

**STUDI TRANSPOR FENOL DENGAN Co-EDAF 4% SEBAGAI
SENYAWA PEMBAWA MENGGUNAKAN METODE
*POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM)***

(Skripsi)

**Oleh
Dedeh Kurniasih**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

STUDI TRANSPOR FENOL DENGAN Co-EDAF 4% SEBAGAI SENYAWA PEMBWA MENGGUNAKAN METODE *POLIMER INCLUSION MEMBRANE* (PIM)

Oleh

DEDEH KURNIASIH

Fenol merupakan salah satu senyawa organik yang beracun, berbentuk kristal tak berwarna, serta memiliki bau yang khas dan sulit untuk didegradasi yang banyak ditemukan sebagai polutan di perairan. Pada penelitian mengenai studi transpor fenol dengan senyawa kopoli(eugenol-DAF) 4% menggunakan metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM) telah dilakukan beberapa parameter yang berpengaruh terhadap transpor fenol diantaranya yaitu pH fenol fasa sumber, konsentrasi NaOH fasa penerima, ketebalan membran PIM, dan waktu transpor fenol. Membran dipreparasi dengan melarutkan senyawa *carrier* Co-EDAF 4%, polivinil klorida (PVC) dan dibenzil eter (DBE) kedalam pelarut tetrahidrofuran (THF). Konsentrasi fenol setelah transpor ditentukan dengan metode spektrofotometri UV-Vis menggunakan reagen 4-aminoantipirin dan absorbansinya di ukur pada panjang gelombang $\lambda=460$ nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran PIM dengan senyawa *carrier* kopoli(eugenol-DAF) 4% mampu mentranspor fenol secara efektif sebesar 74,15% pada kondisi optimum: pH fenol fasa sumber 5,5, konsentrasi NaOH 0,1 M, ketebalan membran PIM pada T_{54} dan waktu transpor fenol selama 24 jam. Membran PIM yang telah digunakan untuk transpor fenol selama 24 jam dikarakterisasi menggunakan FT-IR dan SEM. Transpor fenol dengan logam kompetitor Pb(II) dan Cd(II) menghasilkan konsentrasi fenol yang tertranspor lebih kecil dibandingkan transpor fenol tanpa logam sebesar 74,20%. Keberadaan logam kompetitor ini dapat diasumsikan telah menghambat proses fenol untuk tertranspor ke fasa penerima.

Kata kunci: Kopoli(eugenol-DAF), *Polymer Inclusion Membrane* (PIM),
Transpor Fenol.

ABSTRACT

STUDY OF PHENOL TRANSPORT WITH Co-EDAF 4% AS A CARRIER USING METHOD POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM)

By

DEDEH KURNIASIH

Phenol is one of the toxic organic compounds, in the form of colorless crystals, and has a distinctive odor and is difficult to degrade which is commonly found as a pollutant in waters. In research on the study of phenol transport with 4% copoly(eugenol-DAF) compounds using the Polymer Inclusion Membrane (PIM) method, several parameters have been carried out that affect phenol transport including the pH of the source phase phenol, the concentration of NaOH in the receiving phase, the thickness of the PIM membrane, and phenol transport time. The membrane was prepared by dissolving 4% Co-EDAF carrier compound, polyvinyl chloride (PVC) and dibenzyl ether (DBE) in tetrahydrofuran (THF) solvent. The concentration of phenol after transport was determined by UV-Vis spectrophotometry using 4-aminoantipyrine reagent and the absorbance was measured at a wavelength of $\lambda=460$ nm. The results showed that the PIM membrane with 4% copoly(eugenol-DAF) carrier compound was able to transport phenol effectively by 74.15% under optimum conditions: pH of the phenolic source phase was 5.5, NaOH concentration was 0.1 M, the thickness of the PIM membrane at T_{54} and phenol transport time for 24 hours. PIM membranes that have been used for phenol transport for 24 hours were characterized using FT-IR and SEM. Transport of phenol with metal competitors Pb(II) and Cd(II) resulted in a lower concentration of phenol than that of 74.20% without metal. The presence of these competitor metals can be assumed to have inhibited the process of phenol being transported to the receiving phase.

Keywords: Copoly(eugenol-DAF), Polymer Inclusion Membrane (PIM), Phenol Transport.

**STUDI TRANSPOR FENOL DENGAN Co-EDAF 4% SEBAGAI
SENYAWA PEMBAWA MENGGUNAKAN METODE
*POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM)***

Oleh
Dedeh Kurniasih

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS

pada

Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul : **STUDI TRANSPOR FENOL DENGAN
Co-EDAF 4% SEBAGAI SENYAWA
PEMBAWA MENGGUNAKAN METODE
POLYMER INCLUSION MEMBRANE (PIM)**

Nama : **Dedeh Kurniasih**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1817011024**

Jurusan : **Kimia**

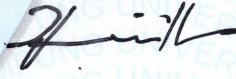
Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



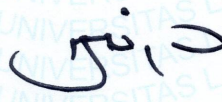
Pembimbing I

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. Drs. Andi Setiawan, Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

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

PERNYATAAN

Yang Bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dedeh Kurniasih
Nomor Pokok Mahasiswa : 1817011024
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Studi Transpor Fenol dengan Co-EDAF 4% sebagai Senyawa Pembawa Menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM)”** adalah hasil pekerjaan saya sendiri, dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau di terbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, serta dapat diterima sebagai persyaratan penyelesaian studi pada Universitas atau Institut lainnya.

Bandar Lampung, 26 Desember 2022

Yang Menyatakan



Dedeh Kurniasih

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Dedeh Kurniasih, lahir di Serang pada tanggal 27 Juni 1999, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, putri dari pasangan Bapak Nasa Handika dan Ibu Kusniati. Penulis saat ini bertempat tinggal di Kampung Cembeh, Desa Ciruas, Kecamatan Ciruas, Kabupaten Serang Banten.

Penulis menyelesaikan pendidikan mulai dari SD Negeri Curug Barang 2 lulus pada tahun 2012, kemudian melanjutkan ke MTs Negeri Ciruas lulus pada tahun 2015, dan selanjutnya melanjutkan pendidikan di MA Negeri 1 Serang lulus pada tahun 2018. Pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan mahasiswi penerima beasiswa Bidikmisi.

Selama menempuh pendidikan di Jurusan Kimia, penulis pernah mengikuti kegiatan sosial seperti Karya Wisata Ilmiah (KWI) BEM-FMIPA Unila di Desa Tanjung Tirto Kecamatan Way Bungur pada tahun 2018, kemudian penulis telah aktif berorganisasi. Organisasi yang pernah penulis ikuti adalah Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) sebagai Kader Muda Himaki (KAMI) tahun 2018, Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) sebagai anggota Bidang Sosial dan Masyarakat (SOSMAS) pada tahun 2018-2019, dan menjadi sekretaris Badan Semi Otonom Bina Belajar Quran (BSO BBQ) ROIS FMIPA Unila pada tahun 2020. Selain itu, pada bulan Februari sampai Maret 2021 penulis menyelesaikan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Pematang Kecamatan Kragilan, Kabupaten Serang Banten selama 40 hari. Pada tahun

2022 penulis dapat menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Universitas Lampung dengan judul “Studi Transpor Fenol dengan Co-EDAF 4% sebagai Senyawa Pembawa Menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane (PIM)*”.

MOTTO

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya."
(Al-Baqarah: 286)

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan"
(Q.S Al-Insyirah: 5-6)

"Pada akhirnya takdir Allah selalu baik walau terkadang perlu air mata untuk menerimanya"
(Umar Bin Khattab)

"Jika hati kita berat untuk memuliakan orang lain, sekurang-kurangnya jagalah lisan kita dari menghina orang lain"
(Habib Umar Bin Hafidz)

"Barangsiapa yang membebaskan seorang mukmin dari suatu kesulitan dunia, maka kelak Allah akan membebaskannya dari suatu kesulitan pada hari kiamat"
(HR. Muslim)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

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

*Atas rahmat Allah SWT dengan mengucap
Alhamdulillahilalamin dan dengan segala kerendahan
hati, Ku persembahkan karya sederhana ini kepada*

*Kedua orang tuaku,
Bapak Nasa Handika dan Ibu Kusniati yang telah
menyayangi, merawat, mendidik, mengajarkan kebaikan,
dan selalu mendo'akan keberhasilanku dalam setiap sujud,
sehingga putrimu dapat menyelesaikan karya kecil ini, serta
mengucapkan terimakasih atas segalanya.*

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

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

*Sahabat dan seluruh teman-temanku yang telah memberikan
semangat, kebahagiaan dan peelaajaran hidup.*

Almamater Tercinta Universitas Lampung

SANWACANA

Alhamdulillahirrobbil'alamiin. Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala nikmat yang telah menganugerahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam teruntuk Nabi Muhammad SAW, semoga kita termasuk umatnya yang mendapat *syafa'at* beliau di *yaumul akhir* kelak, *aamiin yarabbal'alamin.*

Skripsi yang berjudul “**Studi Transpor Fenol dengan Co-EDAF 4% sebagai Senyawa Pembawa Menggunakan Metode *Polymer Inclusion Membrane* (PIM)**”, merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Dalam pelaksanaan dan penulisan skripsi ini tidak lepas dari kesulitan dan rintangan, namun itu semua dapat penulis lalui berkat bantuan, bimbingan, saran dan dorongan semangat dari orang-orang yang hadir di kehidupan penulis, *Jazakumullahu Khairan Katsiran Wa Jazakumullah Ahsanal Jaza*, Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah *Subhanalahu Wata'ala* atas limpahan rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orangtuaku, Bapak Nasa Handika dan Ibu Kusniati yang selalu menjadi kekuatan untuk terus berjuang meraih ridho Allah SWT, sukses *fiddunya wal akhirah*, dan selalu menjadi alasan terhebat agar terus bangkit dan berjuang dari kemalasan. *Pak, mah* terima kasih atas segala cinta, kasih sayang, dan pengorbanan yang telah diberikan untukku, segala upaya pun tak dapat membalas segala jasa-jasamu. Semoga Allah SWT hadiahkan *Jannah*-Nya untukmu, *Aamiin yaa Robbal'alamin*
3. Bapak Prof. Sutopo Hadi, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dari awal penulis belajar hingga

menyelesaikan studi di jurusan kimia FMIPA Unila. Semoga Allah SWT catat sebagai amal *jariyah* disisi-Nya dan melimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya dalam kehidupan bapak.

4. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Sc. selaku Pembimbing I yang telah memberikan segala ilmu, motivasi, arahan, serta bimbingan terbaiknya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi. Semoga Allah SWT catat sebagai amal *jariyah* disisi-Nya dan dilimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya dalam kehidupan bapak.
5. Ibu Rinawati, Ph.D. selaku pembimbing II yang telah didedikasikan dengan penuh kelembutan, kesabaran, dan keikhlasan selama memberikan bimbingan penelitian. Sehingga penulis dapat menjalankan tanggung jawab terhadap diri sendiri dan orangtua. Semoga Allah SWT catat sebagai amal *jariyah* disisi-Nya dan dilimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya dalam kehidupan ibu.
6. Bapak Prof. Drs. Andi Setiawan, Ph.D. selaku Pembahas dalam penelitian atas segala ilmu, masukan, dan nasihat yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga Allah SWT melimpahkan *rohman* dan *rohim*-Nya serta Allah SWT permudah dalam segala urusan bapak.
7. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
8. Bapak Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila atas segala ilmu, nasihat, arahan, motivasi, dan waktu yang telah diberikan selama penulis menempuh perkuliahan. Semoga Allah SWT catat dengan amal *jariyah* disisi-Nya dan melimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya dalam kehidupan bapak ibu.
9. Mba Yuni yang telah banyak bantu dalam hal apapun itu, terimakasih banyak, Semoga Allah SWT catat dengan amal *jariyah* disisi-Nya dan melimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya dalam kehidupan mba.
10. Serta kakak-kakak dan adikku; Euntin Nasikha, Shandi Rohman, Salili dan Nufus Khoirunisa tercinta yang telah memberikan dukungan serta semangat kepada penulis. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi

setiap langkah kalian dan kelak Allah SWT pertemukan kita di *Jannah-Nya*. *Aamiin yaa Robbal'alamin*.

11. Keluarga besar ku tercinta yang telah memberikan dukungan serta semangat kepada penulis. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi setiap langkah kalian dan kelak Allah SWT pertemukan kita di *Jannah-Nya*. *Aamiin yaa Robbal'alamin*.
12. Partner terbaikku Fajar Arba'i, yang telah memberikan dukungan serta semangat kepada penulis. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi setiap langkahmu dan kelak Allah SWT pertemukan kita di *Jannah-Nya*. *Aamiin yaa Robbal'alamin*.
13. Sahabat terbaikku Muldianah Nur Alam Putri terimakasih support dan dukungan semangatnya kepada penulis, semoga langkahmu selalu Allah permudah.
14. Sahabat terbaikku “**HIDUP**”, Hofifah, Ika Sri Mulyani, Roudhotul Khasanah, dan Nursafithri, terimakasih support dan dukungan semangatnya kepada penulis, semoga langkah kalian selalu Allah permudah.
15. Sahabat terbaikku juga dikampus, Nia Puspita Dewi, S.Si, Anggi Lefiyani, S.Si., Andira Rahma Safitri, S.Si., dan Nafisah Nasution, S.Si., terimakasih atas bantuannya, supportnya dan dukungan semangatnya kepada penulis, semoga langkah kalian selalu Allah permudah.
16. Sahabat terbaikku juga dikosan an Mba Sa'adah, Mba sinta dan Ofriani Fatrika, terimakasih untuk waktunya yang selalu ada, selalu ajakin makan bareng sehingga tidak kesepian, serta terimakasih atas support dan dukungan semangatnya kepada penulis, semoga langkah kalian selalu Allah permudah
17. ***Partner Membrane Research*** khususnya untuk Nia Puspita Dewi, S.Si., Kharisma Citra Aprilia, S.Si., dan Fauzan Muhammad Rafi, S.Si., atas kerjasamanya selama ini dan motivasi untuk penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan baik.

18. **Keluarga Membrane Research** yang hebat, mba Ica, mba Huda, annuy, Ulfah, Ahda, Ayu, Dwiki, terimakasih support dan dukungan semangatnya kepada penulis, semoga langkah kalian selalu Allah permudah.
19. Sepupu terbaikku Usnul Fatimah, terimakasih support dan dukungan semangatnya kepada penulis, semoga langkahmu selalu Allah mudahkan.
20. Teman-teman kuliah kerja nyata (KKN), wiki, titis, tika, nisrina, widi, dan dicky atas motivasi dan semangat yang diberikan.
21. Teman-teman Kimia kelas A atas kerjasama dan kebersamaannya selama masa perkuliahan.
22. Teman-teman Kimia 2018 semoga Allah permudah langkah kalian dan mendapatkan kehidupan yang jauh lebih baik lagi dan tetap semangat.
23. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyusun skripsi ini.

Atas segala kebaikan yang telah diberikan, semoga Allah SWT membalasnya dengan pahala yang berlipat-lipat ganda. Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna. Namun penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi rekan-rekan khususnya mahasiswa/i kimia serta pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, 26 Desember 2022
Penulis

Dedeh Kurniasih

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan.....	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Fenol.....	6
2.2 Membran Cair.....	8
2.3 <i>Polymer Inclusion Membrane (PIM)</i>	11
2.4 Eugenol dan DAF	13
2.5 Karakterisasi	15
2.5.1 Spektrofotometri ultraviolet-visible (UV-Vis)	15
2.5.2 <i>Fourier transform infrared (FTIR)</i>	17
2.5.3 <i>Scanning electron microscope (SEM)</i>	19
2.5.4 <i>Atomic absorption spectrophotometry (AAS)</i>	20
III. METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Waktu dan Tempat	22
3.2 Alat dan Bahan	22
3.2.1 Alat	22
3.2.2 Bahan	23
3.3 Metode.....	23

3.3.1 Pembuatan Membran PIM	23
3.3.2 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Fenol	24
3.3.3 Pengukuran Konsentrasi Fenol dalam Sampel	24
3.3.4 Studi Transpor Fenol	25
3.3.5 Kompetisi Transpor Fenol, Logam Pb(II) Dan Cd(II) Pada Limbah Buatan.....	27
3.4 Diagram Alir.....	27
IV.HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Pembuatan Membran PIM.....	29
4.2 Panjang Gelombang Maksimum Fenol	32
4.3 Optimasi Transpor Fenol.....	34
4.3.1 Transpor fenol dengan variasi pH fasa sumber	34
4.3.2 Transpor fenol dengan variasi konsentrasi fasa penerima (NaOH).....	37
4.3.3 Transpor fenol dengan variasi ketebalan membran PIM.....	39
4.3.4 Transpor fenol dengan variasi waktu transpor.....	41
4.4 Kompetisi Transpor Fenol, Logam Pb(II) Dan Cd(II) Pada Limbah Buatan.....	43
4.5 <i>Liquid Membrane Loss</i> (LM loss)	46
V.KESIMPULAN DAN SARAN	48
A. Kesimpulan.....	48
B. Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan	18
2. Komposisi komponen pembentuk membran PIM (Nghiem <i>et al.</i> , 2006)	23
3. Perbandingan gugus fungsi PIM Co-EDAF sebelum dan sesudah transpor	31
4. Perbandingan bilangan gelombang membran setelah transpor fenol	46
5. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi pH fasa sumber	61
6. Absorbansi dan konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi pH fasa sumber	62
7. Data \bar{x} , SD, dan %RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi pH fasa sumber	63
8. Persentase fenol fasa membran dan persentase removal pada variasi pH fasa sumber	63
9. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi konsentrasi NaOH	63
10. Absorbansi dan konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada konsentrasi NaOH	64
11. Data, SD, dan %RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada konsentrasi NaOH	65
12. Persentase \bar{x} fenol fasa membran dan persentase \bar{x} removal pada konsentrasi NaOH	65
13. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi ketebalan membran PIM	66
14. Absorbansi dan konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi ketebalan membran PIM	66
15. Data \bar{x} , SD, dan %RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi ketebalan membran PIM	67
16. Persentase \bar{x} fenol fasa membran dan persentase \bar{x} removal pada variasi ketebalan membran PIM	67
17. Absorbansi larutan standar fenol pada variasi waktu transpor	68
18. Absorbansi dan konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi waktu transpor	68
19. Data, SD, dan %RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada variasi waktu transpor.	69

