SINTESIS KOPOLI- EUGENOL ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT (KO-EEGDMA) SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA PADA TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN METODE *POLYMER INCLUSION MEMBRANE* (PIM)

(Skripsi)

Oleh

Fitri Sunarsih

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019

ABSTRAK

SINTESIS KOPOLI- EUGENOL ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT (KO-EEGDMA) SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA PADA TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN METODE *POLYMER INCLUSION MEMBRANE* (PIM)

Oleh

FITRI SUNARSIH

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemisahan fenol menggunakan metode membran cair *polymer inclusion membran* (PIM) dengan senyawa pembawa Kopoli-Eugenol Etilen Dimetakrilat (Ko-EEGDMA). Hasil sintesis Ko-EEGDMA berupa padatan berwarna merah bata dan hasil karakterisasi FT-IR menunjukan hilangnya gugus alkena berupa vinil dan alil sebagai parameter keberhasilan sintesis pada bilangan gelombang 995,2 cm^{-1} dan 1636,5 cm^{-1}. Uji membran PIM telah dilakukan pada beberapa parameter yang mempengaruhi proses transpor yaitu pH fasa sumber, konsentrasi fasa penerima, ketebalan membran, waktu transpor, mempelajari kinetika reaksi yang terjadi pada proses transpor dan studi kompetitif fenol terhadap kompetitor logam Pb(II) dan Cu(II). Membran PIM dikarakterisasi dengan SEM dan FT-IR sebelum dan sesudah transpor untuk mengetahui morfologi permukaan membran dan interaksi antara fenol dengan Ko-EEGDMA. Untuk keberhasilan transpor dilakukan analisis kadar fenol menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 456 nm menggunakan reagen 4-AAP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran PIM dengan senyawa pembawa Ko-EEGDMA mampu mentranspor fenol pada keadaan optimum pH fasa sumber 4,5, konsentrasi NaOH 0,5 M, ketebalan membran 20 x 10^{-2} mm, dan waktu transpor 60 jam dengan % Cp mencapai 72,1 % dan % Cs sebesar 17,7 %. Transpor fenol mengikuti kinetika reaksi orde 1 dengan nilai fluks 0,526 L/m^2jam, dan selektifitas PIM dalam mentransfor fenol dalam campuran Pb(II) dan Cu(II) cukup baik. Logam Pb(II) dan Cu(II) terhadap transpor fenol mengakibatkan gangguan terhadap proses transpor dengan menurunnya kadar fenol yang tertranspor ke fasa penerima.

Kata kunci : Fenol, Kopoli-Eugenol Etilen Dimetakrilat (Ko-EEGDMA), *Polymer Inclussion Membran* (PIM).

ABSTRACT

SYNTHESIS OF COPOLI-EUGENOL ETHYLENE GLYCOL DIMETHACRYLATE AS A CARRIER COMPOUND IN PHENOL TRANSPORT USING THE POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM) METHOD

By

Fitri Sunarsih

This study aims to perform phenol separation using the polymer inclusion membrane (PIM) method with the Copoli-Eugenol Ethylene Dimetakrilat (Co-EEGDMA) carrier compound. The results of the Co-EEGDMA synthesis in the form of brick-red solids and FT-IR characterization results showed the loss of vinyl and allyl alkene groups as parameters of the success of synthesis at wave numbers 995.2 cm^{-1} and 1636.5 cm^{-1}. PIM membrane test has been carried out on several parameters that affect the transport process, namely source phase pH, receiver phase concentration, membrane thickness, transport time, studying the reaction kinetics that occur in the transport process and phenol competitive studies of metal competitors Pb (II) and Cu (II). PIM membranes were characterized by SEM and FT-IR before and after transport to determine the surface morphology of the membrane and the interaction between phenols and Co-EEGDMA. For successful transport, phenol levels were analyzed using a UV-Vis spectrophotometer at a maximum wavelength of 456 nm using a 4-AAP reagent. The results showed that the PIM membrane with a Co-EEGDMA carrier compound was able to transport phenol at the optimum state of source pH 4.5, NaOH concentration 0.5 M, membrane thickness 20 x 10^{-2} mm, and transport time of 60 hours with % Cp reaching 72.1 % and % Cs of 17.7 %. Phenol transport follows the kinetics of first order reaction with a flux value of 0.526 L / m^2 hour, and the selectivity of PIM in transforming phenol in a mixture of Pb (II) and Cu (II) is quite good. Pb (II) and Cu (II) metals to phenol transport cause disturbance to the transport process by decreasing the level of phenol that is transported to the receiving phase.

Keywords : Phenol, Copoli-Eugenol Ethylene Dimetakrilat (Co-EEGDMA), polymer inclusion membrane (PIM).

SINTESIS KOPOLI- EUGENOL ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT (KO-EEGDMA) SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA PADA TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN METODE *POLYMER INCLUSION MEMBRANE* (PIM)

Oleh

FITRI SUNARSIH

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019

Judul Skripsi	:	**SINTESIS KOPOLI-EUGENOL ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT (KO-EEGDMA) SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA PADA TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN METODE *POLYMER INCLUSION MEMBRANE* (PIM)**
Nama Mahasiswa	:	Fitri Sunarsih
No. Pokok Mahasiswa	:	1517011138
Jurusan	:	Kimia
Fakultas	:	Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.	**Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.**
NIP 19700705 200501 1 003	NIP 19590706 198811 1 001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

   Sekretaris : **Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.** .....

   Penguji
   Bukan Pembimbing : **Dr. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si.** .....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **26 November 2019**

PERNYATAAN

Nama : Fitri Sunarsih

Nomor Pokok Mahasiswa : 1517011138

Program Studi : Kimia

Jurusan : Kimia

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul Sintesis Kopoli-Eugenol Etilen Glikol Dimetakrilat (Ko-EEGDMA) sebagai Senyawa Pembawa pada Transpor Fenol menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) 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, 16 Desember 2019
Yang Menyatakan

Fitri Sunarsih
NPM 1517011138

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Fitri Sunarsih, lahir di Sukajaya pada tanggal 13 Februari 1997 merupakan anak pertama dari enam bersaudara, yang lahir dari pasangan suami istri Bapak Sutono dan Ibu Napsiyah. Penulis sekarang bertempat tinggal Sukajaya Desa Sidoharjo Kecamatan Kelumbayan Barat, Tanggamus, Lampung.

Penulis Menyelesaikan Pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 2 Sidoharjo lulus pada tahun 2009, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Kelumbayan Barat lulus pada tahun 2012, dan penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di MAN 2 Bandar Lampung pada tahun 2015, dan pada tahun yang sama penulis melanjutkan ke perguruan tinggi di Jurusan S1 Kimia FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selain belajar di bangku kuliah penulis juga aktif berorganisasi. Organisasi yang pernah diikuti adalah Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) sebagai Kader Muda Himaki (KAMI) tahun 2015-2016 dan anggota Bidang Usaha Mandiri (BUM) 2016. Selain mengikuti organisasi, penulis juga pernah menjadi asisten dosen pada Praktikum Kimia Dasar I dan Kimia Dasar II pada tahun 2018 untuk

mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas MIPA serta asisten Praktikum Kimia Analitik II tahun 2019 untuk mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Lampung. Penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi Jurusan Kimia FMIPA Unila. Pada tahun 2018, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Timbulrejo, Kecamatan Bangunrejo, Kabupaten Lampung Tengah.

MOTTO

"Yes, I Can!!"

"If you're debating wether to go or not, go!"

"Kebahagiaan bukan sesuatu yang harus diraih. Dalam proses meraih sesuatupun kamu bisa bahagia"

(RM BTS)

"Kalau kau tidak bisa terbang, maka berlarilah
Kalau tak bisa berlari, maka berjalanlah
Kalau tak bisa berjalan, maka merangkaklah
Tapi apapun yang kamu lakukan kamu tetap harus bergerak maju"

(Martin Luther King Jr.)

Dengan Menyebut nama Allah yang Maha pengasih lagi Maha penyayang

Dengan mengucap Alhamdulillahirobil'alamin dan segala Kerendahan hati kupersembahkan karya kecilku ini kepada

Kedua orang tuaku, Mamah dan Bapak tercinta yang telah memberikan kasih sayang, cinta sepanjang masa, dan tak hentinya berdo'a untukku sepanjang masa

Adik-adikku tercinta Herni Nursiah, Abdul Rohman, Abdul Rohim, Putri Khomsatun dan Rizki Saputra yang selalu memberikan doa serta dukungan

Sahabat, Kerabat, dan Teman-teman yang telah memberikan banyak dukungan

Dengan penuh rasa hormat kepada Pembimbing Penelitianku, Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc. dan Prof. Wasinton Simanjuntak Ph.D. yang telah membimbingku sampai menyelesaikan pendidikan sarjana

Almamater Tercinta
Universitas Lampung

SANWACANA

Segala Hormat, Puji Syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat, karunia, nikmat, dan kasih sayang-Nya serta shalawat salam teruntuk Nabi Muhammad SAW. Dengan berbekal keyakinan, ketabahan, serta ilmu pengetahuan dan pengalaman yang telah diperoleh, penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini yang berjudul :

SINTESIS KOPOLI- EUGENOL ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT (KO-EEGDMA) SEBAGAI SENYAWA PEMBAWA PADA TRANSPOR FENOL MENGGUNAKAN METODE *POLYMER INCLUSION MEMBRANE* (PIM)

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapat gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia FMIPA Unila. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, Bapak dan Mamah serta adik-adikku tercinta yang selalu memberikan kasih sayang, semangat, dukungan, motivasi, dan doa untuk penulis. Terimakasih telah menjadi penopang atas segala keluh kesah penulis sehingga penulis kuat dan tidak menyerah dalam penyelesaian masa studi dan dapat menyelesaikan skripsi dengan baik. Semoga Allah selalu memberikan kesehatan, rezeki dan kebahagiaan dunia maupun akhirat kepada kita. Amin ya Allah.

2. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc. selaku pembimbing pertama penelitian yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran serta selalu memberikan semangat dan dukungan agar dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan baik. Terimakasih atas bimbingan, perhatian, kesabaran, kebaikan, semangat, motivasi, nasihat, saran, dan ilmu yang bermanfaat sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan keberkahan atas semua yang beliau berikan. Amin.
3. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D. selaku pembimbing Akademik dan pembimbing kedua penelitian, terimakasih atas segala bimbingan, kebaikan, kesabaran, motivasi, nasihat, dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Semoga Tuhan senantiasa memberikan keberkahan atas semua yang beliau berikan.
4. Ibu Dr. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si. selaku pembahas, terimakasih atas segala bimbingan, kritik, saran, dan ilmu bermanfaat yang telah diberikan kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak Drs. Suratman, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila atas pengalaman yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan studi ini dengan baik. Serta segenap staff administrasi Jurusan Kimia FMIPA Unila yang telah

membantu penulis dalam menyelesaikan persyaratan administrasi selama kuliah.

