pada membran PIM karakterisasi FTIR dilakukan sebelum dan sesudah transpor, kemudian hasil dari karakterisasi tersebut akan menunjukkan spektrum serapan yang spesifik mengidentifikasi gugus fungsi yang terserap pada membran sebelum dan sesudah transpor (Sunarsih, 2019).

2.5.2 Spektrofotometer UV-Vis

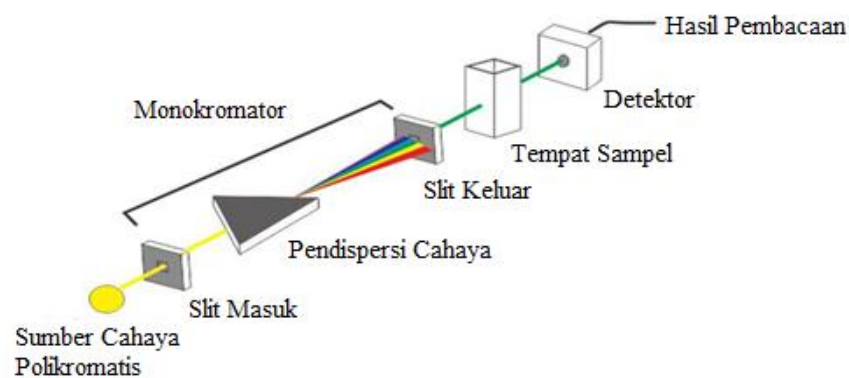
Spektrofotometri UV-Vis adalah pengukuran panjang gelombang, intensitas sinar ultraviolet, dan cahaya tampak yang diabsorpsi oleh sampel. Sinar ultraviolet dan cahaya tampak memiliki energi yang cukup untuk mempromosikan elektron pada kulit terluar ke tingkat energi yang lebih tinggi. Spektrofotometri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

Spektrofotometri 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 detektor diproses, diubah ke digital dan dilihat hasilnya, selanjutnya perhitungan dilakukan dengan komputer yang sudah terprogram (Harjadi, 1993). Skema alat spektrofotometer UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 7.



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

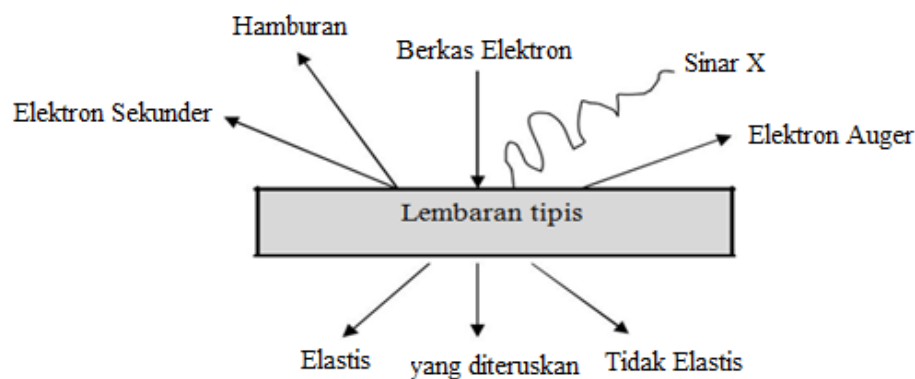
Beberapa metode analisis fenol yang telah dilakukan dan dikembangkan dalam rangka mendeteksi dan menghitung kadar fenol, diantaranya berdasarkan reaksi diazotisasi menggunakan reagen 4-aminoantipirin (4-AAP), asam sulfanilat, 3-metil-2-benzotiazolinon hidrazin hidroklorida (MBTH) dalam suasana asam (Abdullah *et al.*, 2005) ataupun menggunakan instrument kromatografi gas dan HPLC.

Prinsip kerja penentuan fenol dengan 4-AAP ini berbasis pada reaksi warna dari fenol dengan 4-aminoantipirin pada pH $10 \pm 0,2$ dalam suasana $K_3Fe(CN)_6$. Warna antipirin yang terbentuk di ekstraksi dari larutan fenol menggunakan kloroform lalu absorbansinya diukur pada 460 nm. Konsentrasi senyawa fenol dalam sampel dinyatakan dalam mg/L fenol pada SNI 06-6989.21-2004 (Kiswandono dkk., 2010).