20. Persentase \bar{x} fenol fasa membran dan persentase \bar{x} removal pada variasi waktu transpor	69
21. Absorbansi larutan standar fenol pada limbah buatan	70
22. Absorbansi fenol di fasa sumber dan fasa penerima	70
23. Absorbansi fenol di fasa sumber dan fasa penerima	71
24. Data \bar{x} , SD, dan %RSD konsentrasi fenol di fasa sumber dan fasa penerima pada limbah buatan	71
25. Kadar logam Pb(II) dan Cd(II) pada fasa penerima yang mengandung logam limbah buatan	71
26. Persentase \bar{x} fenol fasa membran dan persentase \bar{x} removal pada limbah buatan	71
27. Massa membran sebelum transpor fenol pada variasi pH fasa sumber	72
28. Massa membran setelah transpor fenol pada variasi pH fasa sumber	72
29. % LM Loss transpor fenol pada variasi pH fasa sumber	73
30. Massa membran sebelum transpor fenol pada variasi konsentrasi NaOH fasa penerima	73
31. Massa membran setelah transpor fenol pada variasi konsentrasi NaOH fasa penerima	73
32. % LM Loss transpor fenol pada variasi konsentrasi NaOH	74
33. Massa membran sebelum transpor fenol pada ketebalaan membran	74
34. Massa membran setelah transpor fenol pada ketebalan membran	74
35. % LM Loss transpor fenol pada ketebalan membran	75
36. Massa membran sebelum transpor fenol pada variasi waktu	75
37. Massa membran setelah transpor fenol pada variasi waktu	75
38. % LM Loss transpor fenol pada variasi waktu	76
39. Massa membran sebelum transpor fenol pada limbah buatan	76
40. Massa membran setelah transpor fenol pada limbah buatan	76
41. % LM Loss transpor fenol pada Limbah Buatan	77
42. Ketebalan membran PIM pada variasi pH fasa sumber	78
43. Ketebalan membran PIM pada variasi konsentrasi NaOH fasa penerima	78
44. Ketebalan membran PIM pada variasi ketebalan membran	78
45. Ketebalan membran PIM pada variasi waktu	79
46. Ketebalan membran PIM pada limbah buatan	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur kimia fenol	7
2. Reaksi fenol dengan 4-aminoantipirin (Sousa and Trancoso, 2009)	7
3. Perbedaan membran (a) BLM, (b) ELM dan (c) SLM. (F merupakan fasa sumber, R merupakan fasa penerima dan E adalah membran) (Kislik, 2010).	9
4. Skema transpor fenol menggunakan membran cair	10
5. Senyawa eugenol.....	13
6. Prediksi struktur polieugenol hasil taut silang dengan DAF.....	14
7. Skema alat Spektrofotometer UV-Vis (Khopkar, 2003).....	17
8. Skema alat FTIR (Dachriyanus, 2004)	18
9. Hamburan elektron yang jatuh pada lembaran tipis (Smallman, 2000).....	19
10. Skema umum komponen pada alat AAS (Haswell, 1991).....	21
11. Diagram alir penelitian.....	28
12. Membran PIM dengan Senyawa Co-EDAF 4%	29
13. Hasil FTIR membran PIM sebelum dan setelah transpor	30
14. Hasil SEM PIM (Co-EDAF 4%); a. sebelum transpor; b. setelah.....	31
15. Senyawa kompleks 4 aminoantipirin	33
16. Panjang gelombang maksimum fenol	33
17. Pengaruh pH fenol pada fasa sumber terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor (%Cs : fasa sumber, %Cp : fasa penerima).....	35
18. Pengaruh konsentrasi NaOH pada fasa penerima terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor (%Cs : fasa sumber, %Cp : fasa penerima)	38
19. Pengaruh ketebalan membran PIM terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor (%Cs : fasa sumber, %Cp : fasa penerima)	39
20. Pengaruh variasi waktu terhadap konsentrasi fenol yang tertranspor (%Cs : fasa sumber, %Cp : fasa penerima)	41
21. Perbandingan konsentrasi fenol, logam Pb(II), logam Cd(II) yang terdapat pada fasa sumber (%Cs), fasa penerima (%Cp)	43
22. Perbandingan spektra IR membran setelah transpor.....	45

23. Kurva kalibrasi fenol pada variasi pH fasa sumber	61
24. Kurva kalibrasi fenol pada variasi konsentrasi fasa penerima	64
25. Kurva kalibrasi fenol pada variasi ketebalan membran PIM	66
26. Kurva kalibrasi fenol pada variasi waktu transpor.....	68
27. Kurva kalibrasi fenol pada limbah buatan	70
28. Proses pencetakan membran PIM	80
29. Membran PIM	80
30. Transpor fenol variasi pH fasa sumber	81
31. Transpor fenol variasi konsentrasi fasa penerima.....	81
32. Transpor fenol variasi ketebalan membran	81
33. Transpor fenol variasi waktu.....	82
34. Transpor fenol dengan logam kompetitif.....	82
35. (a) pengompleksan sampel hasil transpor dan (b) hasil ekstrak fenol dalam kloroform	82

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri yang semakin pesat, akan sangat berdampak terhadap pencemaran lingkungan, terutama pada air. Pencemaran air adalah salah satu pencemaran lingkungan yang dapat disebabkan oleh perkembangan industri. Tingkat pencemaran air akan sangat berdampak terhadap kelangsungan hidup manusia dan lingkungannya, terutama dalam pemanfaatan air bersih. Hal ini menunjukkan dibutuhkan penanganannya yang lebih serius dalam pengolahan air. Pencemaran air yang dihasilkan dari kegiatan industri umumnya disebabkan oleh penanganan limbah cair yang kurang memadai. Salah satu limbah cair yang berbahaya bagi makhluk hidup dan lingkungan adalah fenol.

Fenol (C_6H_5OH) adalah salah satu senyawa organik yang beracun, berbentuk kristal tak berwarna, serta memiliki bau yang khas. Fenol banyak ditemukan dalam limbah industri kertas, tekstil, plastik, nilon, insektisida, herbisida, antiseptik, dan pengawet kayu. Fenol juga ditemukan pada tar batubara dan beberapa proses produksi minyak bumi. Konsentrasi fenol dalam limbah industri berkisar antara 100-1000 mg/L (Stanisavljevic *and* Nidic, 2004). Senyawa-senyawa tersebut sangat beracun, berbahaya, korosif, karsinogenik serta sulit untuk didegradasi. Senyawa ini dapat mengakibatkan kerusakan hati, ginjal, penurunan darah dan pelemahan detak jantung (Alva *and* Peyton, 2003). Menurut Mohammadi *et al* (2014), konsentrasi fenol yang ada dalam air limbah industri adalah 6-500 mg/L untuk kilang, 28-3900 mg/L untuk pengolahan batubara dan 2,8-1220 mg/L untuk tanaman petrokimia. Sedangkan industri farmasi, plastik, produk kayu, cat dan kertas mengandung fenol 0,1-1600 mg/L. Fenol mudah

diserap melalui inhalasi, sistem pencernaan dan paparan dermal yang menghasilkan toksisitas sistemik. Penyerapan fenol cepat didistribusikan ke seluruh tubuh. Rute utama dari ekskresi fenol adalah dalam bentuk urin (PHE, 2016). Senyawa fenol dapat dikatakan aman bagi lingkungan jika konsentrasinya berkisar antara 0,5-1,0 mg/L sesuai dengan KEPMEN No 51/MENLH/10/1995 dan ambang batas fenol dalam air baku air minum adalah 0,002 mg/L. Oleh karena itu, pengolahan lebih lanjut pada limbah cair yang mengandung fenol beserta turunannya harus dilakukan sebelum limbah tersebut dibuang ke perairan.

Polutan di perairan seperti fenol dapat dihilangkan dengan beberapa teknik, yaitu teknik tradisional dan *modern*. Teknologi tradisional meliputi penyulingan uap, ekstraksi cair-cair (LLE), adsorpsi, oksidasi kimia dan biodegradasi. Teknologi *modern* meliputi proses foto-oksidasi dan teknologi pemisahan membran (Mohammadi *et al.*, 2014). Industri kimia sebagian besar menggunakan metode adsorpsi untuk fenol dari larutan encer menggunakan bentonit hasilnya menunjukkan bahwa adsorpsi meningkat dengan meningkatnya konsentrasi fenol dan adsorpsi menurun dengan meningkatnya pH larutan (Banat *et al.*, 2000). Pemisahan fenol dengan teknik adsorpsi (Malusis *et al.*, 2010) serta degradasi senyawa fenol menggunakan bakteri laut dimana keefektifannya ditentukan oleh jenis bakteri dan keadaan lingkungan sekitarnya (Dewilda dkk., 2012) umumnya tidak ekonomis dan membutuhkan bahan serta energi yang besar (Sun *et al.*, 2008). Oleh karena itu, dicari alternatif lain yang dapat menangani limbah fenol yaitu menggunakan membran cair (Kiswandono, 2016).

Metode PIM (*Polymer Inclusion Membrane*) merupakan salah satu metode membran cair. Membran PIM merupakan membran dengan film tipis yang fleksibel dimana membran tersebut sangat mudah dibuat dari larutan yang mengandung suatu senyawa senyawa *carrier*, *plasticizer* dan polimer dasar sebagai pendukung (Nghiem *et al.*, 2006). Pada teknik membran cair, senyawa *carrier* (pembawa) sebagai fasilitator yang terdapat pada fasa membran memainkan peranan penting dan merupakan hal penentu dalam kinerja pemisahan (Huidong *et al.*, 2009). Proses transpor senyawa target diawali dengan difusi senyawa target pada fasa sumber melewati pembatas *layer* (lapisan), kemudian

terjadi penyerapan senyawa target pada fasa antarmuka sumber-membran. Senyawa target tertransport ke fasa membran dan melewati fasa membran kemudian terjadi desorpsi pada fasa antarmuka membran-penerima, akhirnya senyawa target terdifusi kembali di fasa penerima (Raut *et al.*, 2012).

Metode PIM dianggap mampu meningkatkan kestabilan membran dibandingkan SLM karena dua hal yaitu adanya polimer dasar (polimer pendukung) dan *plasticizer*. Polimer dasar misalnya *polyvinyl chloride* (PVC) pada membran diharapkan dapat mengatasi kebocoran senyawa *carrier*. Senyawa *carrier* merupakan salah satu komponen dalam membran yang menyebabkan proses pemisahan dapat berjalan. Senyawa *carrier* berfungsi memfasilitasi senyawa target melalui membran. Senyawa *carrier* bereaksi dengan komponen yang ditargetkan pada fasa sumber, bergerak melintasi membran dan melepaskan komponen ini di fasa penerima. *Plasticizer* misalnya dibenzil eter (DBE) pada membran berfungsi untuk membuat sistem membran menjadi lebih stabil (Dzygiel *and* Wieczorek, 2010).

Senyawa *carrier* berbasis senyawa bahan alam, salah satunya adalah polieugenol yaitu senyawa yang dihasilkan dari polimerisasi eugenol (Harimu *et al.*, 2010). Eugenol merupakan salah satu komponen kimia yang terdapat dalam minyak daun cengkeh. Keberadaan eugenol yang cukup melimpah di Indonesia menjadi salah satu alasan mengapa eugenol layak untuk dikembangkan. Oleh karena itu, pengembangan dan pemanfaatan polieugenol perlu diperluas untuk meningkatkan nilai ekonomis dari senyawa eugenol. Eugenol dalam daun cengkeh ini dapat digunakan sebagai bahan awal sintesis menjadi polieugenol melalui sintesis langsung menggunakan katalis, baik asam sulfat (Handayani *dkk.*, 2004) maupun boron trifluoro dietil eter (Harimu *et al.*, 2010). 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.

Peningkatan berat molekul suatu polimer, dapat dilakukan dengan cara polimerisasi menggunakan senyawa-senyawa vinil. Reaksi polimerisasi senyawa vinil sebagian besar adalah polimerisasi adisi. Polimerisasi adisi ini hanya terjadi pada ujung rantai yang memiliki ikatan rangkap dua sehingga dapat dihasilkan berat molekul yang tinggi (Stevens, 2001). Salah satu senyawa diena yang dapat mengalami polimerisasi adisi adalah dialil ftalat (DAF). Ikatan rangkap dua pada senyawa diena ini mempunyai sifat reaktif sehingga proses sintesis dapat dilakukan pada suhu kamar.