8. Keluarga besar serta kerabat yang telah membantu dalam berbagai hal dan memberikan dukungan baik kepada penulis maupun kepada kedua orangtua penulis.
9. Sahabat sehidup semati Herni Nursiah yang selalu aku kagumi dan aku banggakan, terimakasih ya dek atas segala pengorbanannya selama ini, terimakasih telah menjadi adik sekaligus kakak untukku. Kebahagiaan dan kesuksesan pasti akan menyertai kita. Amin.
10. Sahabat-sahabtku yang awat sampe sekarang, Nael, Meiti, dan Novi. Makasih ya selama ini selalu ada waktu saat gue butuh temen cerita, maen, hunting makeup, dan hal-hal unfaedah lainnya hehe… Semangat buat kalian semua, semoga apapun yang kita cita-citakan dapat tercapai. Amin.
11. Sahabat-sahabat di kampus, Tri Handayani, Annisa Dila, Nurmala, yang temenan dari awal kuliah sampe sekarang kita berjuang bareng-bareng. Makasih udah sering bantu di akademik maupun diluar urusan kuliah, yang selalu ngingetin dan marahin kalo mulai lelet dan nyerah buat ngurus ini itu.
12. Partner penelitian (*Membrane Research)*: Fatry Sinjia, S.Si., Rulan Aprilia S.Si, dan Gita Tifani S.Si., terimakasih atas segala bantuan, dukungan, kepedulian, kebahagian, dan selalu menemani hingga penulis dapat menyelesaikan studinya dengan baik.
13. Rekan-rekan di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi Jurusan Kimia FMIPA Unila yang telah memberikan nasihat, dan bantuan yang diberikan. Terimakasih untuk kebersamaannya selama ini.

14. Teman-teman Kimia 2015 (*Chem15try Unila*) terimakasih atas kebersamaan yang telah dilalui dalam kehidupan perkuliahan dari awal PROPTI sampai sekarang. Semoga kita semua dimudahkan dalam berkarir setelah lulus dari kimia.
15. Semua pihak yang telah berjasa dan membantu, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terimakasih atas segala kontribusinya terhadap penulis.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, namun penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi rekan-rekan semua khususnya mahasiswa kimia. Amiinnn.

Bandar Lampung, Desember 2019

Penulis,

Fitri Sunarsih

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

I. PENDAHULUAN 1
A. Latar Belakang 1
B. Tujuan Penelitian 5
C. Manfaat Penelitian 6

II. TINJAUAN PUSTAKA 7
A. Fenol 7
B. Teknologi Membran 9
C. *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) 10
D. Eugenol 12
E. Senyawa Pembawa 13
F. Modifikasi Eugenol dan Senyawa Turunan Polieugenol 15
G. Analisis dan Karakterisasi 17
1. Spektrofotometer UV-Vis 18
2. *Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy* (FTIR) 19
3. *Scanning Electron Microscope* (SEM) 22

III. METODE PENELITIAN 24
A. Waktu dan Tempat Penelitian 24
B. Alat dan Bahan 24
C. Prosedur Penelitian 25
1. Sintesis Senyawa Pembawa Ko-EEGDMA 25
2. Pembuatan Membran PIM 25
3. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Fenol 26
4. Optimasi Transpor Fenol 27
a. Pengaruh pH Fasa Sumber 27
b. Pengaruh Konsentrasi NaOH pada Fasa Penerima 27
c. Pengaruh Ketebalan Membran 28
d. Pengaruh Waktu Transpor 28
5. Uji Transpor Fenol pada Limbah Buatan 29
6. Pengukuran Konsentrasi Fenol 29
D. Diagram Alir Penelitian 31

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....32
A. Senyawa Pembawa Ko-EEGDMA.....32
B. Membran PIM.....35
C. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Fenol.....40
D. Optimasi Transpor Fenol.....41
1. Pengaruh pH Fasa Sumber.....41
2. Pengaruh Konsentrasi NaOH pada Fasa Penerima.....42
3. Pengaruh Ketebalan Membran.....44
4. Pengaruh Waktu Transpor.....47
E. Kinetika transpor.....48
F. Uji Transpor Fenol pada Limbah Buatan.....50

V. KESIMPULAN DAN SARAN.....54
A. Simpulan.....54
B. Saran.....55

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

1. Komposisi pembentuk membran PIM Ko-EEGDMA 26
2. Perbandingan gugus fungsi senyawa pembawa Ko-EEGDMA dengan Eugenol 35
3. Perbandingan gugus fungsi PIM Ko-EEGDMA sebelum dan setelah transpor fenol 39
4. Hasil kompetisi logam limbah buatan pada fasa penerima 50
5. Kurva Standar fenol variasi pH 69
6. Absorbansi fenol fasa sumber dan fasa penerima variasi pH 69
7. Konsentrasi fenol fasa sumber dan fasa penerima variasi pH 70
8. % fenol pada fasa sumber, fasa penerima dan fasa membran pada variasi pH 70
9. *Membrane liquid Loss (ML Loss)* pada variasi pH Fasa Sumber 70
10. Kurva standar fenol variasi konsentrasi NaOH 71
11. Absorbansi fenol fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi NaOH 71
12. Konsentrasi fenol fasa sumber dan fasa penerima variasi konsentrasi NaOH 72
13. % fenol pada fasa sumber, fasa penerima dan fasa membran pada variasi konsentrasi NaOH 72
14. *Membrane liquid Loss (ML Loss)* pada variasi konsentrasi Fasa Penerima 72
15. Kurva Standar fenol variasi ketebalan membran 73

16. Absorbansi fenol fasa sumber dan fasa penerima variasi ketebalan membran 73

17. Konsentrasi fenol fasa sumber dan fasa penerima variasi ketebalan membran 74

18. % fenol pada fasa sumber, fasa penerima dan fasa membran pada variasi ketebalan membran 74

19. *Membrane liquid Loss (ML Loss)* pada variasi Ketebalan Membran 74

20. Kurva Standar fenol variasi waktu transpor 74

21. Absorbansi fenol fasa sumber dan fasa penerima variasi waktu transpor 75

22. Konsentrasi fenol fasa sumber dan fasa penerima variasi waktu transpor 75

23. % fenol pada fasa sumber, fasa penerima dan fasa membran pada variasi waktu transpor 76

24. *Membrane liquid Loss (ML Loss)* pada variasi Waktu Transpor 76

25. Kurva standar fenol pada limbah buatan 77

26. % fenol fasa sumber, fasa penerima, dan fasa membran pada limbah buatan 77

27. Kadar logam Pb(II) dan Cu(II) pada fasa penerima yang mengandung logam dan tanpa logam 78

28. Perbandingan transpor fenol pada limbah yang mengandung logam dan tanpa logam 78

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

1. Struktur Eugenol 13
2. Reaksi 4-aminoantipirin dengan fenol 18
3. Skematik FTIR 21
4. Mikrograf Membran PIM sesudah Transpor dengan senyawa pembawa polieugenol 23
5. Diagram Alir Penelitian 31
6. Ko-EEGDMA 4 % hasil taut silang 32
7. Struktur senyawa pembawa Ko-EEGDMA 33
8. Spektrum FTIR (a) Eugenol dan (b) Ko-EEGDMA 4 % 34
9. Membran PIM sebelum (a) dan sesudah (b) transpor 36
10. Mikrograf membran PIM ko-EEGDMA (a,b) sebelum transpor dan (c,d) setelah transpor 37
11. Spektrum FTIR (a) membran sebelum transpor (b) membran setelah transpor t=60 jam 38
12. Spektrum Panjang gelombang maksimum fenol 40
13. Kurva Pengaruh pH fasa sumber terhadap kadar fenol pada % Cs dan % Cp 41
14. Disosiasi fenol menjadi fenolat 43
15. Kurva pengaruh konsentrasi NaOH terhadap kadar fenol pada % Cs dan % Cp 44
16. Kurva pengaruh ketebalan membran terhadap kadar fenol pada % Cs dan % Cp 45

17. Kurva pengaruh ketebalan membran terhadap kadar fenol pada fasa membran..... 46

18. Kurva pengaruh waktu transpor terhadap kadar fenol pada % Cs dan % Cp..... 47

19. Kurva persamaan linier transpor fenol pada orde satu..... 49

20. Perbandingan persen transpor fenol yang mengandung logam dan non logam..... 51

21. Kurva standar fenol variasi pH 69

22. Kurva standar fenol variasi konsentrasi NaOH..... 71

23. Kurva standar fenol variasi ketebalan membran..... 73

24. Kurva standar fenol variasi waktu transpor 75

25. Kurva standar fenol pada limbah buatan..... 77

26. Kurva persamaan linier transpor fenol pada orde 1 80

27. Kurva persamaan linier transpor fenol pada orde 2 81

28. Proses Sintesis Senyawa Pembawa Ko-EEGDMA 4 % 83

29. Proses Pembuatan Membran PIM..... 84

30. Proses Transpor Fenol menggunakan Membran PIM..... 84

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan industri yang semakin pesat menimbulkan dampak bagi kehidupan dan lingkungan. Dampak positif berkembangnya sektor industri dalam berbagai bidang dapat meningkatkan kesejahteraan dengan mempengaruhi pergerakan ekonomi global. Namun, pesatnya perkembangan perindustrian juga banyak menghasilkan dampak negatif khususnya pencemaran di lingkungan hidup yaitu dihasilkannya limbah perindustrian berupa limbah cair, padat, maupun gas, dan dapat berupa logam berat seperti Pb, Cu, dan Zn (Suharso *et al*., 2010; Buhani dan Suharso, 2010; Endah *et al*., 2016), serta zat pencemar organik seperti senyawa fenol (Kiswandono, 2010).

Jenis limbah yang paling banyak dijumpai dan berbahaya bagi lingkungan adalah fenol. Fenol termasuk ke dalam kategori B3 (Bahan Berbahaya Beracun) yang merupakan komponen utama limbah cair dari industri batubara, pekerjaan tambang, penyulingan gasoline, produksi farmasi, pabrik baja, dan besi (EPA, 2002). Fenol yang mencemari perairan dapat menimbulkan bau tidak sedap dan pada konsentrasi tertentu akan menyebabkan kematian organisme di perairan (Alva and Peyton, 2003). Senyawa ini dapat dikatakan aman bagi lingkungan jika konsentrasinya berkisar antara 0,5 – 1,0 mg/L sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan

Hidup No.KEP-51/MENLH/10/1995 dan ambang batas fenol dalam baku mutu air minum adalah 0,002 mg/l seperti dinyatakan oleh Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (BAPEDAL) (Slamet dkk., 2006).

