

FABRIKASI MEMBRAN *HYBRID POLYAMIDE-LIGNIN SELECTIVE LAYER* PADA SUBSTRAT KERAMIK TUBULAR DENGAN PROSES SIMULTAN *INTERFACIAL POLYMERIZATION* DAN *INNER-COATING* UNTUK APLIKASI PENGOLAHAN *PALM OIL MILL EFFLUENT* MELALUI PROSES PERVAPORASI

DISERTASI

**Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Doktor**



**RIANI AYU LESTARI, S.T, M.Eng.
2241213320001**

**PROGRAM DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Disertasi : Fabrikasi Membran *Hybrid Polyamide-Lignin Selective Layer* pada Substrat Keramik Tubular dengan Proses Simultan *Interfacial Polymerization* dan *Inner-Coating* untuk Aplikasi Pengolahan *Palm Oil Mill Effluent* melalui Proses Pervaporasi

Nama : Riani Ayu Lestari

NIM : 2241213320001

disetujui

Komisi Pembimbing



Prof Ir Muthia Elma, ST, M.Sc, Ph.D

Ketua



Assoc. Prof M Roil Bilad, ST, M.Sc.Eng, Ph.D

Anggota I



Dr. Ir. Isna Syauqiah, ST, MT

Anggota II

diketahui,

Direktur Pascasarjana ULM

Koordinator Prodi S3



Prof. Dr. Ir. Danang Biyatmoko, M.Si.
Tanggal Lulus:

Dr. Ir. Isna Syauqiah, ST, MT

Tanggal Wisuda:

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI DISERTASI

JUDUL DISERTASI:

FABRIKASI MEMBRAN *HYBRID POLYAMIDE-LIGNIN SELECTIVE LAYER* PADA SUBSTRAT KERAMIK TUBULAR DENGAN PROSES SIMULTAN *INTERFACIAL POLYMERIZATION* DAN *INNER-COATING* UNTUK APLIKASI PENGOLAHAN *PALM OIL MILL EFFLUENT* MELALUI PROSES PERVAPORASI

Nama : Riani Ayu Lestari
NIM : 2241213320001
Program Studi : Doktor Ilmu Lingkungan

KOMISI PEMBIMBING:

Ketua : Prof. Ir. Muthia Elma, ST, M.Sc, Ph.D
Anggota : Assoc. Prof M Roil Bilad, ST, M.Sc.Eng, Ph.D
Anggota : Dr. Ir. Isna Syauqiah, ST, MT

TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji 1 : Dr. Uripto Trisno Santoso, s.Si., M.Si
Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Nursiah Chairunnisa, ST., M.Eng
Dosen Penguji 3 : Dr. Eng. Ir. Apip Amrullah, ST., M.Eng
Dosen Penguji Tamu : Prof. Dr. Nasrul Arrahman, ST., MT

Tanggal Ujian : 22 Januari 2026
SK Penguji :

PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Riani Ayu Lestari

NIM : 2241213320001

Program Studi : Doktor Ilmu Lingkungan

Fakultas : Pascasarjana

Perguruan Tinggi: Universitas Lambung Mangkurat

Judul Disertasi : "Fabrikasi Membran Hibrid Polyamide-Lignin Selective Layer Pada Substrat Keramik Tubular Dengan Proses Simultan Interfacial Polymerization Dan Inner- Coating Untuk Aplikasi Pengolahan Palm Oil Mill Effluent Melalui Proses Pervaporasi"

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai tulisan dan pikiran saya sendiri, kecuali dicantumkan sebagai kutipan/acuan dalam naskah dengan disebutkan sumber kutipan/acuan dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan Disertasi ini hasil jiplakan, plagiasi maupun manipulasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sehat tanpa paksaan dari siapapun.