Senyawa *carrier* Co-EDAF 4% merupakan hasil tersambung silang antara eugenol dan DAF. Hal ini dikarenakan sisi aktif kedua senyawa ini memiliki kemiripan yaitu sama-sama memiliki gugus -OH dan cincin benzena. Maka karena itu dapat diprediksi bahwa polimer hasil sintesis pada penelitian ini dapat menjadi fasilitator terjadinya transpor senyawa fenol. Berdasarkan latar belakang diatas, maka dilakukan penelitian transpor fenol menggunakan senyawa *carrier* Co-EDAF 4%. Proses pemisahan fenol pada penelitian ini menggunakan metode PIM berbasis polimer dasar *polivinil klorida* (PVC) dan dibenzil eter (DBE) sebagai *plasticizer*.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari transpor fenol menggunakan kopoli(eugenol-DAF) 4% sebagai senyawa pembawa dengan metode PIM, meliputi pengaruh pH fasa sumber (fenol), konsentrasi fasa penerima (NaOH), ketebalan membran dan waktu transpor fenol.
2. Mempelajari kompetisi transpor fenol, logam Pb(II) dan Cd(II) pada limbah buatan.
3. Mempelajari karakterisi senyawa Co-EDAF 4% dan membran PIM menggunakan FTIR dan SEM.

1.3 Manfaat Penelitian

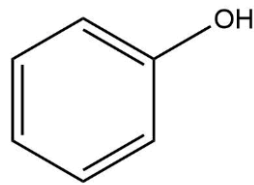
Adapun manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

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

II. TINJAUAN PUSTAKA

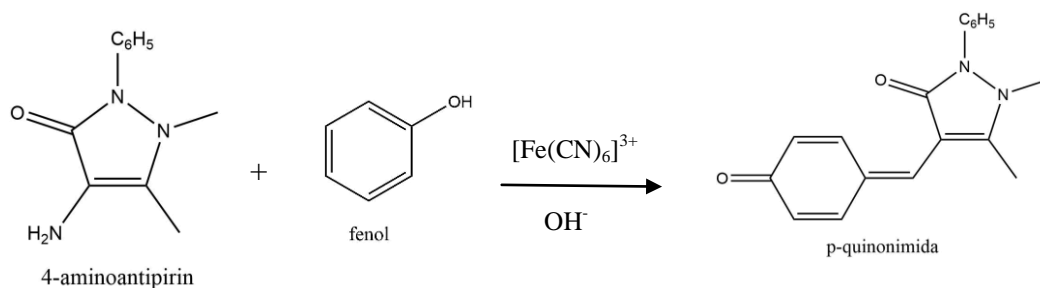
2.1 Fenol

Fenol (C_6H_6O) merupakan senyawa organik yang mempunyai gugus hidroksil yang terikat pada cincin benzena (Gambar 1). Fenol dan turunannya ditemukan sebagai polutan dalam limbah cair industri seperti industri petrokimia, agrokimia, batu bara dan beberapa proses kimia lainnya. Senyawa-senyawa tersebut sangat beracun, berbahaya, korosif, karsinogenik serta sulit untuk didegradasi. Senyawa ini dapat mengakibatkan kerusakan hati, ginjal, penurunan darah dan pelemahan detak jantung (Alva *and* Peyton, 2003). Apabila mencemari perairan dapat menimbulkan rasa dan bau tidak sedap serta pada konsentrasi tertentu dapat menyebabkan kematian organisme di perairan tersebut. Apabila masuk ke dalam tubuh dapat menimbulkan gangguan kesehatan pada manusia seperti gangguan pada otak, paru-paru, ginjal dan limfa serta dapat menyebabkan kegagalan sirkulasi darah dan kematian akibat kegagalan pernapasan. Senyawa fenol dapat dikatakan aman bagi lingkungan jika konsentrasinya berkisar antara 0,5-1,0 mg/L sesuai dengan KEPMEN No 51/MENLH/10/1995 dan ambang fenol dalam air baku air minum adalah 0,002 mg/L. *Environmental Protection Agency* (EPA) dan *European Union* (EU) memasukkan fenol dalam daftar prioritas yakni total fenol dalam air minum adalah 0,5 μ /L (Trivunac *and* Stevanovic, 2004). Oleh karena itu, pengolahan lebih lanjut pada limbah cair yang mengandung fenol beserta turunannya harus dilakukan sebelum limbah tersebut dibuang ke perairan.



Gambar 1. Struktur kimia fenol

Penentuan kadar fenol dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis telah banyak dilakukan. Fiamegos *et al* (2000), melakukan analisis fenol dengan spektrofotometer UV-Vis menggunakan beberapa reagen pengompleks untuk dibandingkan. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa reagen 4-aminoantipirin menunjukkan karakteristik yang lebih baik mengenai sensitivitas dan respon terhadap senyawa fenolik. Venkateswaran *and* Palanivelu (2006), juga menggunakan 4-aminoantipirin sebagai reagen pengompleks dalam analisis fenol, o-cresol dan m-cresol menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Menurut Badan Standarisasi Nasional SNI 06-6989.21-2004 semua fenol dalam air pada prinsipnya akan bereaksi dengan 4-aminoantipirin dalam suasana kalium ferrisianida akan membentuk warna merah kecoklatan dari antipirin (Gambar 2). Warna yang terbentuk kemudian diekstrak ke dalam kloroform dan diukur pada panjang gelombang maksimum 460 nm atau 500 nm. Konsentrasi senyawa fenol dinyatakan dalam mg/L.



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

Para peneliti mencoba melakukan *recovery* dan *removal* fenol di perairan menggunakan berbagai macam metode. Adsorpsi merupakan salah satu metode *recovery* fenol. Hameed and Rahman (2008), melakukan *removal* fenol dari perairan dengan menggunakan karbon teraktivasi. Hasilnya menunjukkan bahwa kapasitas maksimum adsorpsi sebesar 149,25 mg/g dan model kinetika yang sesuai untuk proses adsorpsinya adalah model kinetik *pseudo* orde dua. Senturk *et al* (2009), melakukan penghilangan fenol dari perairan dengan menggunakan bentonit termodifikasi. Hasilnya menunjukkan bahwa bentonit termodifikasi mampu mengadsorpsi fenol secara spontan dan eksotermik pada kisaran temperatur 0-40 °C.

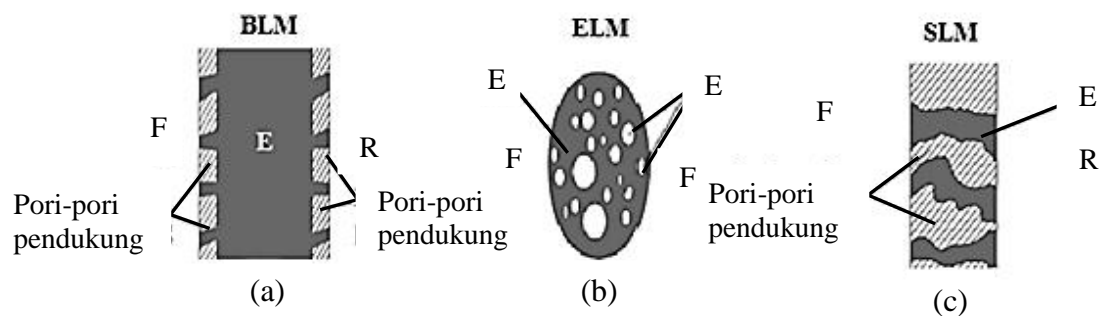
Penanganan fenol dapat juga dilakukan dengan menggunakan metode ekstraksi. Ekstraksi fenol di perairan dengan menggunakan N-oktanoilpirolidin telah dilakukan (Li *et al.*, 2004). Hasil penelitian menunjukkan bahwa N-oktanoilpirolidin dalam kerosen sulfonat pada kondisi asam mampu mengekstrak fenol secara efektif. Metode adsorpsi memiliki kelemahan yaitu diperlukannya regenerasi adsorben ketika sudah jenuh dengan senyawa organik. Selain itu, polutan organik yang telah diadsorpsi dalam adsorben masih tetap berbahaya karena tidak dapat didegradasi menjadi senyawa lain yang tidak berbahaya (Slamet dkk., 2006). Penanganan fenol dapat menggunakan metode lainnya, seperti metode penanganan fenol dengan menggunakan membran.

2.2 Membran Cair

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

Teknologi membran bersifat efisien, sederhana, memiliki selektivitas yang tinggi serta aman bagi lingkungan. Pemisahan dengan membran tergolong hal yang

baru dan cepat berkembang. Membran tidak hanya penting dalam proses biologi, namun telah berkembang dan digunakan dalam dunia industri, seperti dalam proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi (Kislik, 2010). Salah satu teknologi membran adalah membran cair. Membran cair sangat menarik dalam hal pemisahan dan efektif pada berbagai aplikasi. Beberapa jenis membran cair telah digunakan dalam teknik kimia, kimia anorganik, analitik, bioteknologi dan biomedikal. Proses pemisahan dengan membran cair dapat dilakukan pada suhu kamar, tidak bersifat destruktif dan dapat dikombinasikan dengan proses lainnya tanpa penambahan zat lain. Membran cair terbagi menjadi tiga, yaitu membran cair ruah (*Bulk Liquid Membranes*, BLM), membran cair emulsi (*Emulsion Liquid Membranes*, ELM) dan membran cair berpendukung (*Supported Liquid Membranes*, SLM) (Mulder, 1996). Ada lima jenis membran cair yaitu membran cair emulsi (ELM), membran cair berpendukung gel (*gelled supported liquid membrane*, GSLM), membran cair polimer (*polymer liquid membrane*, PLM), membran cair ruah (BLM) dan membran cair berpendukung (SLM) (Wang *et al.*, 2000; Kislik, 2010). Perbedaan ketiga jenis membran BLM, ELM dan SLM terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbedaan membran (a) BLM, (b) ELM dan (c) SLM. (F merupakan fasa sumber, R merupakan fasa penerima dan E adalah membran) (Kislik, 2010).