Polutan fenol di daerah perairan dapat dipisahkan dan diminimalisir menggunakan beberapa teknik. Molva (2004), telah memisahkan fenol dari air limbah menggunakan batubara muda (*lignitic coals*) dengan kemampuan adsorpsi 43–60 %. Kurniawati dkk. (2017), melakukan adsorpsi fenol dengan menggunakan Mg/Al Hidrotalsit, dan Nadavala *et al*. (2014), telah mempelajari adsorpsi senyawa fenolik menggunakan kulit kayu pinus, limbah lignoselulosa dari hutan. Namun, metode konvensional seperti cara diatas yaitu adsorpsi membutuhkan energi yang cukup besar dan diperlukannya regenerasi adsorben ketika sudah jenuh dengan senyawa organik (Slamet dkk., 2006). Oleh karena itu, dikembangkan metode pemisahan fenol dengan teknologi membran cair yang memiliki keunggulan dari segi teknik yang lebih mudah, energi yang dibutuhkan lebih rendah, dan ekonomis (Gherrou *et al*., 2001). Pemisahan berbasis membran cair banyak dilakukan para peneliti, karena teknologi ini mempunyai spektrum pemisahan yang luas, selektif, dan mudah dilakukan (Cussler *et al.*, 1991).

Membran cair merupakan salah satu dari teknologi membran, yakni lapisan semipermeabel tipis yang dapat digunakan untuk memisahkan dua komponen dengan cara menahan dan melewatkan komponen tertentu (Mulder, 1996). Salah satu membran cair dimana cairan organik yang dipakai tidak bercampur antara fasa sumber dan fasa penerima yaitu membran cair berpendukung

(SLM, *Supported Liquid Membrane*) (Kocherginsky *et al*., 2007). Membran cair berpendukung (SLM) adalah membran cair dengan larutan organik diimobilisasi dalam pori polimer, dimana membran diletakkan di tengah pipa yang memisahkan kedua fasa (Chimuka *et al.,* 1998).

SLM memiliki beberapa keuntungan, antara lain penggunaan senyawa pembawa relatif sedikit, faktor pemisahan yang tinggi, biaya yang rendah, kemudahan dalam pembuatan berulang, dan pemakaian energi yang rendah (Kocherginsky *et al.,* 2007; Mohapatra and Manchanda, 2003). Selain memiliki banyak keuntungan, SLM juga memiliki beberapa kelemahan yaitu kestabilan yang rendah serta umur membran yang pendek (Kislik, 2010). Oleh karena itu, sebagai upaya untuk mengatasi ketidakstabilan pada SLM, membran cair SLM dapat dibuat menjadi gel dengan penambahan PVC (*polyvinyl cloride*). Modifikasi menggunakan PVC untuk pembentukan gel pada membran SLM disebut dengan metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM).

Polymer Inclusion Membrane (PIM) tersusun atas tiga komponen utama yaitu polimer pendukung, molekul pembawa, dan *plasticizer* (Kislik, 2010). Polimer pendukung yang biasa digunakan adalah PVC yang dapat memperbaiki stabilitas SLM, dengan cara menahan molekul pembawa agar tetap berada pada membran. PVC juga dapat mengatasi kebocoran senyawa pembawa pada saat proses transpor, serta dapat meningkatkan waktu penggunaan membran (Neplenbroek *et al.,* 1992). Komponen selanjutnya adalah *plasticizer,* yang berfungsi membuat sistem membran lebih stabil

(Dzygiel and Wieczorek, 2010). Bahan pemlastis (*plasticizer*) adalah bahan organik dengan berat molekul rendah yang ditambahkan dengan maksud memperlemah kekakuan dari polimer, meningkatkan fleksibilitas, dan ekstensibilitas (pemanjangan) polimer. Happy (2012), menggunakan Dibenzileter (DBE) sebagai *plasticizer* dengan memvariasikan komposisi *plasticizer* terhadap berat senyawa pembawa, PVC, dan *plasticizer* yaitu 10:32:58, dimana semakin besar penambahan *plasticizer*, fenol yang tertranspor akan semakin menurun. Penambahan *plasticizer* juga mempengaruhi viskositas dari membran PIM, semakin besar *plasticizer* yang ditambahkan semakin besar pula viskositas dari membran PIM.

Komponen terakhir dalam pembuatan membran adalah senyawa pembawa (*membrane carrier*). Senyawa pembawa berfungsi memfasilitasi senyawa target melalui membran, sehingga proses pemisahan dapat berjalan. Senyawa pembawa berinteraksi dengan senyawa target pada fasa sumber, bergerak melintasi fasa membran, dan melepaskan senyawa target pada fasa penerima. Senyawa yang dapat digunakan dalam transpor fenol sebagai senyawa pembawa adalah polieugenol. Polieugenol merupakan senyawa turunan dari eugenol (minyak cengkeh) yang dapat disintesis langsung menggunakan katalis, baik asam sulfat (Handayani dan Wuryanti, 2001) maupun boron triflouro dietil eter (Harimu, 2010). Akan tetapi, polimer hasil sintesis ini belum efektif karena memiliki kemampuan interaksi dengan senyawa target yang rendah, hal ini dimungkinkan karena polimer hasil sintesis ini memiliki berat molekul yang rendah. Polimer dengan berat molekul yang rendah dimungkinkan memiliki sisi aktif terbatas, sehingga menyebabkan kecepatan

proses transpor lebih lambat (Harimu, 2010). Untuk mengatasi kekurangan tersebut dapat dilakukan kopolimerisasi eugenol maupun polieugenol dengan agen sambung silang yang dapat meningkatkan sisi aktifnya (Kiswandono, 2014).

Eugenol dapat disambung silang dengan senyawa-senyawa diena salah satunya adalah Etilen Glikol Dimetakrilat (EGDMA). EGDMA dapat digunakan sebagai bahan baku awal sintesis kimia membentuk homopolimer dan kopolimer. Eugenol yang disambung silang dengan EGDMA akan memiliki berat molekul yang besar, gugus aktif –OH dan cincin benzena lebih banyak, sehingga senyawa tersebut dapat digunakan sebagai senyawa pembawa dalam proses transpor fenol. Penelitian ini akan melakukan sintesis Ko-EEGDMA sebagai senyawa pembawa pada transpor fenol menggunakan metode PIM berbasis senyawa PVC sebagai polimer pendukung, dan DBE sebagai *plasticizer*.

B. Tujuan Penelitian

1. Melakukan sintesis kopolimer-EEGDMA 4 % sebagai senyawa pembawa untuk transpor fenol menggunakan metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM).
2. Mempelajari transpor fenol berdasarkan pengaruh fasa sumber, konsentrasi NaOH fasa penerima, ketebalan membran dan waktu transpor.
3. Melakukan uji transpor fenol pada limbah buatan.

C. Manfaat Penelitian

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

1. Menambah informasi baru tentang pemanfaatan kopolimer-EEGDMA sebagai senyawa pembawa untuk transpor fenol.
2. Menambah pemanfaatan serta meningkatkan nilai ekonomis dari eugenol.
3. Memberi kontribusi pada upaya pengurangan polutan organik, khususnya fenol di lingkungan perairan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Fenol

Fenol (C_6H_6OH) merupakan senyawa organik yang mempunyai gugus hidroksil (-OH) yang terikat pada cincin benzena. Senyawa fenol memiliki beberapa nama lain seperti asam karbolik, fenat monohidroksibenzena, asam fenat, asam fenilat, fenil hidroksida, oksibenzena, benzenol, monofenol, fenil hidrat, fenilat alkohol, dan fenol alkohol (Nair *et al.*, 2008). Fenol merupakan senyawa yang bersifat toksik dan korosif terhadap kulit (iritasi) dan pada konsentrasi tertentu dapat menyebabkan gangguan kesehatan manusia hingga kematian pada organisme. Tingkat toksisitas fenol beragam tergantung dari jumlah atom atau molekul yang melekat pada rantai benzenanya (Qadeer and Rehan, 2002).

Menurut Ullmann (2005), Sifat-sifat fisika fenol adalah sebagai berikut:

1. Rumus molekul : C_6H_5OH
2. Berat molekul : 94,11 g/mol
3. Wujud : Cairan tidak berwarna
4. Densitas : 1,07 g/cm³
5. Titik didih : 181,75^oC (pada 101,3 kPa)
6. Titik beku : 40,9^oC (pada 101,3 kPa)
7. Kelarutan dalam air (20 ^oC) : 8,3 g/100 ml

Fenol terdapat pada limbah cair sebagai komponen utama dari beberapa aktivitas industri batubara, pekerjaan tambang, penyulingan gasolin, produksi farmasi, pabrik baja dan besi, dan penyamakan kulit (EPA, 2002). Fenol juga dihasilkan dari limbah cair industri mikroelektronik, industri minyak dan gas, tekstil, kertas, otomotif, pabrik bahan kimia, *fiberglass*, pulp, perekat, kayu lapis, cat, keramik, plastik, formaldehida, dan sebagainya. Fenol bila mencemari perairan dapat menimbulkan rasa dan bau tidak sedap dan pada konsentrasi tertentu akan menyebabkan kematian organisme di perairan. Fenol dapat menimbulkan efek kronik bagi organisme dan menyebabkan kematian pada ikan pada konsentrasi yang sangat rendah, yakni 5–25 mg/L (Alva and Peyton, 2003).

Polutan di daerah perairan, khususnya fenol dapat dihilangkan dengan beberapa teknik, di antaranya adalah adsorpsi. Molva (2004), telah memisahkan fenol dari air limbah menggunakan batubara muda (*lignitic coals*) dengan kemampuan adsorpsi 43–60 %. Qadeer and Rehan (2002), melakukan adsorpsi fenol dengan menggunakan karbon aktif komersil. Ariyani (2011), telah melakukan penurunan kadar fenol pada limbah industri jamu dengan metode lumpur aktif secara anaerob. Degradasi senyawa fenol juga telah dilakukan menggunakan bakteri laut oleh Dewilda dkk. (2012) dimana keefektifannya ditentukan oleh jenis bakteri dan keadaan lingkungan sekitarnya. Beberapa metode yang telah digunakan di atas memiliki beberapa kelemahan diantaranya biaya operasional tinggi, pembentukan produk samping yang berbahaya dan efisiensi yang rendah (Stanisavljevi and Nedi,

2004). Oleh karena itu dicari alternatif lain yang dapat menangani limbah fenol yaitu menggunakan membran cair (Kiswandono, 2010).

B. Teknologi Membran

Membran adalah lapisan semipermiabel yang tipis dan berfungsi sebagai penghalang di antara dua fasa. Jika senyawa dari suatu campuran berpindah melewati membran lebih cepat dari campuran senyawa lainnya, maka penggunaan membran ini akan menyempurnakan proses pemisahan tersebut (Kislik, 2010). Penggunaan membran sebagai suatu teknologi pemisahan mempunyai keunggulan dibandingkan dengan teknologi pemisahan lainnya. Keuntungan yang dimiliki yaitu energi yang digunakan cukup rendah sehingga ekonomis, karena pemisahan menggunakan membran tidak melibatkan perubahan fasa.

Mulder (1996), membagi membran menjadi tiga jenis berdasarkan pada struktur dan prinsip pemisahannya antara lain adalah membran berpori, membran tidak berpori, dan membran cair. Membran cair diklasifikasikan menjadi lima tipe, yaitu membran cair ruah (BLM, *Bulk Liquid Membrane*), membran cair emulsi (ELM, *Emulsion Liquid Membrane*), membran cair berpendukung (SLM, *Supported Liquid Membrane*), membran cair terisi (CLM), dan *electrostatic pseudo liquid membrane* (ESPLIM) (Kocherginsky *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2003; Venkateswaran and Palanivelu, 2006), sedangkan Wang *et al.* (2000) dan Klisik (2010), juga menyebutkan jenis membran cair lainnya yaitu membran cair berpendukung gel (GSLM, *gelled*

supported liquid membrane) dan membran cair polimer (PLM, *polymer liquid membrane*).