2.5.3 Scanning Elektron Microscope (SEM)

SEM merupakan mikroskop elektron yang dapat digunakan untuk mengamati morfologi permukaan dalam skala mikro dan nano dalam suatu sampel. Prinsip dari analisis SEM menggunakan elektron sebagai sumber pencitraan dan medan elektromagnetik sebagai lensanya. Elektron berinteraksi dengan atom-atom dalam sampel sehingga mengakibatkan sampel memberikan sinyal informasi mengenai permukaan topografi sampel, komposisi, dan sifat-sifat lainnya dengan tambahan adanya alat pendukung (Sajidah, 2017).

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 8.

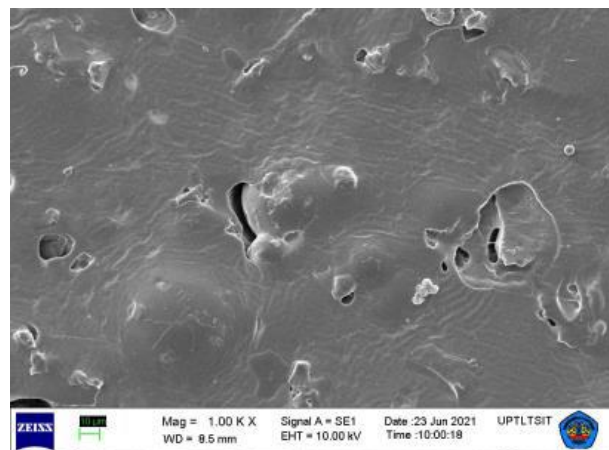


Gambar 8. Hamburan elektron yang jatuh pada lembaran tipis (Smallman, 2000).

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).

SEM memiliki perbesaran 10 – 3000000x, *depth of field* 4 – 0,4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri (Prasetyo, 2011). Karakterisasi SEM pada membran PIM bertujuan untuk mengetahui morfologi dari membran PIM. Gambar 9 menunjukkan hasil karakterisasi dari membran PIM sesudah dilakukan transpor, terlihat permukaan membran yang masih rata dan beberapa pori pada bagian permukaan membran. Berdasarkan hasil SEM pada membran PIM, membran dapat digunakan kembali untuk melakukan transpor fenol karena senyawa pembawa yang terdapat pada kerangka pori-pori membran sebagian besar belum terkikis.

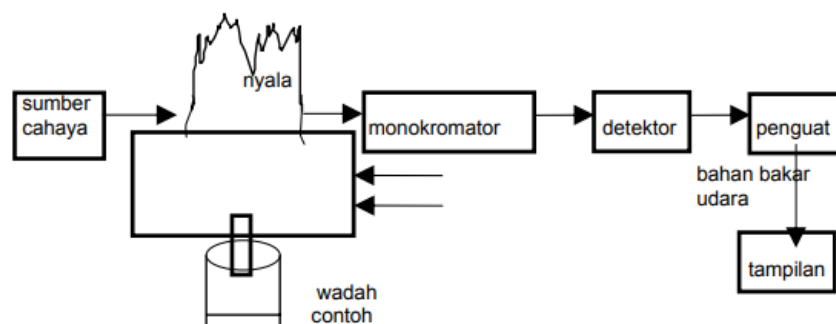


Gambar 9. Mikrograf Membran PIM sesudah Transpor
(Praktik Kerja Lapangan, 2020)

2.5.4 Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)

Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) atau Spektrometri Serapan Atom (SSA), merupakan metode analisis unsur secara kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas (Skoog *et al.*, 2000). Prinsip dari analisis dengan AAS ini didasarkan proses penyerapan energi oleh atom atom yang berada pada tingkat tenaga dasar (*ground state*). Penyerapan energi tersebut akan mengakibatkan tereksitasinya elektron dalam kulit atom ke tingkat tenaga yang lebih tinggi (*excited state*). Akibat dari proses penyerapan radiasi tersebut elektron dari atom atom bebas tereksitasi ini tidak stabil dan akan kembali ke keadaan semula disertai dengan memancarkan energi radiasi dengan panjang gelombang tertentu dan karakteristik untuk setiap unsur. Besarnya konsentrasi atom atom ini sebanding dengan konsentrasi unsur dalam larutan yang dianalisis.