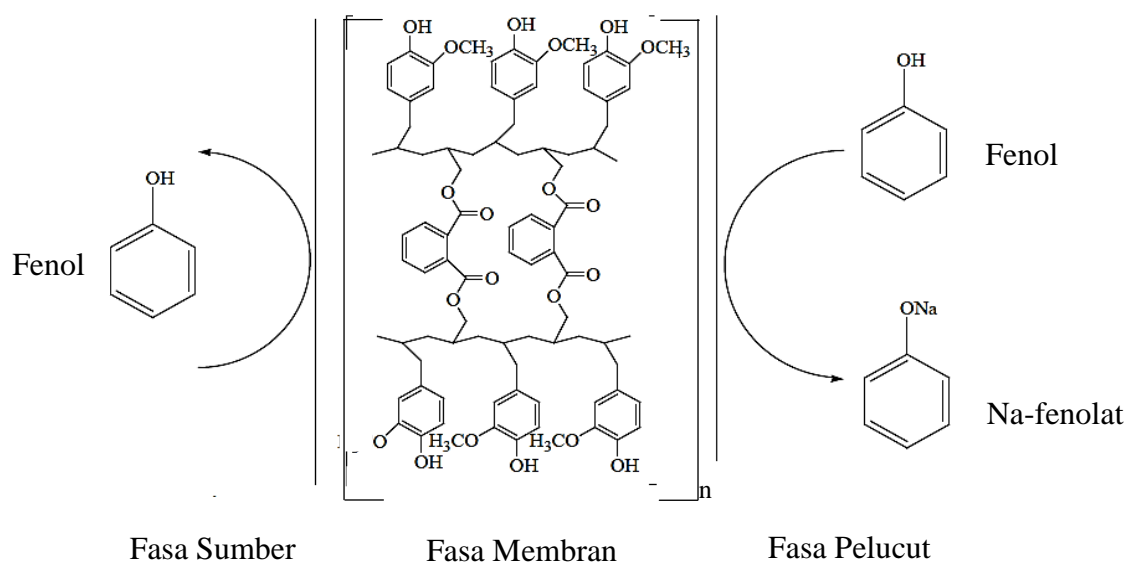
Prinsip pemisahan pada membran cair tidak ditentukan oleh membran itu sendiri, tetapi oleh sifat molekul *carrier* (pembawa) yang spesifik. Molekul *carrier* berada tetap di dalam membran dan dapat bergerak jika dilarutkan dalam cairan. Molekul *carrier* juga harus menunjukkan afinitas yang sangat spesifik terhadap satu komponen pada fasa umpan sehingga diperoleh selektivitas yang

tinggi. Selain itu *permselectivity* komponen sangat tergantung pada spesifikasi bahan senyawa *carrier* tersebut. Komponen yang dapat dipisahkan dapat berupa gas atau cair serta ionik atau non ionik (Mulder, 1996).

Mekanisme transpor senyawa melewati membran cair dibagi menjadi beberapa tahap:

1. Penyerapan pada permukaan fasa sumber.
2. Terjadinya reaksi kompleks dengan senyawa *carrier*.
3. Difusi antara senyawa target atau kompleks senyawa target dengan senyawa *carrier* melewati membran cair.
4. Penguraian kompleks *carrier* pada permukaan fasa penerima.
5. Pelepasan senyawa target (Ferraz *et al.*, 2007).

Transpor fenol melalui membran secara keseluruhan meliputi 2 tahap (Gambar 4), yaitu transpor senyawa target melewati 2 permukaan (permukaan fasa sumber dan permukaan senyawa *carrier*) dan difusi melewati membran. Tahap pertama, senyawa target yang telah berdifusi pada fasa sumber bereaksi dengan senyawa *carrier* membentuk kompleks dan selanjutnya akan ditranspor melewati membran cair menuju fasa penerima. Kompleks antara senyawa target dan senyawa *carrier* kemudian terpisah dan senyawa target terlepas menuju fasa penerima, sehingga reaksi ini dapat terjadi secara terus menerus (Nghiem *et al.*, 2006).



Gambar 4. Skema transpor fenol menggunakan membran cair

Keunggulan teknologi pemisahan menggunakan membran dibandingkan dengan teknologi pemisahan lainnya yaitu:

1. Energi yang digunakan cukup rendah sehingga ekonomis, karena pemisahan menggunakan membran tidak melibatkan perubahan fasa. Perubahan fasa seperti pada distilasi membran walaupun ada, tetapi temperatur yang digunakan jauh lebih rendah daripada titik didih larutan yang akan dipisahkan
2. Pemisahan dapat dilakukan secara berkelanjutan
3. Tidak membutuhkan zat bantu kimia dan tidak ada tambahan produk buangan.
4. Bersifat modular artinya kapasitas proses pada modul membran dapat ditingkatkan dengan memperbanyak unitnya
5. Dapat digabungkan dengan jenis operasi lainnya (*hybrid processing*)
6. Dapat dilakukan variasi pada komponen membran sesuai kebutuhan (Agustina, 2006).

2.3 Polymer Inclusion Membrane (PIM)

Metode PIM merupakan salah satu metode membran cair yang mampu atau dapat meningkatkan kestabilan membran karena dua hal, yaitu adanya polimer dasar dan *plasticizer*. Polimer dasar misalnya *polyvinyl chloride* (PVC) pada membran diharapkan dapat mengatasi kebocoran dari senyawa *carrier*. *Plasticizer* misalnya dibenzil eter (DBE) pada membran berfungsi untuk membuat sistem membran menjadi lebih stabil (Dzygiel and Wieczorek, 2010). PIM telah diakui memiliki stabilitas yang baik karena tingkat kebocoran senyawa *carrier* pada saat proses transpor sangat kecil (rendah) dibandingkan dengan membran cair SLM (Nghiem *et al.*, 2006).

Metode PIM merupakan sistem membran terbaru yang telah dikembangkan beberapa tahun terakhir. Membran PIM biasanya terdiri dari ekstraktn (senyawa *carrier*), polimer dasar (umumnya PVC atau *cellulose triacetate-CTA*) dan *plasticizer* (Fontas *et al.*, 2007). Senyawa *carrier* adalah agen pengompleks

penting atau *ion-exchanger*, yang bertanggung jawab untuk mengikat spesies dan membawanya melintasi PIM. PIM telah berhasil diterapkan dalam pemisahan ion logam, sedangkan laporan yang melibatkan ekstraksi dan pemisahan fenol dengan PIM masih terbatas. PIM biasanya dibuat dengan teknik pencetakan dan penguapan pelarut. Teknik pencetakan meliputi pelarutan komponen membran seperti polimer dasar dan komponen lainnya dengan pelarut yang sesuai dalam suatu cetakan. Penguapan pelarut yang dimaksud yaitu pelarut dibiarkan menguap secara alami (Pereira *et al.*, 2009). PVC dan CTA banyak digunakan sebagai polimer dasar karena kekuatan mekanik, ketahanan kimia yang baik dan kemudahan pelarutan dalam pelarut yang mudah menguap seperti THF (tetrahidrofur) untuk PVC dan diklorometana untuk CTA. Polimer ini juga bersifat kompatibel dengan banyak ekstrak komersial dan *plasticizer* untuk membentuk PIM yang homogen (Qin *et al.*, 2002).

Pembuatan membran di dalam metode PIM menggunakan komponen di atas akan membentuk lapisan yang tipis, stabil dan fleksibel. Hasilnya adalah membran *self-supporting* yang dapat digunakan untuk memisahkan larutan yang diinginkan dengan cara yang serupa dengan SLM (Nghiem *et al.*, 2006). Membran PIM meskipun memiliki permeabilitas dan selektivitas yang rendah, namun tetap memiliki stabilitas yang lebih baik dan memadai dibandingkan jenis membran cair lainnya. Sehingga metode ini berpotensi dan dapat diaplikasikan secara praktis di lapangan. Komponen penyusun membran yang hilang (LM *loss*) saat transpor digunakan sebagai parameter ketahanan, kekuatan dan umur suatu membran (Dzygiel *and* Wieczorek, 2010).

Ada tiga langkah utama karakteristik transpor senyawa target dari fasa sumber ke fasa penerima dalam PIM, yaitu:

- Tahap pertama
Senyawa target yang telah menyebar pada fasa antarmuka sumber-membran, akan berikatan dengan senyawa *carrier* membentuk kompleks. Setelah kompleks terbentuk, lalu diangkut melintasi fasa antarmuka ini dan akan digantikan oleh molekul lain dari senyawa *carrier*.
- Tahap Kedua

Kompleks berdifusi melalui membran menuju ke fasa penerima.

- Tahap akhir

Pada fasa antarmuka membran-penerima, kompleks terdisosiasi dan senyawa target dilepaskan ke fasa penerima. Kemudian di fasa penerima senyawa target ditarik oleh anion untuk membentuk garam.

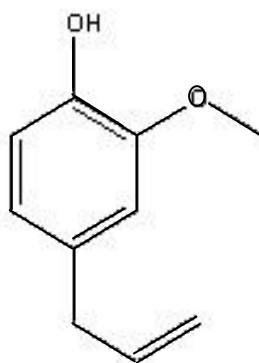
Faktor-faktor yang berkaitan dengan pengaruh dan kemampuan dari membran PIM dalam transpor suatu analit. Faktor-faktor tersebut antara lain:

- 1.) Komposisi penyusun membran
- 2.) Sifat polimer dasar atau pendukung, senyawa *carrier* dan *plasticizer*
- 3.) Morfologi membran
- 4.) Sifat kimia dari larutan berair dalam membuat fasa sumber dan fasa penerima.

Beberapa peneliti telah melaporkan penelitian tentang pemisahan fenol menggunakan metode membran cair dengan banyak variasi senyawa *carrier* (Venkateswaran *and* Palanivelu 2006; Huidong *et al.*, 2009).