Mulder (1996), juga menuliskan bahwa membran cair merupakan salah satu dari teknologi membran, yakni lapisan semipermeabel tipis yang dapat digunakan untuk memisahkan dua komponen dengan cara menahan dan melewatkan komponen tertentu. Prinsip pemisahan membran cair ditentukan oleh sifat molekul pembawa spesifik. Senyawa pembawa (*carrier*) berada tetap didalam membran dan dapat bergerak jika dilarutkan dalam cairan. Senyawa pembawa juga harus menunjukkan aktivitas yang spesifik terhadap satu komponen pada fasa sumber sehingga diperoleh selektivitas yang tinggi. Selain itu, *permiselectivity* komponen sangat tergantung pada spesifikasi bahan pembawa tersebut. Membran cair terdiri dari cairan yang berperan sebagai penghalang semipermeabel dan tidak bercampur dengan fasa sumber maupun fasa penerima (Bartsch and Way, 1996).

C. *Polymer Inclusion Membrane* (PIM)

Zha *et al.* (1994), menuliskan bahwa berbagai penelitian menggunakan metode SLM telah banyak dilakukan, antara lain mempelajari transpor ion logam, hidrokarbon, senyawa organik, dan campuran gas. Garea *et al.* (1983), telah menggunakan metode SLM dengan campuran kerosin dengan *cyanex* 923 sebagai molekul pembawa untuk memisahkan fenol. Lolacono *et al.* (1986), telah mempelajari pemisahan ion logam menggunakan SLM dengan molekul pembawa Aliquat 336. Membran cair berpendukung (SLM) adalah membran cair dengan larutan organik diimobilisasi dalam pori

polimer, yang mana membran diletakkan di tengah pipa yang memisahkan kedua fasa (Chimuka *et al.,* 1998).

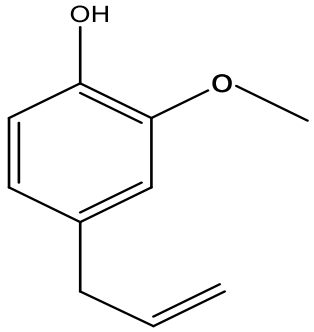
SLM memiliki beberapa keuntungan, antara lain penggunaan senyawa pembawa relatif sedikit, faktor pemisahan yang tinggi, biaya yang rendah, kemudahan dalam pembuatan berulang, dan pemakaian energi yang rendah (Kocherginsky *et al.,* 2007; Mohapatra and Manchanda, 2003). SLM sangat efektif dalam proses pemisahan dan pemurnian pada skala industri maupun laboratorium (Yaftian *et al.* 1998). Selain memiliki banyak keuntungan, SLM juga memiliki beberapa kelemahan yaitu kestabilan yang rendah serta umur membran yang pendek (kislik, 2010). Oleh karena itu, sebagai upaya untuk mengatasi ketidakstabilan pada SLM, membran cair SLM dapat dibuat menjadi gel dengan penambahan PVC. Selain dapat memperbaiki stabilitas SLM, pembuatan membran cair menjadi gel juga dapat meningkatkan waktu penggunaan membran (Neplenbroek *et al.,* 1992). Penambahan PVC pada membran akan menstabilkan membran dengan cara menahan molekul pembawa agar tetap berada pada membran. Modifikasi menggunakan PVC untuk pembentukan gel pada membran SLM disebut dengan metode PIM. PIM terdiri dari polimer pendukung, molekul pembawa, dan *plasticizer* (Kislik, 2010).

Pembuatan membran pada metode PIM menggunakan larutan yang mengandung senyawa pembawa atau ekstraktan, pemlastis, dan polimer dasar seperti selulosa triasetat (CTA) atau PVC, yang membentuk lapisan tipis, stabil, dan fleksibel. Hasilnya adalah membran *self-supporting* yang dapat

digunakan untuk memisahkan larutan yang diinginkan dengan cara yang mirip dengan SLM (Nghiem *et al.*, 2006). Membran PIM walaupun memiliki permeabilitas dan selektivitas yang rendah tetapi tetap memiliki stabilitas yang lebih baik dan memadai atas berbagai jenis membran cair, termasuk pada membran SLM sehingga metode ini berpotensi dan dapat diaplikasikan secara praktis di lapangan. Membran PIM (*Polymer Inclusion Membrane*) melibatkan transpor selektif dan menargetkan zat terlarut (senyawa target) dari satu larutan melalui membran yang memisahkan antara fasa sumber dan fasa penerima. Membran PIM terdiri dari polimer pendukung, molekul pembawa, dan *plasticizer*. Pemakaian PVC pada membran akan menstabilkan membran dengan cara menahan molekul pembawa agar tetap berada pada membran. Modifikasi menggunakan PVC untuk pembentukan gel merupakan keuntungan dari metode PIM (Kislik, 2010).

D. Eugenol

Eugenol merupakan komponen penyusun utama dari minyak daun cengkeh. Eugenol mempunyai rumus molekul $C_{10}H_{12}O_2$ dengan massa molekul relatif 164,20 g/mol (Guenther, 1948). Kadar eugenol yang terkandung dalam minyak daun cengkeh yakni kurang lebih 70 % hingga 90 % kadarnya. Eugenol memiliki nama lain 4–alil– 2–metoksi–fenol. Eugenol bersifat asam dan dalam suhu kamar berupa cairan tak berwarna atau agak kekuningan, berbau keras, dan bila terkena kulit terasa seperti terbakar. Eugenol mudah larut dalam pelarut organik seperti eter, kloroform, dan alkohol.



Gambar 1. Struktur Eugenol

Dilihat dari struktur tersebut (Gambar 1), eugenol mempunyai gugus hidroksi, metoksi, dan alil. Adanya gugus hidroksi menyebabkan eugenol sebagai senyawa fenolik yang bersifat asam dan mudah dipisahkan dari senyawa non fenolik lainnya dengan cara ekstraksi cair–cair menggunakan pelarut aktif. Dengan adanya ketiga gugus fungsional tersebut, eugenol dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar untuk pembuatan senyawa lain dengan berbagai tujuan (Sastrohamidjoyo, 1981).

E. Senyawa Pembawa

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

yaitu senyawa-senyawa turunan polieugenol. Polieugenol dan senyawa turunannya, biasanya dapat dihasilkan melalui sintesis langsung menggunakan katalis, baik asam sulfat (Handayani dan Wuryanti, 2001) maupun boron triflouro dietil eter (Harimu, 2010).

Senyawa pembawa berbasis senyawa bahan alam ini telah digunakan oleh beberapa peneliti, di antaranya Dewi (2010), untuk memurnikan etanol dan Harimu (2010), memisahkan logam Cu(II) dan Fe(III) dengan senyawa pembawa dari tiga turunanan polieugenol. Senyawa polieugenol juga telah digunakan oleh beberapa peneliti untuk transpor fenol, di antaranya adalah Febriasari (2010), menggunakan senyawa pembawa polieugenol dan PVC sebagai polimer pendukung untuk transpor fenol dengan metode PIM. Hasil penelitiannya menyebutkan bahwa PIM terbukti dapat membuat membran lebih stabil dan memiliki umur membran yang lebih lama untuk melakukan *recovery* fenol dan metode PIM dengan polieugenol sebagai senyawa pembawa terbukti selektif terhadap *recovery* fenol dibandingkan dengan logam kromium. Kiswandono *et al.* (2010), juga telah mempelajari transpor fenol menggunakan metode BLM dengan menggunakan polieugenol sebagai senyawa pembawa. Penggunaan polieugenol untuk transpor fenol ini didasarkan atas kemiripan sisi aktif yang dimiliki oleh keduanya, yakni gugus hidroksi dan cincin benzena.

Pemisahan fenol dengan membran cair dapat dilakukan berdasarkan persamaan antara gugus fungsi pada fenol dengan gugus fungsi pada senyawa pembawa dalam membran. Fenol dan polieugenol adalah dua senyawa yang

sama–sama memiliki gugus –OH, sehingga dimungkinkan interaksi yang terjadi melalui terbentuknya ikatan hidrogen antara ke dua gugus –OH tersebut. Akibatnya, semua molekul fenol dan polieugenol bersama–sama membentuk sejumlah besar ikatan hidrogen. Meskipun ikatan hidrogen tunggal sendiri adalah lemah (Fessenden dan Fessenden, 1990), tetapi kombinasi elektron dari ke dua molekul menyebabkan terjadinya ikatan hidrogen yang cukup kuat. Ikatan hidrogen yang kuat dapat diamati dalam spektra inframerah dengan memberikan kekhasan pada fenol–polieugenol dibandingkan inframerah fenol maupun polieugenolnya sendiri (Kiswandono, 2010).

Polieugenol dan fenol juga sama–sama mempunyai cincin benzena, sehingga dimungkinkan ke duanya membentuk interaksi dengan interaksi π. Suatu polimer yang mempunyai kemampuan untuk membentuk interaksi π dengan senyawa lain akan membentuk suatu interaksi yang lebih stabil. Polieugenol dapat membentuk interaksi π karena mempunyai dua atau lebih cincin benzena, sehingga dimungkinkan fenol dan polieugenol juga dapat berinteraksi karena adanya ikatan π (Kiswandono, 2010).

F. Modifikasi Eugenol dan Senyawa Turunan Polieugenol

Polimer merupakan molekul besar yang terbentuk dari unit–unit berulang sederhana. Polimer yang paling sederhana adalah homopolimer yang memiliki struktur sama pada kesatuan berulangnya. Jika ada dua macam atau lebih monomer kemudian membentuk polimer yang mengandung lebih dari satu macam kesatuan struktur, maka disebut kopolimer (Setyowati dan

Anwar, 1998). Modifikasi polimer telah banyak dilakukan oleh peneliti untuk meningkatkan sifat dari polimer dasarnya. Menurut Ngah *et al*. (2005) modifikasi secara kimia merupakan suatu pendekatan yang efektif untuk meningkatkan sifat polimer sesuai dengan kebutuhan akan pemanfaatan polimer tersebut.

Polimer yang digunakan sebagai senyawa pembawa dalam transpor fenol menggunakan membran cair salah satunya adalah polieugenol. Cholid, (2016), telah mensintesis polieugenol dengan menambahkan katalis boron triflouro dietileter. Polieugenol hasil sintesis berbentuk padat dengan berat 3,28 g berwarna merah bata dengan titik leleh berkisar antara 75–80 °C. Polieugenol tersebut mempunyai sifat larut dalam eter, metanol, kloroform, benzena, dan etil asetat, serta tidak larut dalam kerosen. Akan tetapi polimer hasil sintesis ini belum efektif karena memiliki kemampuan interaksi dengan senyawa target yang rendah. Hal ini dimungkinkan karena polimer hasil sintesis ini memiliki berat molekul yang rendah. Hasil sintesis yang telah dilakukan oleh Harimu (2010), menghasilkan berat molekul polieugenol 393,80 g/mol. Polimer dengan berat molekul yang rendah dimungkinkan memiliki sisi aktif terbatas. Untuk mengatasi hal tersebut dilakukan polimerisasi eugenol dengan agen sambung silang dengan senyawa-senyawa diena maupun senyawa yang mengandung gugus epoksida.