Pada analisis SSA ini dengan membuat kurva kalibrasi hubungan konsentrasi terhadap absorbansi larutan standar akan diperoleh garis lurus (pada konsentrasi tertentu), yang disebut dengan kurva kalibrasi, dengan menginterpolasikan absorbansi unsur dalam larutan sampel ke kurva kalibrasi atau dengan memasukan absorbansi tersebut ke dalam persamaan regresi linier untuk masing-masing unsur, maka konsentrasi unsur dalam larutan cuplikan tersebut dapat ditentukan. Pada alat SSA terdapat dua bagian utama yaitu suatu sel atom yang menghasilkan atom atom gas bebas dalam keadaan dasarnya dan suatu sistem optik untuk pengukuran sinyal. Suatu skema umum dari alat SSA dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Skema umum komponen pada alat AAS (Haswell, 1991)

Dalam metode SSA, sebagaimana dalam metode spektrometri atomik yang lain, sampel harus diubah ke dalam bentuk uap atom. Proses perubahan ini dikenal dengan istilah atomisasi, pada proses ini contoh diuapkan dan didekomposisi untuk membentuk atom dalam bentuk uap. Sumber cahaya yang digunakan dalam alat AAS ialah lampu katoda berongga (*hollow cathode lamp*). Lampu ini terdiri dari suatu katoda dan anoda yang terletak dalam suatu silinder gelas berongga yang terbuat dari kwarsa. Katoda terbuat dari logam yang akan dianalisis. Silinder gelas berisi suatu gas lembam pada tekanan rendah. Ketika diberikan potensial listrik maka muatan positif ion gas akan menumbuk katoda sehingga terjadi pemancaran spektrum garis logam yang bersangkutan. Berkas cahaya dari lampu katoda berongga akan dilewatkan melalui celah sempit dan difokuskan menggunakan cermin menuju monokromator. Monokromator dalam alat SSA akan memisahkan, mengisolasi dan mengontrol intensitas energi yang diteruskan ke detektor. Monokromator yang biasa digunakan ialah monokromator difraksi *grating*.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Januari sampai Juli 2022 di Laboratorium Kimia Analitik, Instrumentasi Kimia FMIPA. Karakterisasi senyawa pembawa menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) yang akan dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung. Karakterisasi membran PIM sebelum dan sesudah transpor menggunakan SEM yang dilakukan di Laboratorium UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LSIT) Universitas Lampung dan FT-IR yang dilakukan Laboratorium Instrumentasi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung. Analisis optimasi transpor dan evaluasi ketahanan membran menggunakan spektrofotometer UV-Vis yang akan dilakukan di Laboratorium Biokimia FMIPA Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pH meter, corong pisah, alat-alat penunjang laboratorium berupa alat gelas dan plastik, neraca analitik (Mettler Toledo AB54-S), set alat transport fenol (*chamber*, *stirrer*, dan pengaduk magnet), desikator, spektrofotometer FTIR (Perkinelmer UATR Two C999515), spektrofotometer UV-Vis dan *Scanning Elektron Membrane* (SEM).

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Poli-BADGE 3:1, Kloroform (CH_3Cl), akuabides, fenol, polivinil klorida (PVC), dibenzil eter (DBE), ammonia (NH_3), asam klorida (HCl), tetrahidrofur (THF), natrium hidroksida (NaOH), akuades, 4-aminoantipirin (4-AAP), kalium ferrisianida ($\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$), timbal (II) nitrat ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), kadmium (II) nitrat ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), kalium fosfat (KH_2PO_4), dikalium fosfat (K_2HPO_4), tisu, dan *aluminium foil*.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pembuatan Membran PIM

Perbandingan poli-BADGE 3:1 sebagai senyawa pembawa, PVC sebagai polimer dasar, dan DBE sebagai *plasticizer* adalah 10:32:58 dengan komposisi membran PIM seperti terlihat pada Tabel 6. Tetrahidrofur (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 6. Komposisi komponen pembentuk membran PIM (Nghiem *et al.*, 2006)

Tipe membran	Senyawa pembawa (g)	PVC (g)	DBE (g)	Total (g)
T ₂₇ (tipis)	0,027	0,0864	0,1566	0,2700
T ₅₄ (normal)	0,054	0,1728	0,3132	0,5400
T ₁₀₈ (tebal)	0,108	0,3456	0,6264	0,1080

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 fenol 60 ppm dan fasa penerima berisi NaOH yang berperan sebagai *stripping agent*. Karakterisasi

membran PIM sebelum dan sesudah transpor dianalisis menggunakan FT-IR, dan SEM.