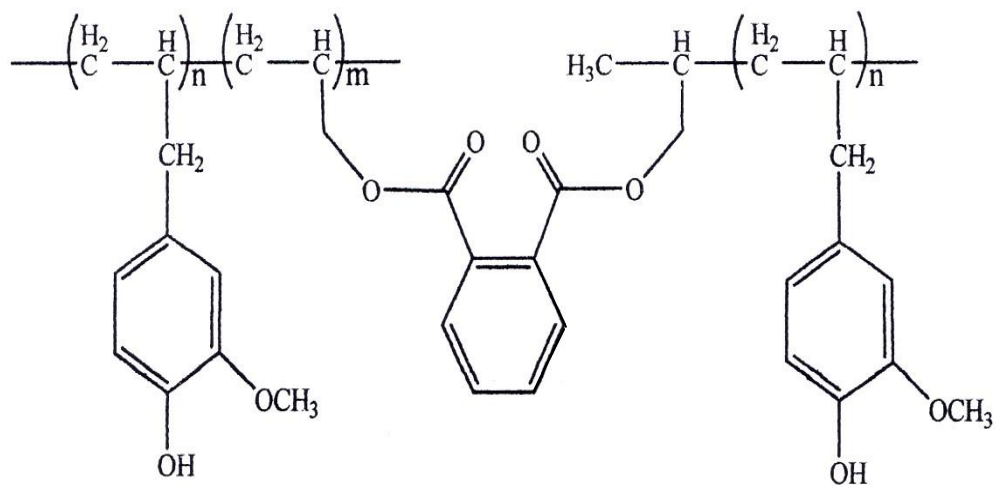
2.4 Eugenol dan DAF

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



Gambar 5. Senyawa eugenol

Pada umumnya polieugenol dapat dihasilkan melalui sintesis langsung menggunakan katalis, baik asam sulfat maupun boron trifluoro dietil eter (Handayani dan Wuryanti, 2001). Prediksi Struktur polieugenol hasil taut silang dengan DAF (Gambar 2) mengikuti prosedur atau metode yang telah dilakukan oleh Kiswandono *et al.* (2012), yakni eugenol dan dialil ftalat dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer, kemudian ditambahkan katalis $\text{BF}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ dan diaduk dengan pengaduk magnet. Reaksi terjadi ditandai dengan perubahan warna.



Gambar 6. Prediksi struktur polieugenol hasil taut silang dengan DAF

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

2.5 Karakterisasi

2.5.1 Spektrofotometri ultraviolet-visible (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).

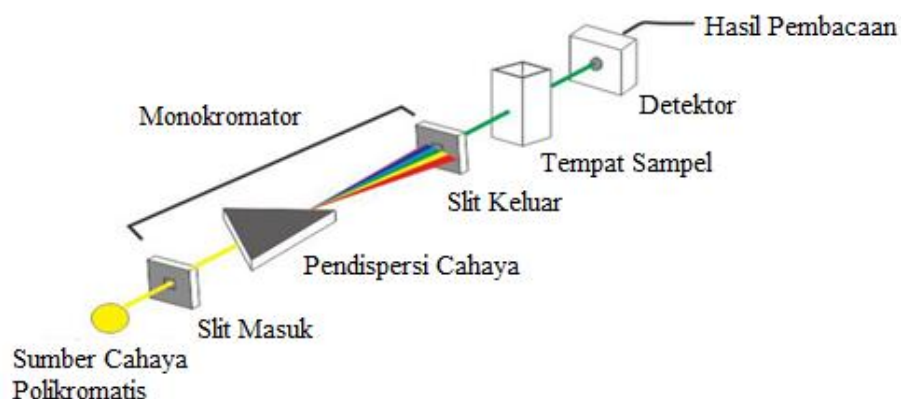
Spektrofotometri UV-Vis yang komersial biasanya beroperasi dari sekitar 175 nm atau 200-1000 nm. Identifikasi kualitatif senyawa organik dalam daerah ini jauh lebih terbatas daripada dalam daerah inframerah. Ini karena pita serapan terlalu lebar dan kurang terinci. Tetapi, gugus-gugus fungsional tertentu seperti karbonil, nitro, 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). 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 % transmitan 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.

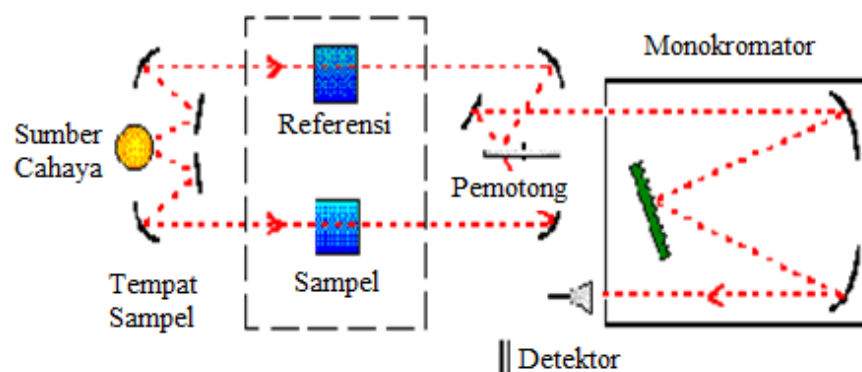


Gambar 7. Skema alat Spektrofotometer UV-Vis (Khopkar, 2003)

2.5.2 *Fourier transform infrared (FTIR)*

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 8.



Gambar 8. 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 1 (Dachriyanus, 2004).

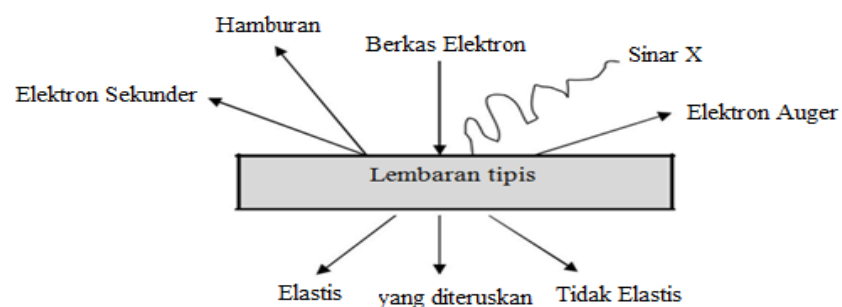
Tabel 1. Bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan

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

2.5.3 Scanning electron microscope (SEM)

SEM adalah suatu instrumen penghasil berkas elektron pada permukaan spesimen target dan mengumpulkan serta menampilkan sinyal-sinyal yang diberikan oleh material target. Alat SEM (*Scanning Electron Microscope*) memiliki kegunaan dalam melakukan karakterisasi material yang heterogen pada permukaan bahan skala mikrometer atau bahan submikrometer. Pada SEM dapat diamati karakteristik bentuk, struktur, serta distribusi pori pada permukaan bahan. Prinsip kerja alat ini adalah sumber elektron dari *filament* yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Apabila elektron tersebut berinteraksi dengan bahan (*specimen*) maka akan menghasilkan elektron sekunder dan sinar-X karakteristik (Smallman, 2000).

Struktur suatu material dapat diketahui dengan cara melihat interaksi yang terjadi jika suatu *specimen* padat dikenai berkas elektron. Berkas elektron yang jatuh tersebut sebagian akan dihamburkan sedang sebagian lagi akan diserap dan menembus *specimen*. Bila *specimen* cukup tipis, sebagian besar ditransmisikan dan beberapa elektron dihamburkan secara tidak elastis. Interaksi dengan atom dalam *specimen* menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X dan elektron auger, yang semuanya dapat digunakan untuk mengkarakterisasi material. Berikut ini adalah gambaran mengenai hamburan elektron-elektron apabila mengenai *specimen* disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hamburan elektron yang jatuh pada lembaran tipis (Smallman, 2000)

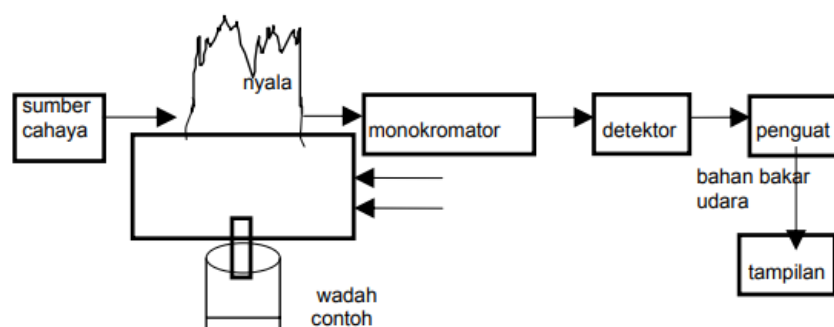
Interaksi antara elektron dengan atom pada sampel akan menghasilkan pelepasan elektron dengan energi rendah, foton sinar-X, dan elektron auger, yang seluruhnya dapat digunakan untuk mengkarakterisasi material. Elektron sekunder adalah elektron yang dipancarkan dari permukaan kulit atom terluar yang dihasilkan 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).

2.5.4 Atomic absorption spectrophotometry (AAS)

Spektrofotometri merupakan suatu metode analisis kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan banyaknya radiasi yang dihasilkan atau yang diserap oleh spesi atom atau molekul analit. Salah satu jenis dari spektrofotometri ialah Spektrofotometri Serapan Atom, yang merupakan metode analisis unsur secara kuantitatif berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas (Skoog *et. al.*, 2004). Prinsip analisis 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 AAS 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 AAS 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 AAS dapat dilihat pada Gambar 10.



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

Dalam metode AAS, sebagaimana dalam metode spektrofotometri atomik yang lain, contoh harus diubah ke dalam bentuk uap atom. Proses pengubahan 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. Secara umum pembentukan atom bebas dalam keadaan gas melalui tahapan-tahapan sebagai berikut :

- a. Penguapan pelarut, pada tahap ini pelarut akan teruapkan dan meninggalkan residu padat.
- b. Penguapan zat padat, zat padat ini terdisosiasi menjadi atom-atom penyusunnya yang mula-mula akan berada dalam keadaan dasar.
- c. Beberapa atom akan mengalami eksitasi ke tingkatan energi yang lebih ting sehingga pada kondisi tersebut atom-atom mampu memancarkan energi.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada Januari - Juli 2022 di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi membran PIM menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LT-SIT) Universitas Lampung dan FT-IR dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Lampung. Analisis sampel menggunakan spektrofotometer UV-Vis yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Analisis logam menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) dilakukan di Laboratorium Kesehatan Bandar Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah *magnetic stirrer*, *magnetic bar*, neraca digital analitik (Mettler Toledo AB54-S), pipet tetes, spatula, tabung reaksi, corong pisah, statif dan klem, satu set alat transpor fenol (*chamber* berdiameter 3,5 cm, *thickness gauge* (Mitutoyo 7301), pH meter (HM-30R), *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS), spektrofotometer UV-Vis (Hitachi U-2010), *Scanning Electron Microscope* (SEM), spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR), gelas ukur, gelas kimia, batang pengaduk, spatula, dan labu takar.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah Copoli Dialil Ftalat (Co-EDAF) 4%, kloroform (CH_3Cl), akuabides, fenol, polivinil klorida (PVC), dibenzil eter (DBE), amonia (NH_3), asam klorida (HCl), tetrahidrofuran (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 $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, buffer fosfat (K_2HPO_4 , KH_2PO_4), plastik *warp*, tisu, dan *aluminium foil*.