Polimerisasi eugenol dengan agen sambung silang merupakan salah satu cara untuk meningkatkan jumlah sisi aktifnya. Monomer–monomer yang memiliki gugus diena antara lain divinil benzena (DVB), etilen glikol

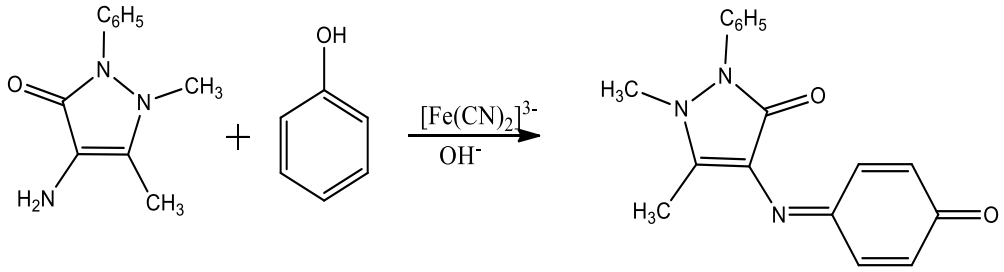
dimetakrilat (EGDMA), dan dialil ftalat (DAF), serta yang memiliki gugus epoksida seperti Bisfenol A Diglisidil Eter (BADGE) dapat digunakan dalam polimerisasi untuk memperoleh struktur tersambung silang dalam hasil akhirnya. Tingkat sambung silang tergantung pada jumlah diena relatif terhadap monomer yang lain serta jenis diena yang digunakan (kiswandono, 2014). Setyowati dan Anwar (1998), melakukan proses sambung silang antara eugenol dan DVB menggunakan katalis $BF_3O(C_2H_5)_2$ dengan variasi konsentrasi DVB, dan dihasilkan berat molekul yang paling tinggi adalah kopoli (isoeugenol–DVB) 12 % yaitu 3821,17 g/mol.

G. Analisis dan Karakterisasi

Analisis penetuan kadar fenol dapat dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya dengan menggunakan kromatografi lapis tipis (KLT), KLT merupakan metode sederhana untuk pemisahan dan identifikasi senyawa fenol berdasarkan hidrolisis asam atau basa pada jaringan tumbuhan dari ekstrak alkohol. Metode lain yang dapat digunakan dalam penentuan kadar fenol adalah spektrofotometri dan kromatografi gas (*Gas Chromatography*, GC) yang bersifat selektif dan memiliki sensitifitas tinggi. Penggunaaan GC dalam analisis kadar fenol lebih jarang digunakan dibandingkan dengan menggunakan metode spektrofotometri dengan agen pengompleks 4-aminoantipirin (4-AAP).

Fatimah & Haris (2014), melakukan analisis kadar fenol dengan spektrofotometer UV-Vis menggunakan beberapa reagen tambahan untuk membentuk kompleks yaitu Amonium Hidroksida (NH_4OH), buffer Posfat

(KH_2PO_4 dan K_2HPO_4), Kalium Ferisianida (K_4FeCN_6) serta 4-aminoantipirin (4-AAP). Senyawa fenol akan dikomplekskan dengan 4-aminoantipirin yang akan membentuk warna merah. Reaksi yang terjadi antara fenol dengan aminoantipirin yaitu ditampilkan pada Gambar 2, dimana pada akhir reaksi terlihat bahwa senyawa pengompleks 4-aminoantipirin akan terikat dengan fenol. Warna kemerahan akan terjadi ketika fenol dengan aminoantipirin setelah dicampurkan kemudian ditambahkan dengan $K_4Fe(CN)_6$ dalam suasana basa.



Gambar 2. Reaksi 4-aminoantipirin dengan fenol
(Souse and Trancoso, 2009)

1. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur absorbansi dengan cara melewatkan cahaya dengan panjang gelombang tertentu pada suatu objek kaca atau kuarsa yang disebut kuvet. Sebagian dari cahaya tersebut akan di serap dan sisanya akan dilewatkan. Nilai absorbansi dari cahaya yang di serap sebanding dengan konsentrasi larutan di dalam kuvet (Sastrohamidjojo, 2007). Spektrofotometer digunakan untuk mengukur transmitan atau absorbans suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang, tiap media akan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu tergantung pada senyawa atau warna terbentuk (Cairns, 2009).

Spektrofotometri UV-Vis adalah pengukuran serapan cahaya di daerah ultraviolet (200-350nm) dan sinar tampak (350-800nm) oleh suatu senyawa. Serapan cahaya UV atau Vis (cahaya tampak) mengakibatkan transisi elektronik, yaitu promosi elektron-elektron dari orbital keadan dasar yang berenergi rendah ke orbital keadaan tereksitasi berenergi lebih rendah. Semua molekul dapat mengabsorpsi radiasi daerah UV-Vis karena mengandung elektron, baik sekutu maupun menyendiri, yang dapat dieksitasikan ke tingkat energi yang lebih tinggi. Cahaya yang diserap oleh suatu zat berbeda dengan cahaya yang ditangkap oleh mata manusia. Cahaya yang tampak atau cahaya yang dilihat dalam kehidupan sehari-hari disebut warna komplementer. Misalnya suatu zat akan berwarna orange bila menyerap warna biru dari spektrum sinar tampak dan suatu zat akan berwarna hitam bila menyerap semua warna yang terdapat pada spektrum sinar tampak. Prinsip kerja spektrofotometer adalah bila cahaya (monokromatik maupun campuran) jatuh pada suatu medium homogen, sebagian dari cahaya masuk akan dipantulkan, sebagian diserap dalam medium itu dan sisanya diteruskan. Nilai yang keluar dari cahaya yang diteruskan di nyatakan dalam nilai absorbansi karena memiliki hubungan dengan konsentrasi sampel. Hukum Beer menyatakan nilai absorbansi cahaya berbanding lurus dengan konsentrasi dan ketebalan bahan atau medium.

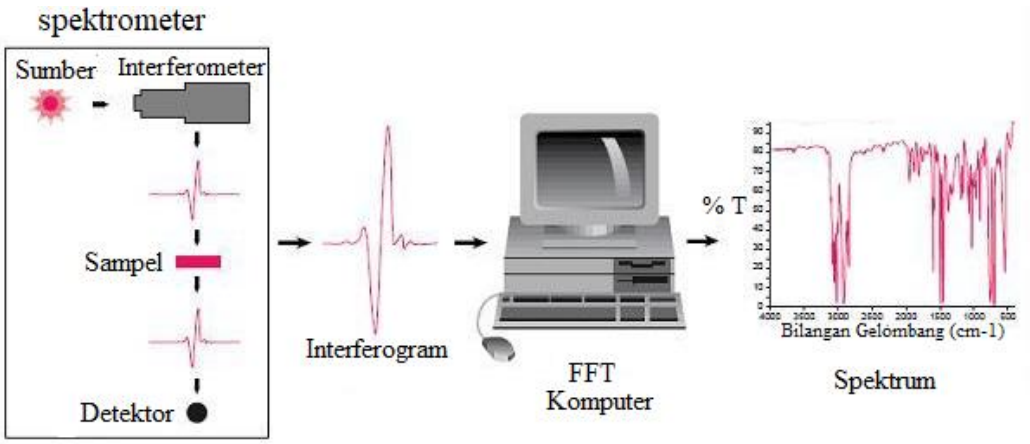
2. *Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy* (FTIR)

Karakterisasi senyawa polimer dapat dilakukan dengan Spektrofotometer inframerah. Spektrofotometer inframerah merupakan teknik yang digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah dari absorbansi, emisi,

fotokonduktivitas atau *Raman Scattering* dari sampel padat, cair, dan gas. Karakterisasi dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui jenis-jenis vibrasi antar atom. FTIR juga digunakan untuk menganalisa senyawa organik dan anorganik serta analisa kualitatif dan analisa kuantitatif dengan melihat kekuatan absorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu (Hindrayawati dan alimuddin, 2010; Mujiyanti dkk., 2010).

Radiasi inframerah terletak pada spektrum elektromagnetik antara daerah visibel dan daerah microwave (gelombang mikro). Penggunaannya paling banyak untuk kimia organik pada batas panjang gelombang antara 4000 dan 400 cm^{-1}. Ada dua tipe vibrasi molekuler yaitu *stretching* dan *bending*, hanya vibrasi yang menghasilkan perubahan secara ritmik pada momen dipol yang diobservasi dalam IR (Silverstein *et al*., 2005). Daerah antara 1400-4000 cm^{-1} pada bagian kiri spektrum inframerah merupakan daerah khusus untuk identifikasi gugus-gugus fungsional dimana daerah absorpsi diakibatkan oleh *stretching*. Daerah disebelah kanan 1400 cm^{-1} seringkali rumit karena absorpsi disebabkan oleh adanya *stretching* dan *bending*. Dalam daerah ini biasanya hubungan antara pita serapan dan gugus fungsional spesifik tidak dapat diamati dengan cermat. Namun, suatu senyawa pasti memiliki resapan tertentu yang unik di daerah ini sehingga disebut dengan *fingerprint region* (daerah sidik jari). Meskipun pada bagian kiri suatu spektrum sama dengan senyawa-senyawa yang mirip, daerah sidik jari juga penting untuk memutuskan kedua senyawa tersebut sama (Fessenden dan Fessenden, 1990).

Spektroskopi FTIR menggunakan sistem optik dengan laser yang berfungsi sebagai sumber radiasi yang kemudian diinterferensikan oleh radiasi inframerah agar sinyal radiasi yang diterima oleh detektor memiliki kualitas yang baik dan bersifat utuh (Giwangkara, 2006). Prinsip kerja FTIR berupa inframerah yang melewati celah ke sampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi ysng disampaikan kepada sampel. Beberapa inframerah diserap oleh sampel dan yang lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar inframerah lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 di bawah ini (Thermo, 2001).