3.3.2 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Fenol

Sebanyak 5 mL fenol 60 ppm ditambahkan dengan 5 mL akuabides sehingga volumenya menjadi 10 mL dan ditambahkan dengan NH_4OH 1 M dan pH-nya diatur menjadi 9,8-10,2 menggunakan buffer pospat. 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 λ (panjang gelombang) 400 nm sampai 600 nm untuk mendapatkan panjang gelombang maksimum.

3.3.3 Pengukuran Konsentrasi Fenol dalam Sampel

Sebanyak 5 mL sampel, fasa sumber dan fasa penerima serta larutan standar fenol dengan beberapa variasi konsentrasi ditambahkan dengan 5 mL akuabides sehingga volumenya menjadi 10 mL. Larutan tersebut diatur pH-nya menjadi $10 \pm 0,2$ dengan menggunakan NH_4OH 1M, buffer posfat dan HCl 3 M untuk fasa penerima, kemudian ditambahkan 1mL 4-aminoantipirin 2% dan kalium ferrisianida 8%. Larutan tersebut didiamkan selama 2 jam sampai terjadi perubahan warna menjadi merah muda.

Setelah terjadi perubahan warna, larutan dipindahkan ke dalam corong pisah dan ditambahkan dengan 5 mL kloroform. Corong pisah dikocok dan didiamkan beberapa saat hingga terjadi pemisahan, kemudian lapisan organik atau lapisan kloroform (bagian bawah) dipisahkan. Ekstrak kloroform yang diperoleh diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang (λ) maksimum.

3.3.4 Optimasi Tranpor Fenol

3.3.4.1 Transpor Fenol dengan Variasi pH Fasa Sumber

Membran polimer dengan ketebalan normal yang sudah dicetak dan mengandung senyawa pembawa poli-BADGE 3:1 ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber yang telah diatur pH-nya yaitu 3,5 ; 4,5 ; 5,5 ; 6,5 ; dan 8. Selanjutnya pada fasa penerima ditambahkan 50 mL NaOH 0,1 M sebagai fasa penerima. Setelah itu, pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet pada fasa sumber dan fasa penerima selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.3.4.2 Transpor Fenol dengan Variasi Konsentrasi Penerima (NaOH) pada pH Optimum Fasa Sumber

Membran polimer dengan ketebalan normal yang sudah dicetak dan mengandung senyawa pembawa poli-BADGE 3:1 ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber dengan pH optimum dan 50 mL NaOH dengan variasi konsentrasi 0,01, 0,05, 0,1, 0,25 dan 0,5 M sebagai fasa penerima, lalu pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet pada fasa sumber dan fasa penerima selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.3.4.3 Transpor Fenol dengan Variasi Ketebalan Membran pada pH Fasa Sumber dan Konsentrasi NaOH Optimum

Membran polimer dengan ketebalan T₂₇, T₅₄ dan T₁₀₈ (berat total senyawa

penyusun membran yaitu 0,27, 0,54 dan 1,08 g) yang sudah dicetak dan mengandung senyawa pembawa poli-BADGE 3:1 mol ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber dan 50 mL NaOH sebagai fasa penerima dengan kondisi optimum. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet pada fasa sumber dan fasa penerima selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.3.4.4 Transpor Fenol dengan Variasi Waktu pada pH Fasa Sumber, Konsentrasi Fasa Penerima, dan Ketebalan Membran Optimum

Membran polimer dengan ketebalan optimum yang sudah dicetak dan mengandung senyawa pembawa poli-BADGE 3:1 ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor, kemudian ditambahkan 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber dan 50 mL NaOH sebagai fasa penerima dengan kondisi optimum. Pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet pada fasa sumber dan fasa penerima dengan beberapa variasi waktu, yaitu 4, 9, 24, 32, dan 48 jam pada suhu kamar. Setelah selesai diaduk, fasa sumber dan fasa penerima diambil sampelnya. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