3.1 Metode

3.3.1 Pembuatan membran PIM

Membran PIM di cetak atau dibuat dengan variasi berat 0,027; 0,054; dan 0,108 g dalam suatu cetakan yang telah dilengkapi dengan *magnetic stirrer*. Perbandingan kopoli (eugenol-DAF) 4% sebagai senyawa *carrier*, PVC sebagai polimer dasar, dan DBE sebagai *plasticizer* adalah 10:32:58 (Nghiem *et al.*, 2006). Komposisi membran PIM dapat dilihat pada Tabel 2. Tetrahidrofuran (THF) sebanyak 10 mL ditambahkan pada komponen membran PIM. THF berfungsi sebagai pelarut untuk menghomogenkan campuran (komponen membran) di dalam cetakan. Pelarutan berlangsung selama 30 menit. Membran hasil cetakan didiamkan selama 3 hari untuk menguapkan pelarut secara alami.

Tabel 2. Komposisi komponen pembentuk membran PIM (Nghiem *et al.*, 2006)

Tipe Membran	Co-EDAF 4% (g)	PVC (g)	DBE (g)	Total (g)
T ₂₇ (kecil)	0,027	0,086	0,156	0,270
T ₅₄ (Normal)	0,054	0,172	0,313	0,540
T ₁₀₈ (Besar)	0,108	0,345	0,626	1,080

Membran PIM yang telah selesai dibuat, kemudian digunakan untuk proses transpor fenol. Diameter membran yang langsung bersentuhan dengan larutan adalah 2,5 cm. Fasa sumber berisi fenol dengan konsentrasi 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 serta diukur ketebalan membran menggunakan *thickness gauge*.

3.3.2 Penentuan panjang gelombang maksimum fenol

Penentuan panjang gelombang maksimum fenol dilakukan dengan mengambil sebanyak 5 mL fenol 60 ppm dan ditempatkan ke dalam gelas kimia. Kemudian ditambahkan dengan 5 mL akuades sehingga volumenya menjadi 10 mL. Larutan tersebut diatur pH-nya menjadi $9,8 \pm 10,2$ menggunakan NH_4OH encer dan buffer fosfat (K_2HPO_4 , KH_2PO_4). Lalu ditambahkan 1 mL larutan 4-aminoantipirin 2 % dan 1 mL larutan kalium ferrisianida ($\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) 8 %, sambil diaduk. 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 (CHCl_3). 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 menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400 nm sampai 600 nm untuk memperoleh panjang gelombang maksimum.

3.3.3 Pengukuran konsentrasi fenol dalam sampel

Pengukuran konsentrasi fenol dalam sampel (fasa sumber dan fasa penerima) dilakukan setelah proses transpor berlangsung. Sampel fasa sumber, fasa penerima dan larutan standar fenol masing-masing diambil sebanyak 5 mL. Sampel tersebut masing-masing dimasukkan ke dalam gelas kimia. Larutan standar fenol yang digunakan terdiri dari beberapa variasi konsentrasi, yaitu 10 ppm, 30 ppm, 70 ppm dan 90 ppm. Kemudian tambahkan 5 mL akuades pada masing-masing gelas kimia tersebut sehingga volumenya menjadi 10 mL.

Larutan tersebut diatur pH-nya menjadi $9,8 \pm 10,2$ dengan menggunakan NH_4OH encer untuk fasa sumber, HCl encer untuk fasa penerima dan buffer fosfat (K_2HPO_4 , KH_2PO_4). Lalu ditambahkan 1 mL 4-aminoantipirin 2% dan 1 mL kalium ferrisianida 8% sambil diaduk. 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 (CHCl_3). 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 menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.3.4 Optimasi Transpor Fenol

Transpor fenol terdiri dari tiga fasa yaitu fasa sumber, fasa penerima dan fasa membran yang membatasi kedua fasa tersebut. Fasa sumber berisi larutan fenol, fasa penerima berisi larutan NaOH dan fasa membran mengandung senyawa *carrier* kopoli(eugenol-DAF) 4%.

3.3.4.1 Transpor fenol dengan variasi pH fasa sumber

Membran PIM yang mengandung senyawa *carrier* kopoli(eugenol-DAF) 4% dengan ketebalan normal yang sudah dicetak ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor. Kemudian dimasukkan 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber dengan variasi pH 3,5; 4,5; 5,5; 6,5 dan 8. Pada fasa penerima dimasukkan 50 mL NaOH dengan konsentrasi 0,1 M. 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, diambil sampel fasa sumber dan fasa penerima. Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam sampel fasa sumber dan fasa penerima dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.3.4.2 Transpor fenol dengan variasi konsentrasi fasa penerima (NaOH)

Membran PIM yang mengandung senyawa *carrier* kopoli (eugenol-DAF) 4% dengan ketebalan normal yang sudah dicetak ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor. Kemudian dimasukkan 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber dengan pH optimum (pH optimum yang diperoleh sebelumnya). Pada fasa penerima dimasukkan 50 mL NaOH dengan variasi konsentrasi 0,01; 0,05; 0,1; 0,25 dan 0,5 M. 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, sampel pada fasa sumber dan fasa penerima diambil dan konsentrasi fenol dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.3.4.3 Transpor fenol dengan variasi ketebalan membran PIM

Membran PIM yang digunakan pada variasi ketebalan dicetak dengan komposisi yang sesuai pada Tabel 2. Membran tipe T₂₇, T₅₄ dan T₁₀₈ yang sudah dicetak ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor. Kemudian dimasukkan 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber (pH optimum) dan 50 mL NaOH sebagai fasa penerima (konsentrasi optimum). 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, sampel pada fasa sumber dan fasa penerima diambil dan konsentrasi fenol dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.3.4.4 Transpor fenol dengan variasi waktu transpor

Membran PIM dengan tipe ketebalan optimum yang sudah dicetak ditempatkan di tengah-tengah pipa transpor. Kemudian dimasukkan 50 mL fenol 60 ppm sebagai fasa sumber (pH optimum) dan 50 mL NaOH sebagai fasa penerima (konsentrasi optimum). Setelah itu, pipa transpor ditutup dan diaduk dengan pengaduk magnet pada fasa sumber dan fasa penerima. Transpor fenol dilakukan dengan variasi waktu 4, 9, 24, 32, dan 48 jam pada suhu kamar. Setelah selesai diaduk, diambil sampel fasa sumber dan fasa penerima.

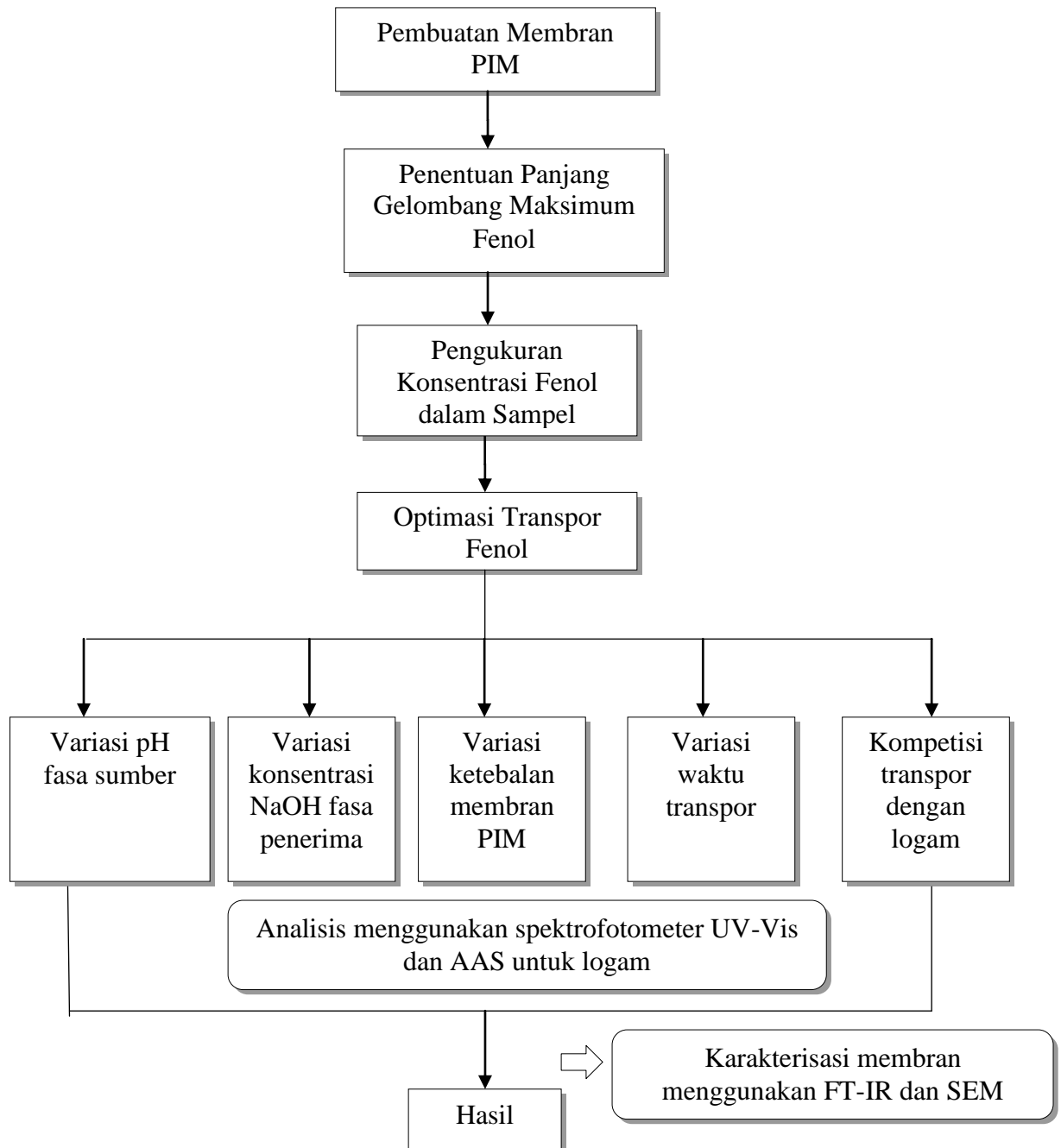
Konsentrasi fenol yang terdapat di dalam fasa sumber dan fasa penerima dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.3.5 Kompetisi Transpor Fenol, 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 sumber diatur pH nya dengan pH optimum fenol. Kolom transpor membran ditutup lalu pada masing-masing fasa diaduk selama 9 jam pada suhu kamar. Setelah selesai diaduk, konsentrasi fenol yang terdapat pada fasa sumber dan fasa penerima dianalisis kadar fenolnya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum, sedangkan fenol dengan logam Pb dan Cd dianalisis menggunakan AAS.