Gambar 3. Skematik FTIR (Thermo, 2001)

Analisis menggunakan spektrofotometri FTIR dapat mengidentifikasi material yang belum diketahui dan dapat menentukan kualitas dan jumlah komponen sebuah sampel (Hamdila, 2012). karakterisasi FT-IR dilakukan pada hasil sambung silang senyawa pembawa sebelum dan sesudah polimerisasi yang bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam senyawa pembawa, sehingga dapat menunjukkan keberhasilan sintesis

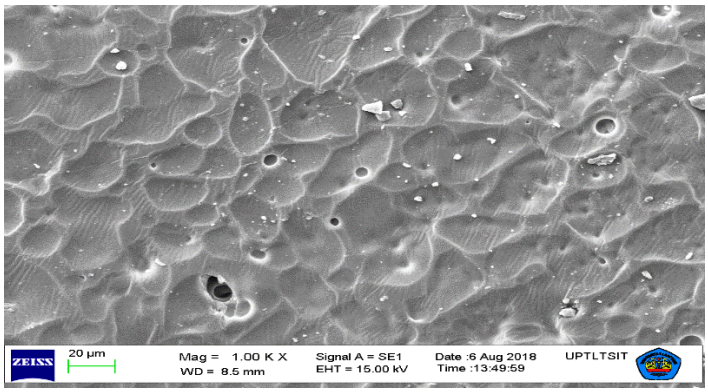
senyawa pembawa tersebut. Pada membran PIM karakterisasi FTIR dilakukan sebelum dan sesudah transpor, hasil karakterisasi menunjukan spektrum serapan yang spesifik mengidentifikasikan gugus fungsi yang terserap pada membran sebelum dan sesudah transpor.

3. *Scanning Electron Microscope* (SEM)

SEM merupakan alat yang digunakan untuk uji mikrostruktur pada sebuah sampel (Febriany, 2010). Cara kerja SEM yaitu dengan memindai sinar halus fokus elektron ke sampel. Elektron berinteraksi dengan komposisi molekul sampel. Energi dari elektron berinteraksi ke sampel secara langsung sebanding dengan jenis interaksi elektron yang dihasilkan dari sampel. Serangkaian energi elektron yang terukur dapat dianalisis oleh mikroprosesor canggih yang menciptakan pseudo gambar tiga dimensi atau spektrum elemen unik dari sampel yang dianalisis.

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). Prinsip kerja SEM yaitu bermula dari *electron beam* yang dihasilkan oleh sebuah filamen pada *electron gun.* Pada umumnya *electron gun* yang digunakan adalah tungsten *hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan tungsten yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan diberikan kepada lilitan yang mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik

elektron melaju menuju ke anoda. Kemudian *electron beam* difokuskan ke suatu titik pada permukaan sampel dengan menggunakan dua buah *condenser lens*. *Condenser lens* kedua (atau biasa disebut dengan lensa objektif) memfokuskan *beam* dengan diameter yang sangat kecil, yaitu sekitar 10-20 nm. Hamburan elektron, baik *Secondary Electron* (SE) atau *Back Scattered Electron* (BSE) dari permukaan sampel akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada layar CRT.



Gambar 4. Mikrograf Membran PIM sesudah Transpor dengan senyawa pembawa polieugenol (Praktik Kerja Lapangan, 2018)

Karakterisasi SEM pada membran PIM bertujuan untuk mengetahui morfologi dari membran PIM. Gambar 4 menunjukkan hasil karakterisasi dari membran PIM dengan senyawa pembawa polieugenol sesudah dilakukan transpor, terlihat permukaan membran yang masih rata dan beberapa pori dibeberapa bagian permukaan membran. Berdasarkan hasil SEM pada membran PIM, membran dapat digunakan kembali untuk melakukan transpor karena senyawa pembawa yang terdapat pada kerangka pori-pori membran sebagian besar belum terkikis.

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April 2019– Agustus 2019, bertempat di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Analisis FTIR, SEM dan TGA-DTA dilakukan di Unit Pelayanan Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT-LTSIT) Universitas Lampung, dan spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah corong pisah, alat penunjang berupa alat-alat gelas dan plastik, neraca analitik (Mettler Toledo AB54-S), satu set rangkaian alat transpor fenol (*chamber* atau pipa transpor, *stirerr* dan pengaduk magnet), labu leher tiga, desikator, *thickness gauge*, Oven, spektrofotometer UV-Vis merk Hitachi Model U 2010, *Microwave Plasma-Atomic Emission Spectrometer* (MP-AES), spektrofotometer inframerah merk Cary 630 Agilent, dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) merk Zeiss evo MA10.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah eugenol, akuades dan akuabides, boron triflourida dietil eter [$BF_3.O(C_2H_5)_2$], fenol (C_6H_5OH), kloroform ($CHCl_3$), natrium hidroksida (NaOH), asam klorida (HCl), metanol (CH_3OH), NH_3 (amonia), 4-aminoantipirin, kalium ferisianida ($K_4Fe(CN)_6$), amonium hidroksida NH_4OH, natrium sulfat anhidrat (Na_2SO_4 anhidrat), pH indikator, tetrahidrofuran (THF), polivinilklorida (PVC), dibenzil eter (DBE), buffer posfat, EGDMA (Etilen Glikol Dimetakrilat), dan kertas saring. Perhitungan pembuatan larutan dapat dilihat pada Lampiran 1.

C. Prosedur Penelitian

1. Sintesis Senyawa Pembawa Ko-EEGDMA

Eugenol 5,8 g dan EGDMA 0,232 g (4 % terhadap eugenol) dimasukkan kedalam labu leher tiga 250 mL, kemudian ditambahkan 1,0 mL [$BF_3.O(C_2H_5)_2$] sebagai katalis. Reaksi polimerisasi dilakukan hingga satu malam dan dihentikan dengan menambahkan 1,0 mL metanol. Gel yang terbentuk dilarutkan dalam kloroform kemudian dicuci dengan akuabides hingga pH netral. Lapisan organik dikeringkan dengan Na_2SO_4 anhidrat dan pelarut diuapkan pada suhu ruang. Padatan atau polimer yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan FTIR dan TGA-DTA.

2. Pembuatan Membran PIM

Membran PIM dicetak dalam suatu cetakan yang telah dilengkapi dengan *magnetic stirrer*. Komponen penyusun membran yaitu Ko-EEGDMA sebagai senyawa pembawa, polimer pendukung PVC, dan DBE sebagai

plasticizer dengan perbandingan rasio berat 10:32:58 (Nghiem *et al*., 2006). Komposisi penyusun membran PIM ditunjukkan pada Tabel 1. Selanjutnya, Tetrahidrofuran (THF) sebanyak 10 mL ditambahkan ke dalam cetakan yang berfungsi untuk menghomogenkan campuran. Hasil cetakan didiamkan selama tiga hari untuk menguapkan pelarut secara alami, kemudian diukur ketebalan membran dan ditimbang berat membran sebelum dan setelah transpor (*ML Loss*). Karakterisasi membran PIM dilakukan dengan spektrometer FTIR dan SEM. Penentuan *ML Loss* membran PIM dapat ditentukan dengan Persamaan 1.

$$\%\ ML\ loss = \frac{\text{membran hilang (g)}}{\text{berat membran sebelum (g)}} \text{x}100\ \% \qquad (1)$$

Tabel 1. Komposisi pembentuk membran PIM Ko-EEGDMA (Nghiem *et al*., 2006)

Membran	Ko-EEGDMA (g)	PVC (g)	DBE (g)	Berat Total (g)
M_{T1}	0,027	0,0864	0,1566	0,2700
M_{T2}	0,054	0,1728	0,3132	0,5400
M_{T3}	0,108	0,3456	0,6264	1,0800

3. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Fenol

Sebanyak 5 mL fenol 60 ppm ditambahkan dengan 5 mL akuades, ditambahkan dengan NH_4OH 1 M dan pHnya diatur menjadi 9,8-10,2 menggunakan buffer fosfat. Ditambahkan larutan 4-aminiantipirin 2 % dan larutan kalium ferrisianida 8 % masing-masing sebanyak 1 mL 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 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 panjang gelombang 370-600 nm untuk mendapatkan panjang gelombang maksimum (Muktiarti, 2011).

4. Optimasi Transpor Fenol

a. Pengaruh pH Fasa Sumber

Membran PIM dengan ketebalan normal (membran M_{T54}) dipasang pada pembatas kolom transpor membran antara fasa sumber dan penerima, kemudian kolom sisi fasa penerima diisi 50 mL NaOH 0,5 M dan sisi fasa sumber diisi 50 mL fenol 60 ppm. Larutan sumber diatur pH-nya dengan variasi pH 3,5; 4,5; 5,5; 6,5; dan 7,5. Kolom transpor membran ditutup lalu pada masing-masing fasa diaduk selama 9 jam pada suhu kamar. Konsentrasi fenol yang terdapat pada fasa sumber dan fasa penerima dianalisis kadar fenolnya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

b. Pengaruh Konsentrasi NaOH pada Fasa Penerima

Membran PIM dengan ketebalan normal dipasang pada pembatas kolom transpor membran antara fasa sumber dan penerima, kemudian kolom sisi fasa penerima diisi 50 mL NaOH dengan variasi konsentrasi 0,05; 0,1; 0,15;

0,25; dan 0,5 M, dan sisi fasa sumber diisi 50 mL fenol 60 ppm dengan pH optimum. Kolom transpor membran ditutup lalu pada masing-masing fasa diaduk selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah selesai diaduk, konsentrasi fenol yang terdapat pada fasa sumber dan fasa penerima dianalisis kadar fenolnya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

c. Pengaruh Ketebalan Membran

Membran PIM yang dibuat berdasarkan beberapa variasi ketebalan dari berat totalnya (Tabel 1) dipasang pada pembatas kolom transpor membran antara fasa sumber dan penerima, kemudian kolom sisi fasa sumber diisi 50 mL fenol 60 ppm pH optimum dan sisi fasa penerima diisi 50 mL NaOH dengan konsentrasi optimum. Kolom transpor membran ditutup lalu pada masing-masing fasa diaduk selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah selesai diaduk, konsentrasi fenol yang terdapat pada fasa sumber dan fasa penerima dianalisis kadar fenolnya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

d. Pengaruh Waktu Transpor

Membran PIM dengan ketebalan optimum ditempatkan pada tengah pipa transpor fenol, kemudian pada kolom fasa sumber diisi 50 mL fenol 60 ppm pH optimum dan pada kolom fasa penerima diisi 50 mL NaOH konsentrasi optimum. Kolom transpor membran ditutup lalu pada masing-masing fasa diaduk selama variasi waktu 3,9,15,24,36,48,60,dan 72 jam pada suhu kamar. Konsentrasi fenol pada fasa penerima dan fasa sumber dianalisis

menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang maksimum. Selanjutnya dilakukan penentuan kinetika reaksi pada saat transpor, fluks (J), permeabilitas (Ps), % *Removal* fenol pada fasa sumber dan % *Recovery* fenol pada fasa penerima.

5. Uji Transpor Fenol pada Limbah Buatan

Membran PIM dengan ketebalan optimum ditempatkan pada tengah pipa transpor fenol, kemudian pada kolom fasa sumber diisi 50 mL limbah buatan (membuat larutan yang megandung fenol, Pb(II), dan Cu(II) 60 ppm) dengan pH optimum dan pada kolom fasa penerima diisi 50 mL NaOH konsentrasi optimum. Kolom transpor membran ditutup lalu pada masing-masing fasa diaduk selama waktu optimum pada suhu kamar. Konsentrasi fenol pada fasa penerima dan fasa sumber dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang maksimum, dan konsentrasi logam pada kedua fasa ditentukan dengan menggunakan MP-AES.