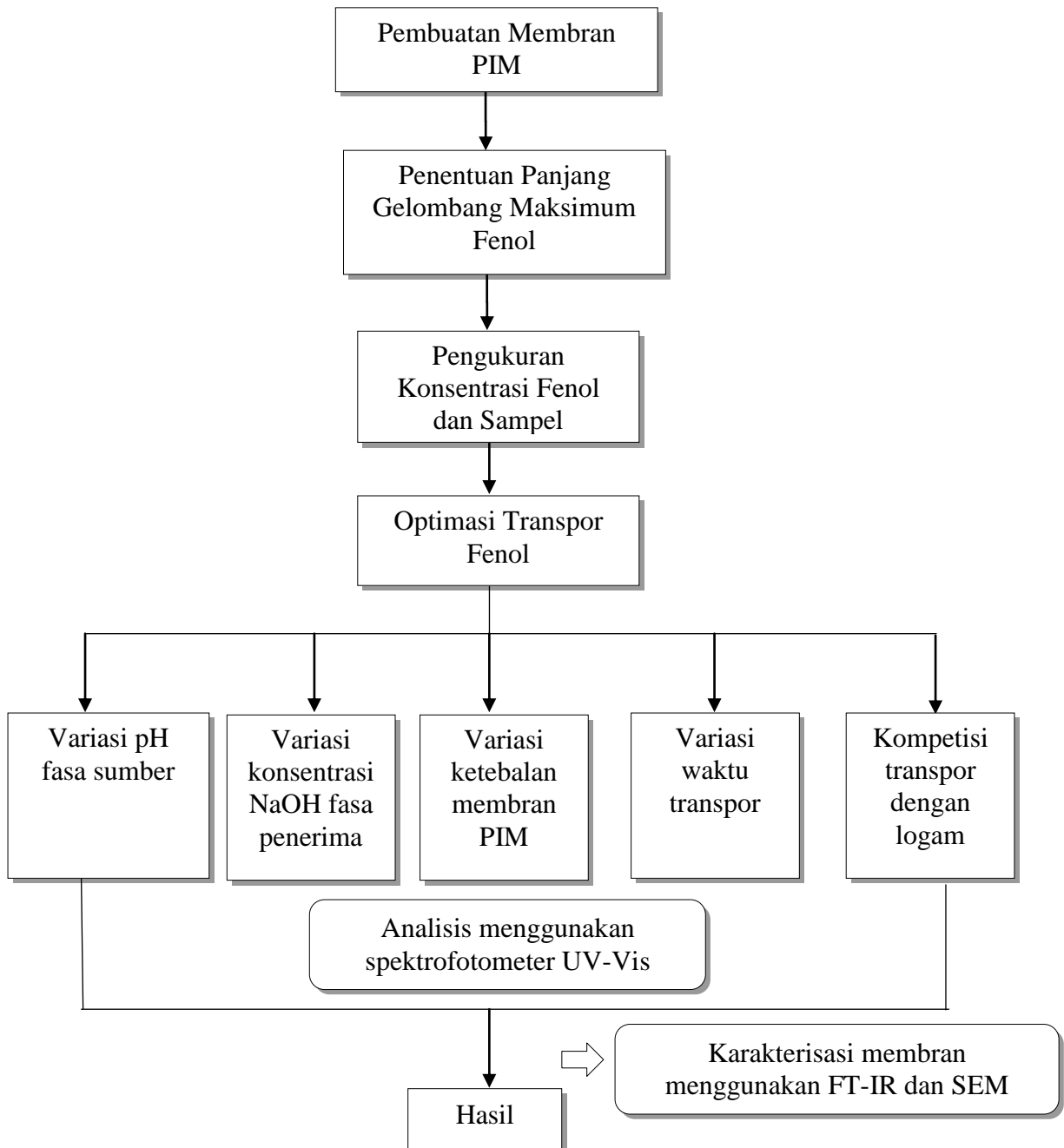
3.3.5 Optimasi Transpor Fenol dengan Logam Pb(II) dan Cd(II) pada Limbah Buatan

Transpor fenol pada limbah buatan dilakukan pada pH fasa sumber optimum, konsentrasi fasa penerima optimum, dengan ketebalan membran optimum. Membran PIM dipasang pada pembatas kolom transpor membran antara fasa sumber dan penerima, kemudian kolom sisi fasa penerima diisi 50 mL NaOH dengan konsentrasi optimum dan fasa sumber diisi 50 mL limbah buatan, yaitu larutan fenol 60 ppm yang mengandung logam Pb (II) dan Cd (II). Larutan fase