3.4 Diagram Alir

Secara keseluruhan penelitian ini dirangkum dalam diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Transpor fenol mencapai nilai optimum sebesar 74,15% atau setara dengan 44,49 ppm, pada kondisi pH larutan fenol fasa sumber 5,5, konsentrasi larutan NaOH pada fasa penerima 0,1 M, dan dengan ketebalan membran T₅₄ selama 24 jam.
2. Pada kompetisi transpor fenol dengan logam kompetitor didapatkan logam Pb yang tertranspor ke fasa penerima sebesar 0,173%, dan logam Cd sebesar 0,047%.
3. Keberadaan logam kompetitor Pb(II) dan Cd(II) terhadap transpor fenol mengganggu proses fenol untuk tertranspor ke fasa penerima. Hal ini dibuktikan dengan konsentrasi fenol dengan adanya logam kompetitor yang tertranspor lebih sedikit dibandingkan transpor tanpa adanya logam kompetitor.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, pada penelitian selanjutnya disarankan:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai uji kestabilan pada membran Co-EDAF 4% dalam transpor fenol.
2. Perlu dilakukan transpor fenol menggunakan senyawa *carrier* selain Co-EDAF 4% dengan menggunakan metode *polymer inclusion membrane* (PIM).

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S. 2006. Teknologi Membran dalam Pengolahan Limbah Cair Industri. *Buletin Penelitian*. **28**: 18-24.
- Alva, V. A., and B. M. Peyton. 2003. Phenol and Catechol Biodegradation by The Haloalkaliphile *Halomonas Campisalis*: Influence of pH and Salinity. *Environmental Science and Technology*. **37**: 4397–4402.
- 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.
- Banat, F. A., B. Al-Bashir., S. Al-Asheh, and O. Hayajneh. 2000. Adsorption of Phenol by Bentonit. *Environmental Pollution*. **107**: 391–398.
- 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*.
- Dewilda, Y., R. Afrianita, dan F. F. Iman. 2012. Degradasi Senyawa Fenol Oleh Mikroorganisme Laut. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*. **9**: 59–73.
- Dzygiel, 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*. Elsevier. Inggris. Pp. 73-140.
- Ferraz, H., L. T. Duarte, M. D. Lucio, A. C. Habert, and C. P. Borges. 2007. Recent Achievements in Facilitated Transport Membranes for Separation Processes. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. **24**: 101–118.
- Fiamegos, Y. C., C. D. Stalikas, G. A. Pilidis, and M. I. Karayannis. 2000. Synthesis and Analytical Applications of 4-Aminopyrazolone Derivatives as Chromogenic Agents for The Spectrophotometric Determination of Phenols. *Analytica Chimica Acta*. **403**: 315–323.
- Fontàs, C., R. Tayeb, M. Dhahbi, E. Gaudichet, F. ThomINETTE, P. Roy, K. Steenkeste, M. Aupart, S. Tingry, E. Peyroz, and P. Seta. 2007. Polymer Inclusion Membranes: The Concept of Fixed Sites Membrane Revised. *Journal of Membrane Science*. **290**: 62–72.

- Hameed, B. H., and A. A. Rahman. 2008. Removal of Phenol from Aqueous Solutions by Adsorption Onto Activated Carbon Prepared from Biomass Material. *Journal of Hazardous Materials*. **160**: 576–581.
- Handayani dan Wuryanti. 2001. Sintesis Polieugenol dengan Katalis Asam Sulfat, *Jurnal Ilmu Dasar*, Vol. 2 No. 20:103-110.
- Handayani, D. S., T. Kusumaningsih, dan M. Yulia. 2004. Sintesis Kopolimer(Eugenol-DVB) Sulfonat dari Eugenol Komponen Utama Minyak Cengkeh (*Syzygium aromaticum*). *Biofarmasi*. **2**: 53–57.
- Harimu, L., S. Matsjeh, D. Siswanta, and S. J. Santosa. 2010. Sintesis Polieugenil Oksiasetat sebagai Pengemban untuk Pemisahan Ion Logam Berat Fe(III), Cr(III), Cd(II), Ni(II), Co(II) dan Pb(II) Menggunakan Metode Ekstraksi Pelarut. *Indo. J. Chem.* **10**: 69–74.
- Harjadi, W. 1993. *Ilmu Kimia Analitik Dasar*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Haswell, S.J. 1991. *Atomic Absorption Spectrometry*. Theory, Design and Application. 120-125 pp.
- Hudori, H. dan Yulianto, A. 2011. Penurunan Fenol Melalui Proses. *Jurnal Sains and Teknologi Lingkungan*, 3(1), 66–72.
- Huidong, Z., W. Biyu, W. Yanxiang, and R. Qilong. 2009. Instability Mechanisms of Supported Liquid Membrane for Phenol Transport. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. **17**: 750–755. Jakarta.
- Kalaiarasan, E., and T. Palvannan. 2014. Removal of Phenols from Acidic Environment by Horseradish Peroxidase (HRP): Aqueous Thermostabilization of HRP by Polysaccharide Additives. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. **45**: 625–634.
- 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*. Institute of Applied Chemistry The Hebrew University of Jerusalem Campus Givat. Israel.
- Kiswandono, A. A. 2016. Metode Membran Cair untuk Pemisahan Fenol. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. **1**: 74-88.
- Kiswandono, A.A., Siswanta, D., Aprilita, N.H., and Santosa, S.J. 2012. Transpor of Phenol Through Polymer Inclusion Membrane (PIM) Using Copoly(eugenol-DVB) as Membrane Carriers. *Indo. J. Chem* 12(2):105-112.
- Kiswandono, A.A. 2010. Studi Transpor Fenol dengan Menggunakan Membran Cair Polieugenol. Tesis. Kimia Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Kosela, S. 2010. Cara Mudah dan Sederhana Penentuan Struktur Molekul Berdasarkan Spektra Data (*NMR, Mass, IR, UV*). Penerbit Lembaga FE UI. Jakarta.

- Li, Z., M. Wu, Z. Jiao, B. Bao, and S. Lu. 2004. Extraction of Phenol from Wastewater by N-Octanoylpyrrolidine. *Journal of Hazardous Materials*. Pp. 111–114.
- Malusis, M. A., J. E. Maneval, E. J. Barben, C. D. Shackelford, and E. R. Daniels. 2010. Influence of Adsorption on Phenol Transport Through Soil-Bentonite Vertical Barriers Amended with Activated Carbon. *Journal of Contaminant Hydrology*. **116**: 58–72.
- Mohammadi, S., A. Kargari, H. Sanaeepur, K. Abbassian, A. Najafi, and E. Mofarrah. 2014. Phenol Removal from Industrial Wastewaters: A Short Review. *Desalination and Water Treatment*. **53**:1-20.
- Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membrane Technology*. 2nd Edition. Kluwer Academic Publisher. The Netherlands. 564 pp.
- 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 Membranes (PIMs). *Journal of Membrane Science*. **281**: 7–41. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Pereira, N., A. St John, R.W. Cattrall, J. M. Perera, and S. D. Kolev. 2009. Influence of The Composition of Polymer Inclusion Membranes on Their Homogeneity and Flexibility. *Desalination*. **236**: 327–333.
- Qin, Y., S. Peper, and E. Bakker. 2002. Plasticizer-Free Polymer Membrane Ion-Selective Electrodes Containing A Methacrylic Copolymer Matrix. *Electroanalysis*. **14**: 1375–1381.
- Raut, D. R., P. Kandwal, G. Rebello, and P. K. Mohapatra. 2012. Evaluation of Polymer Inclusion Membranes Containing Calix[4]-bis-2,3-naphtho-crown-6 for Cs Recovery from Acidic Feeds: Transport Behavior, Morphology and Modeling Studies. *Journal of Membrane Science*. **407**: 17–26.
- Senturk, H. B., D. Ozdes, A. Gundogdu, C. Duran, and M. Soylak. 2009. Removal of Phenol from Aqueous Solutions by Adsorption Onto Organomodified Tirebolu Bentonite: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Study. *Journal of Hazardous Materials*. **172**: 353–362.
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., and Crouch, S. R. 2004. *Fundamental of Analytical Chemistry, 9th Ed.* Brooks/Cool. USA.
- Slamet, S. Bismo, R. Arbianti, dan Z. Sari. 2006. Penyisihan Fenol dengan Kombinasi Proses Adsorpsi dan Fotokatalisis Menggunakan Karbon Aktif dan TiO₂. *Jurnal Teknologi*. **20**: 303–311.
- Smallman, R. E. 2000. *Metalurgi Fisik Modern Edisi Keempat*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Sousa, A. R. and M. A. Trancoso. 2009. Validation of An Environmental Friendly Segmented Flow Method for The Determination of Phenol Index in Waters as Alternative to The Conventional One. *Talanta*. **79**: 796–803.
- Stanisavljevic, M., and Nedic, L. 2004. Removal of Phenol from Industrial Wastewaters by Horseradish (*Cochlearia armoracia L*) Peroxidase. *Working and Living Environmental Protection*, **2**(4): 345-349.

- Trivunac, K., and S. Stevanovic. 2004. *Efficiency of Membrane Extraction of Phenol-4-Aminoantipyrine Complex with n-Alcohols*. *Desalination*. **163**: 61–67.
- 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**: 146–152.
- 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**: 146–152.
- Wang, L., R. Paimin, R. W. Cattrall, W. Shen, and S. D. Kolev. 2000. The Extraction of Cadmium(II) and Copper(II) from Hydrochloric Acid Solutions Using an Aliquat 336/PVC Membrane. *Journal of Membrane Science*. **176**: 105–111.