6. Pengukuran Konsentrasi Fenol

Pengukuran konsentrasi fenol dilakukan dengan mengambil 5 mL sampel pada fasa sumber dan fasa penerima serta larutan standar fenol dengan variasi konsentrasi 10; 30; 50; 70; dan 90 ppm masing-masing ditambahkan dengan 5 mL akuabides sehingga volume menjadi 10 mL. larutan tersebut diatur pHnya menjadi 9,8-10,2 dengan menggunakan NH_4OH, buffer fosfat dan HCl untuk fasa penerima, kemudian ditambahkan 1 mL 4-aminoantipirin 2 % dan kalium ferrisianida 8 %. Larutan 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 dipisahkan. Ekstrak kloroform yang diperoleh diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum yang telah didapatkan sebelumnya, konsentrasi sampel dapat ditentukan dengan persamaan regresi linier (Kiswandono, 2014). Kadar fenol dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2.

$$Y = ax + b$$

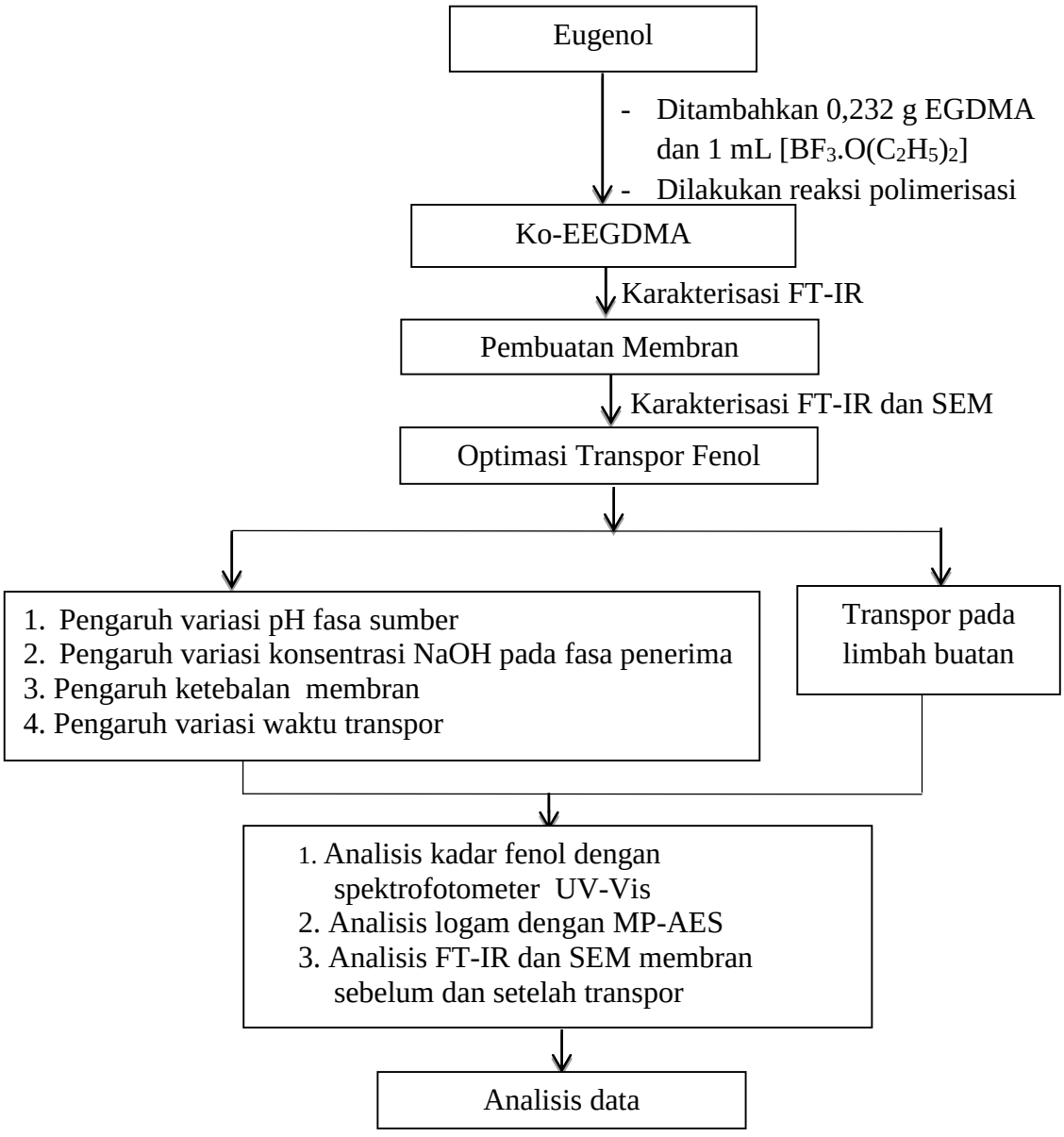
Keterangan : Y = Absorbansi fenol
a = slope
b = intersept

$$\text{Kadar fenol (x)} = \text{Abs} - \frac{b}{a}$$

$$\% \text{ fenol} = \frac{\text{kadar fenol (x)}}{\text{konsentrasi awal fenol}} \text{ x } 100 \% \qquad (2)$$

D. Diagram Alir Penelitian

Secara keseluruhan penelitian ini terangkum dalam diagam alir yang ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Sintesis Kopoli Eugenol-Etilen Glikol Dimetakrilat (Ko-EEGDMA) 4 % menghasilkan serbuk berwarna merah bata dengan titik leleh antara 93,5-102,7 ℃, sintesis berhasil dilakukan dengan ditandai hilangnya serapan gugus alkena, yaitu C=C *stretching* (1636,5 cm^{-1}), =C-H *stretching* (3070,68 cm^{-1}) dan =C-H *bending* (995,2 cm^{-1}).
2. Transpor fenol optimum terjadi pada pH 4,5 fasa sumber, konsentrasi NaOH 0,5 M, dengan membran PIM M_{T2}, dan waktu transpor optimum selama 60 jam dengan % fenol yang tertranspor sebanyak 72,1 %.
3. Kinetika transpor fenol menggunakan membran PIM dengan senyawa pembawa Ko-EEGDMA 4 % mengikuti laju reaksi orde 1 dengan harga $k=1,57 \times 10^{-7}$ m/s.
4. Logam Pb(II) dan Cu(II) terhadap transpor fenol mengakibatkan gangguan terhadap proses transpor dengan menurunnya kadar fenol yang tertranspor ke fasa penerima.

B. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai transpor fenol dengan beberapa kompetitor logam selain logam Pb(II) dan Cu(II) menggunakan PIM Ko-EEGDMA.

DAFTAR PUSTAKA

Alva, V.A. and B.M. Peyton. 2003. Phenol and Catechol Biodegradation by the Haloalkaliphile Halomonas Campisalis: Influence of pH and Salinity. *Environmental Science&Technology.* 37(19):4397-4402.

Ariyani, S.B. 2011. Industri Jamu dengan Metode Lumpur Aktif. *Jurnal Biopropal Industri.* 12: 14-20.

Bartsch, R.A. and J.D.Way. 1996. *Chemical Separations with Liquid Membranes: An Overview.* Department of Chemistry and Biochemistry, Texas Tech University. Washinton DC.

Buhani dan Suharso. 2010. Modifikasi Silika dengan 3-Aminopropiltrimetoksisilan melalui Proses Sol Gel untuk Adsorpsi Ion Cd(II) dari Larutan. *Journal Sains MIPA Universitas Lampung.* 16(3): 177-183.

Cairns D. 2009. *Intisari Kimia Farmasi Edisi Kedua*. Diterjemahkan oleh Puspita Rini. dari : Essentials of Pharmaceutical Chemistry Second Edition Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.

Chimuka, L., N.Megersa , J. Norberg., L. Mathiasson., and J.A. Jo¨nsson. 1998. Incomplete trapping in supported liquid membrane extraction with a stagnant acceptor for weak bases. *Analitical Chemistry*. 70:3906-3911.

Cholid, M. 2016. Adsorpsi Selektif Molekular Fenol oleh Polieugenol. (Disertasi). Universitas Gadjah Mada.

Cleij, M.C., P. Scrimin., P. Tecilla., and U. Tonellato. 1997. Efficient and Highly Selective Copper (II) Transport Across a Bulk Liquid Chloroform Membrane Mediated by Liphophilic Dipeptides. *Journal of Organic Chemistry.* 62:5592-5599.

Cussler, E.L. 1991. Facilitated transport In Baker, R.W : Membrane Separation Systems: Recent Developments and Future Directions. *Noyes Data Corporation*. New Jersey. 242-275.

Dewi, T.K. 2010. Studi Transpor Etanol Melewati Membran Cair Polieugenol. (tesis). Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Dewilda, Y., R. Afrianita., dan F.F. Iman. 2012. Degradasi Senyawa Fenol oleh Mikroorganisme Laut. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi.* 4: 1-4.

Dz˙ygiel, P. and P.P. Wieczorek. 2010. *Liquid Membranes: Principles and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment, Chapter 3: Supported Liquid Membranes and Their Modifications: Definition, Classification, Theory, Stability, Application and Perspectives*. Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Amsterdam, The Netherlands, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP. UK.

Endah, T., Buhani., and Suharso. 2016. Immobilization Cocodust Biomass with Silica Gel as Adsorbent for Cd(II) and Pb(II) Ions in Solutions. *Proccedings of The 2015 Icon SSE.* ISBN: 978-602-1047-21-7. 56-60.

EPA, U., 2002. Toxicological Review Phenol. USA.

Fatimah, S., dan A. Haris. 2014. Pengaruh Dopan Zink Oksida pada TiO_2 terhadap Penurunan Kadar Limbah Fenol dan Cr(VI) secara Simultan dengan Metode Fotokatalisis. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 17(3): 86-89.

Febriany, Y. 2010. Kuat Tekan Keramik Berbahan Dasar Feldsfer (70%-90%), Kaolin (5 % -25 %), dan Silika (5 %-25 %) dalam Segitiga Segger. (Abstrak). Universitas Malang. Malang.

Fessenden, R.J., dan Fessenden, J.S. 1990.*Kimia Organik jilid 1 edisi 3*. Alih bahasa A.H. Pudjaatmaka. Penerbit Erlangga. Jakarta.

Febriasari, A. 2010.Studi Recovery Fenol Menggunakan Teknologi Polymer Inclusion Membrane (PIM) Berbasis PVC dengan Polieugenol Sebagai Carrier. (Tesis). Jurusan Kimia FMIPA UGM. Yogyakarta.

Garea, A., A.M. Urtiaga, M.I. Ortiz, A.I. Alonso, dan J.A. Irabien. 1983. Phenol Recovery with SLM Using Cyanex 923. *Chemical Engineering Journal*. 120:85-97.

Gherrou, A., H. Kerdjoudj., R. Molinari., dan E. Drioli. 2001. Modelization of The Transport of Silver and Copper In Acidic Thiourea Medium Through a Supported Liquid Membrane. *Desalination*. 139:317-325.