sumber diatur pH nya dengan pH optimum fenol. Kolom transpor membran ditutup lalu pada masing-masing fasa diaduk selama 24 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 Cd dianalisis menggunakan AAS.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian seperti terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Transpor fenol mencapai nilai optimum pada kondisi pH fasa sumber 5,5, konsentrasi fasa penerima 0,10M dengan ketebalan membran PIM T₅₄ (Normal) selama waktu transpor 24 jam dengan jumlah fenol yang tertranspor ke fasa penerima yaitu sebesar 85,30%.
2. Keberadaan logam kompetitor Pb(II) dan Cd(II) terhadap transpor fenol akan mengganggu proses fenol untuk tertranspor ke fasa penerima. Hal ini dibuktikan dengan konsentrasi fenol yang tertranspor ke fasa penerima sebesar 85,67% lebih besar dibandingkan konsentrasi fenol dengan logam kompetitor Pb(II) dan Cd(II) yaitu sebesar 38,77%.
3. Pada kompetisi transpor fenol dengan logam kompetitor didapatkan logam Pb yang tertranspor ke fasa penerima sebesar 0,732 ppm atau setara dengan 1,22% dan logam Cd sebesar 0,534 ppm atau setara dengan 0,89%.
4. Hasil karakterisasi membran PIM setelah transpor memiliki permukaan yang tidak rata dan terdapat pori-pori karena terdapat komponen membran yang hilang selama proses transpor (*leaching*). Hal ini dibuktikan dengan uji kualitatif FTIR yang menunjukkan adanya pergeseran pita serapan dan penurunan intensitas.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah perlu dilakukannya pengujian yang lebih optimal terhadap sampel, dan perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut mengenai transpor fenol dengan beberapa logam kompetitor selain logam Pb(II) dan Cd(II) menggunakan *Polymer Inclusion Membrane* Poli-BADGE 3:1.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, J., Ahmad, M., Heng, L.Y., Karuppiah, N., dan Sidek, H. (2005). Penggunaan Enzim Tirosinase dalam Filem Sol-gel untuk Pengesanan Fenol dengan Kaedah Optik. *Sains Malaysiana*. 34(2), 125-128.
- Agilent. 2016. *Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy (MP-AES)*. Application eHandbook.
- Aguilar, J. C., Miguel, E. R. D. S., Gyves, J. De, Bartsch, R. A., and Kim, M. (2001). Design, synthesis and evaluation of diazadibenzocrown ethers as Pb^{2+} extractants and carriers in plasticized cellulose triacetate membranes. *Talanta*.
- Agustina, S. (2006). Teknologi Membran Dalam Pengolahan Limbah Cair. *Bulletin Penelitian*. vol. 28(1), 18-24.
- Amand, L. A. and C. J. Tullin. 1999. *The Theory Behind FTIR Analysis: Application Examples from Measurement at the 12 MW Circulating Fluidized Bed Boiler at Chalmers*. Dept. of Energy Conversion Chalmers University of Technology. Gitenborg, Sweden. 1–15.
- Aufa, R. (2017). *Teknik penyisihan fenol dari air limbah*. (December).
- Badan Standardisasi Nasional SNI 06-6989.21-2004, *Air dan Air Limbah-Bagan 21: Cara Uji Kadar Fenol Secara Spektrofotometri*.
- Banat, F.A., Al-Bashir, B., Al-Asheh, S., and Hayajneh, O. (2000). Adsorption of Phenol by Bentonite. *Environ, Pollut*. 107, 391-398.
- Beker, U., Ganbold, B., Dertli, H., and Gülbayir, D. D. (2010). Adsorption of phenol by activated carbon: Influence of activation methods and solution pH. *Energy Conversion and Management*. 51(2), 235–240.
- Cho, Y., Xu, C., Cattrall, R.W., Kolev, S.D. (2010). A Polymer Inclusion Membrane for Extracting Thiocyanate from Weakly Alkaline Solutions. *Journal of Membrane Science*. vol. 367: 85-90.
- Dachriyanus. 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik secara Spektrofotometri*. CV Trianda Anugrah Pratama. Padang.
- Day, R. A., dan Underwood, A. L. 1986. *Analisis Kimia Kuantitatif, Edisi Kelima*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Desrosiers, K., Ingraham, W., and Mate, V.A. (2006). TiO_2 Photocatalysis for Organics. *Int. J. Environ. Sci. Technol*. 4(1), 19-25.

- Environmental Protection Agency (EPA). (2000). *Phenol (Hazard Summary)*. USA.
- 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), 576–581.
- Handayani, D.S., Kusumaningsih, T., dan Yuli, M. 2004. Sintesis Kopoli (Eugenol-DVB) Sulfonat dari Eugenol Komponen Utama Minyak Cengkeh (*Syzygium aromaticum*). *Biofarmasi*. 2 (2): 53 – 57.
- Harimu, L., Matsjeh, S., Siswanta, D., dan Santosa, S.J. (2009). Sintesis Polieugenil Oksiasetat Sebagai Pengemban 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.
- Harjadi, W. 1993. *Ilmu Kimia Analitik Dasar*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hamdila, J.D. 2012. Pengaruh Variasi Massa Terhadap Karakteristik Fungsionalitas dan Ternak Komposit MgO-SiO₂ Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Katalis. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Holilah, Iis. 2016. *Analisis Logam Merkuri dan Arsen Dalam Krim Pemutih Kulit Secara Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy (MP-AES)*. Universitas Lampung.
- Huang, J., Zhou, Y., Huang, K., Liu, S., Luo, Q., and Xu, M. (2007). Adsorption behavior, thermodynamics, and mechanism of phenol on polymeric adsorbents with amide group in cyclohexane. *Journal of Colloid and Interface Science*. 316(1), 10–18.
- Huda, N. 2001. Pemeriksaan kinerja spektrofotometer UV-Vis GBC 911A menggunakan pewarna tartrazine CL 19140. *Sigma Epsilon*. 1 (20): 15-20.
- Khoiruddin, K., Jenderal, U., Yani, A., dan Hakim, A. N. (2010). *Diktat Pengantar Teknologi Membran*. Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Khopkar, S.M. 2003. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press. Jakarta.
- Kislik, V.S. (2010). *Liquid Membranes: Principles and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment*. Elsevier. Inggris.
- Kiswandono, A.A., Siswanta, D., dan Arilita, N.H. (2010). *Studi Transpor Fenol dengan Menggunakan Membran Cair Polieugenol.*, Prosiding Seminar Nasional, FKIP Jurusan Kimia Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Kiswandono, A. A. (2014). *Kajian Transpor Fenol Melalui Membran Berbasis Polieugenol Tertaut Silang Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane (PIM)*. Disertasi Ilmu Kimia. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kiswandono, A. A. (2016). Metode membran cair untuk pemisahan fenol, (November). *Analit : Analytical and Environmental Chemistry vol. 1* : 74-88.

- Kosela, S. 2010. *Cara Mudah dan Sederhana Penentuan Struktur Molekul Berdasarkan Spektra Data (NMR, Mass, IR, UV)*. Penerbit Lembaga FE UI. Jakarta. Hal.179.
- Kusumastuti, A. (2007). *Pemulihan Fenol Dari Air Limbah Dengan Membran Cair Emulsi* (Abstrak). Tesis Magister Teknik kimia. Master Theses.
- Leach JB., Wolinsky JB., Stone PJ., and Wong JY. 2005. *Crosslinked α -elastin biomaterials: towards a processable elastin mimetic scaffold*. *Acta Biomaterials*. 1, 155-164.
- Li, J. M., Meng, X. G., Hu, C. W., and Du, J. (2009). Adsorption of phenol, p-chlorophenol and p-nitrophenol onto functional chitosan. *Bioresource Technology*, 100(3), 1168–1173.
- Li, N., and Lee, H.K. (1997). Trace Enrichment of Phenolic Compounds From Aqueous Samples by Dynamic Ion-Exchanger Solid-Phase Extraction. *Anal. Chem.* 69, 5193-5199.
- Ling, Y. Y., Suah, F. B. M. (2017). Extraction of Malachite Green from Wastewater by Using Polymer Inclusion Membrane. *Journal of Environmental Chemical Engineering vol. 5*: 785-794.
- Malusis, M. A., Maneval, J. E., Barben, E. J., Shackelford, C. D., and Daniels, E. R. (2010). Influence of adsorption on phenol transport through soil-bentonite vertical barriers amended with activated carbon. *Journal of Contaminant Hydrology*.
- Meng, X., Gao, C., Wang, L., Wang, X., Tang, W., and Chen, H. (2015). Transport of Phenol Through Polymer Inclusion Membran with N, N-di(1-methylheptyl) acetamide as Carriers from Aqueous Solution. *Journal of Membran Science vol. 493*: 615-621.
- Molva, M., (2004). *Removal of Phenol from Industrial Wastewaters Using Lignitic Coals (Dissertation)*. Izmir Institute of Technology. Turkey.
- Moraitopoulos, I., Ioannou, Z., Simitzis, J., and Materials, A. (2009). from aqueous solutions onto an activated carbon column under semi-batch and continuous operation, 3(10), 553–557.
- Mozhdehvari, H., Tabatabaei, S.M., and Tajkhailei, A. (2009). *Catalytic Ozonation of Phenol Occurring in Power Plants Oily, Waste Water* 24th International Power System Conference.
- Mulder, M. (1996). *Basic Principle of Membrans Technology, 2nd edition*, Kluwer Academic Publisher, Ther Netherlands.
- Ngadiwiyana, Ismiyanto , Jumina , dan Chairil Anwar. 2008. Polimerisasi Eugenol dengan Katalis Asam Sulfat Pekat. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 11 (2) : 38 – 4.
- Nghiem, L. D., Mornane, P., Potter, I. D., Perera, J. M., Cattrall, R. W., and Kolev, S. D. (2006). Extraction and transport of metal ions and small organic compounds using polymer inclusion membranes (PIMs). *Journal of Membrane Science*, 281(1–2), 7–41.