Giwangkara, S., EG. 2006. *Aplikasi Logika Syaraf Fuzzy pada Analisis Sidik Jari Minyak Bumi Menggunakan Spetrofotometer Infra Merah-Transformasi Fourier (FT-IR).* Sekolah Tinggi Energi dan Mineral. Jawa Tengah.

Guenther, E. 1948. The Essential Oils, Individual Essensial Oils of the Plant Familities. *D. Van Nostrand. Co, Inc. New York*. 4:436-437.

Hakim, T.W. 2018. Studi Transpor Fenol menggunakan *Polymer Inclusion Membran* (PIM) dengan Senyawa *Carrier* Kopoli (Eugenol-Etilen Glikol Dimetakrilat). (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Hamdila, J.D. 2012. Pengaruh Variasi Massa Terhadap Karakteristik Fungsionalitas dan Termal Komposit MgO-SiO_2 Berbasis Silika Sekam Padi sebagai Katalis. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Handayani dan Wuryanti. 2001. *Sintesis Polieugenol dengan Katalis Asam Sulfat*, Jurnal Ilmu Kimia Dasar, FMIPA Universitas Jember. 2:103-110.

Handayani, D.S., K. Triana., dan Y. Maria. 2004. Sintesis Kopoli (Eugenol-DVB) Sulfonat dari Eugenol Komponen Utama Minyak Cengkeh (Syzygium aromaticum). *Biofarmasi.* FMIPA, UNS. 2(2):53-57.

Happy, M.R. 2012. Studi Stabilitas dan Kemampuan Transpor Fenol Menggunakan Polymer Inclusion Membrane (PIM) dengan Polimer Polieugenol Tersambung Silang Bisphenol A Diglycidyl Ether (BADGE) sebagai Membran Carrier. (Skripsi). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Harimu, L. 2010. Sintesis Amida, Ester dan Asam Turunan Polieugenol dan Kajian Aplikasinya untuk Pengompleks Logam pada Metode Pemisahan Ekstraksi Cair-Cair dan Transpor Membran Cair. (Disertasi). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Hindayani, A. 2011.Recovery Fenol Menggunakan PolimerPolieugenol Tersambung Silang Bisphenol A Diglycidyl Ether (BADGE) Sebagai Carrier dalam Membran Cair Berpendukung (Supported Liquid Membranes, Slm) Berbasis PVC. (Skripsi). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Hindrayawati, N dan Alimuddin. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi Dengan Menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH). *Jurnal Kimia Mulawarman*. 7(2):75-77.

Hiratani, K., T. Hirose., K. Kasuga., and K. Saito. 1992. N-98 Quinolyl-2-Pyridylmethyl Malomanide Derivates as a Novel CU (II) Carrier. *Journal of Organic Chemistry*. 57:7083-7087.

Kislik, V.S. 2010. *Liquid Membranes: Principles and Applications in Chemical Separation and Wastewater Treatment.* Elsevier. Inggris.

Kiswandono, A.A. 2010. Studi Transpor Fenol dengan Menggunakan Membran Cair Polieugenol. (Tesis). Universitas Gadjah Mada.

Kiswandono, A.A., & Maslahat, M. 2011. Studi Transpor Senyawa Fenol Menggunakan Membran Cair Polieugenol dengan Pelarut Diklorometana. *Jurnal sains Natural Universitas Nusa Bangsa.* 1 (2): 145-155.

Kiswandono, A.A. 2014. Kajian Transpor Fenol Melalui Membran Berbasis Polieugenol Tertaut Silang Menggunakan Metode Polymer Inclusion Membrane (PIM). (Disertasi). Universitas Gadjah Mada.

Kocherginsky, N.M., Q. Yang., and L. Seelam. 2007. Recent Advances in Supported Liquid Membrane Technology. *Separation Science and Technology*. 53:171-177.

Kurniawati, P., B. Wiyantoko., dan T.E. Purbaningtias. 2017. Adsorpsi Fenol dengan Hidrotalsit Mg/Al 4:1 Termodifikasi Sodium Dodecylsulfate (SDS) In Situ dan Ex Situ. FMIPA, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. 6(1): 2548-8570.

Lolacono, E., Drioli., and R. Molinari. 1986. Metal Separation and Concencentration with Supported Liquid Membranes. *Journal Membrane Science.* 28:123-128.

Maslahat, M., dan Kiswandono, A.A. 2011. Studi Transpor Senyawa Fenol Menggunakan Membran Cair Polieugenol dengan Pelarut Diklorometana. *Jurnal of Sains Natural Universitas Nusa Bangsa.* 1:145-155.

Mohapatra, P.K., and V.K. Manchanda. 2003. Liquid Membrane Based Separations of Actinides and Fission Products. *Indian Journal Chemistry*. 42:2925.

Molva, M. 2004. Removal of Phenol from Industrial Wastewaters Using Lignitic Coals. (Thesis). Izmir Institute of Technology.

Mortaheb, H.R., M.H. Amini, F. Sadhegian, B. Mokhtarani, dan H. Daneshyar. 2008. Study on a New Surfactan for Removal of Phenol from Wastewater by Emulsion Liquid Membrane. *Journal Hazardous Materials.* 160:582-588.

Mujiyanti, R.D., Nuryono., dan E.S. Kunarti. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi Yang Dimobilisasi dengan 3-(Trimetoksil)1-Propanol. *Sains dan Terapan Kimia*. 4(2):150-167.

Muktiarti, N. 2011. Transpor Fenol Melalui Supported Liquid Membrane (SLM) Berbasis Polyvinil Chloride (PVC) Menggunakan Kopoli (Eugenol-DVB) sebagai Molekul Carrier. (Skripsi). Jurusan Kimia Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membrans Technology, 2th edition*. Kluwer Academic Publisher. The Nederlands.

Nadavala, S.K., Che Man H., and Woo H.S. 2014. Bioasorption of Phenolic Compounds from Aqueos Solutions using Pine (Pinus Densiflora Sieb) Bark Powder. 9(3):5155-74.

Nair, C.I., K. Jayachandran., and S. Shashidar. 2008. Biodegradation of Phenol. *African Journal of Biotechnology*. 7:4951-4958.

Neplenbroek, A. M., D. Bargeman., and C.A. Smolders. 1992. Mechanism of Supported Liquid Membrane Emulsion Formation. *Journal Membrane Science.* 67:149.

Ngah, W.S.W., S. Ab Ghani., and A. Kamari. 2005. Adsorption Behaviour of Fe(II) and Fe(III) Ions in Aqueous Solution on Chitosan and Cross-linked Chitosan Beads. *Bioresource Technology*. 96(4):443-50.

Nghiem, L.D., P. Mornane., I.D. Potter., J.M. Perera., R.W. Cattrall., and S.D. Kolev. 2006. Extraction and Transport of Metal Ions and Small Organic Compounds Using Polymer Inclusion Membrane.Review. *Journal Membrane Science*. 281:7-41.

Pan, B., W. Zhang., Q. Zhang., and S. Zheng. 2009. Review Development of Polymeric and Polymer-based Hybrid Adsorbents for Pollutants Removal from Waters. *Chemical Engineering Journal*. 151:19-29.

Prasetyo, Y. 2012. Differential Thermal Analysis (DTA). Diakses pada tanggal 03 februari 2019 dari http://www.yudiprasetyo. 53.wordpress.com/2012/01/ 28/diffthermal-analysis.html.

Purwasih, R. 2012. Studi Transpor Fenol Menggunakan Polymer Inclusion Membrane (PIM) dengan Molekul Pembawa Kopoli(Eugenol-Dialil Ftalat). (Skripsi). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Qadeer, R. and A.H. Rehan. 2002. A Study of The Adsorption of Phenol by Activated Carbon from Aqueous Solutions. *Turkish Journal of Chemistry*. 26(3):357-361.

Sastrohamidjojo, H. 1981. A Study of Some Indonesian Essensial Oil. (Disertasi). Gadjah Mada University.Yogyakarta.

Sastrohamidjojo, H. 2007. *Spektroskopi.* Liberty. Yogyakarta.

Setyowati, L. dan Anwar, D.C. 1998. Pengaruh Penambahan Divinil Benzena (DVB) pada Kopolimerisasi Kationik Eugenol-DVB dan Sifat Pertukaran Kation Kopoligaramnya. (Tesis). Universitas Gadjah Mada.

Silverstein, R.M., F.X. Webster., and D.J. Kiemle. 2005. *Spectrometric Identification of Organic Compounds. 7th Edition*. John Wiley & Sons.New York. 72-108.

Slamet., S. Bismo., A. Arbianto., dan Z. Sari. 2006. Penyisihan Fenol dengan Kombinasi Proses Adsorpsi dan Fotokimia Menggunakan Karbon Aktif dan TiO_2. *Journal Teknologi.* 4:3-11.

Souse, A.R. and M.A. Trancono. 2009. Validation and Environmental Friendly Sigmented Flow Method for the Determination of Phenol Index in Waters as Alternative to the Conventional One. *Talanta.* 79:796-803.

Stanisavljevi, M. and L. Nedi. 2004. Removal of Phenol from Industrial Wastewaters by Horseradish (Choclearia armoracia L) Peroxidase. *Working and Living Environmental Protection.* 2:243-349.

Steven, M.P. 2001. *Kimia Polimer.* Sopyan I; Terjemahan dari *Polymer Chemistry: An Introduction.* Erlangga. Jakarta.

Suharso, Buhani, S. Bahri, and T. Endaryanto. 2010. The Use of Gambier Extracts from West Sumatra as a Green Inhibitor of Calcium Sulfate ($CaSO_4$) Scale Formation. *Asian Journal Research Chemistry*. Vol. 3(1). pp. 183-187.

Sunarsih, F. 2018. Sintesis Senyawa Pembawa Polieugenol pada Transpor Fenol menggunakan Katalis Boron Triflourida Dietil Eter [$BF_3.O(C_2H_5)_2$]. (Praktik Kerja Lapangan). Universitas Lampung. Lampung.

Thermo, N. 2001. *Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry.* Thermo Nicolet Corporation. USA.

Ullmann, F. 2005. "*Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*". John Wiley & Sons. New York.

Venkateswaran, P., and K. Palanivelu. 2006. Recovery of Phenol from Aqueous Solution by Supported Liquid Membrane Using Vegetable Oils as Liquid Membrane. *Journal of Hazardous Materials.* 131(1-3):146-152.

Wang, L., R. Paimin., R.W. Cattrall., W. Shen., and S.D. Kolev. 2000. The Extraction of Cadmium (Cd) and Copper (Cu) from Hydrochloric Acid Solutions Using an Aliquat 336/PVC Membrane. *Journal Membrane Scencei*. 176 :105-111.

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

Yang, X.J., A.G. Fane., and C.J.D. Fell. 2003. Instability Mechanisms of Supported Liquid Membrane Processes for Metal Separations: Permeability, Stability, and Selectivity.*Industrial Engineering Chemistry Research.* 42:392-403.

Zha, F. F., H. G. L. Coster, and A. G. Fane. 1994. A study of Stability of Supported Liquid Membranes by Impedance Spectroscopy. *Journal of Membrane. Science*. 93: 255-271.