- Oshita K., Takayanagi T., Oshima M., and Motomizu S., 2002. *Adsorption Behavior of Cationic and Anionic Species on Chitosan Resins Possessing Amino Acid Moieties*. *Analytical Sciences*, 23, 1431-1434.
- Othman, N, Noah, N. F. H., Jusoh, N., and Nora'aini A. (2015). Removal of Phenol from Wastewater by Supported Liquid Membrane Process. *Research Gate*. 74:7 117-121.
- PP RI. Nomor 82. (2001). *Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air Presiden Republik Indonesia*.
- Pereira, N., St John, A., Cattrall, R. W., Perera, J. M., and Kolev, S. D. (2009). Influence of the composition of polymer inclusion membranes on their homogeneity and flexibility. *Desalination*, 236(1-3), 327-333.
- Prasetyo, Y. 2012. Differential Thermal Analysis (DTA). Diakses pada tanggal 03 februari 2019 dari <http://www.yudiprasetyo.53.wordpress.com/2012/01/28/diffthermal-analys.html>.
- Smallman, R. E. 2000. *Metalurgi Fisik Modern Edisi Keempat*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Sajidah, H.B.N. (2017). *Review : Differential Thermal Analysis (DTA), Differential Scanning Calorimetry (DSC), Thermal Gravimetric Analysis (TGA) Scanning Elektron Microscopy (SEM) dan Transmission Elektron Microscopy (TEM) untuk Karakterisasi Serbuk Ba1-xSrxTiO3*, Departemen Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sgarlata, C., Arena, G., Longo, E., Zhang, D., Yang, Y., and Bartsch, R.A. (2008). Heavy Metal Separation with Polymer Inclusion Membrane. *Journal of Membrane Science vol 323*: 444-451.
- Stavropoulos, G. G., Samaras, P., and Sakellaropoulos, G. P. (2008). Effect of activated carbons modification on porosity, surface structure and phenol adsorption. *Journal of Hazardous Materials*.
- Suah, F. B. M., and Ahmad, M. (2017). Preparation and characterization of polymer inclusion membrane based optode for determination of Al³⁺ion. *Analytica Chimica Acta*, 951, 133-139.
- Sunarsih, Fitri. 2019. Sintesis Kopolimer Eugenol Etilen Glikol Dimetakrilat (Ko-EEGDMA) sebagai Senyawa Pembawa Menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane (PIM)*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Tseng, R. L., Wu, K. T., Wu, F. C., and Juang, R. S. (2010). Kinetic studies on the adsorption of phenol, 4-chlorophenol, and 2,4-dichlorophenol from water using activated carbons. *Journal of Environmental Management*, 91(11), 2208-2214.
- Uddin, M.T., Islam, M.S., and Abedin, M.Z. (2007). Adsorption of Phenol from Aqueous Solution by Water Hyacinth Ash, *ARPN J. Eng. App. Sci.*, 2(2), 11-17.

- Wang, D., Hu, J., Liu, D., Chen, Q., and Li, J. (2017). Selective Transport and Simultaneous Separation of Cu(II), Zn(II), and Mg(II) using a dual Polymer Inclusion Membrane System. *Journal of Membrane Science* vol 524: 206-213.
- Wirawan, T. (2001). *Ekstraksi Fenol dari Sampel Air Menggunakan Extrelut 3*, Tesis Kimia Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Yulianto, A. (2011). Penurunan Fenol Melalui Proses, *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan* vol. 3, 66–72.
- Zainuddin, N.F., Abdullah, A.Z., and Mochamed, A.R. (2008). Development of Supported TiO₂ Photocatalyst Based Adsorbent for Photocatalytic Degradation of Phenol, *International Conference on Environment 2008* (ICENV 2008).