Banjarmasin, 2 Januari 2026

Yang membuat



Riani Ayu Lestari

2241213320001

LEMBAR PERSEMBAHAN

Disertasi ini saya persembahkan untuk:

*Ayahanda dan Ibunda, Suami dan anak-anak, serta adik-adik
tercinta*

*Pengkayaan khasanah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi
Keberlanjutan Lingkungan yang berkualitas dan mampu
menjaga kehidupan masa depan untuk Indonesia yang lebih
baik.*

RIWAYAT HIDUP PENULIS

Riani Ayu Lestari lahir pada 29 April 1986, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari Bapak Tajuddin Noor dan Ibu Gustri Frieda, bersekolah di SDN Banjarbaru Utara 2 lulus tahun 1997, kemudian lanjut ke SMPN 2 Banjarbaru lulus tahun 2000 dan meneruskan ke SMAN 1 Martapura lulus tahun 2003. Selanjutnya, meneruskan Pendidikan Sarjana di Program Studi Teknik Kimia Universitas Ahmad Dahlan lulus tahun 2007, kemudian melanjutkan Pendidikan Magister Teknik Kimia di program Studi Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada lulus tahun 2012. Pengalaman kerja sejak tahun 2017 hingga sekarang sebagai Dosen Program Studi Teknik Kimia di Universitas Lambung Mangkurat.

Banjarmasin, Januari 2026

Riani Ayu Lestari

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Prof Ir. Muthia Elma, ST., M.Sc., Ph.D, selaku promotor, Bapak Assoc. Prof .Muhammad Roil Bilad, ST., M.Sc-Eng, Ph.D, selaku co-promotor dan Ibu Dr. Ir. Isna Syauqiah, ST., MT selaku co-promotor yang telah membimbing sampai penulis bisa menyelesaikan disertasi ini
2. Bapak Dr Uripto Trisno Santoso, S.Si., M.Si, Ibu Dr Ir Nursiah Khairunnisa, ST., M.Eng, Dr-Eng Ir Apip Amrullah, ST., M.Eng selaku Penguji Internal dan Prof Nasrul Arrahman, ST., MT (Teknik Kimia- Universitas Syiah Kuala) selaku Penguji Eksternal
3. Koordinator, Sekretaris dan Staff pada Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Lambung Mangkurat, Ibu Dr. Ir. Isna Syauqiah, ST., MT, Ibu Anni Nurliani, S.Si., M.Sc., Ph.D dan Mba Serina yang selalu mendorong dan mengupayakan penulis dalam penyelesaian disertasi ini
4. Direktur Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat dan seluruh staff Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat
5. Bapak Rektor Universitas Lambung Mangkurat dan Bapak Dekan Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat
6. Rekan-rekan angkatan kelas yang telah kebersamai selama kurang lebih 3 tahun ini menjadi teman bercerita dalam lingkup studi dan saling memberi semangat
7. Teman-teman di Material Membrane Research Group (M²Reg), “Sang Pembelajar dan Pejuang riset membran yang visioner”
8. Kedua orangtua, suami, anak-anak dan adik-adik tercinta atas doa dan dukungan moril materil yang telah diberikan.

Banjarmasin, Januari 2026

Riani Ayu Lestari

RINGKASAN

Riani Ayu Lestari. 2241213320001. 2025. Program Doktor Ilmu Lingkungan. Pascasarjana. Universitas Lambung Mangkurat. Fabrikasi Membran *Hybrid Polyamide-Lignin Selective Layer* pada Substrat Keramik Tubular dengan Proses Simultan *Interfacial Polymerization* dan *Inner-Coating* untuk Aplikasi Pengolahan *Palm Oil Mill Effluent* melalui Pervaporasi. Pembimbing: Prof. Ir. Muthia Elma, ST., M.Sc., Ph.D; Assos. Prof. Muhammad Roil Bilad, ST., M.Sc.Eng, Ph.D; Dr. Ir. Isna Syaughiah, ST., MT.

Pengolahan dan pemanfaatan kembali air limbah berkontribusi sangat besar terhadap efisiensi konsumsi air dalam mengatasi permasalahan global kelangkaan air dan pencemaran lingkungan yang terus meningkat. *Polyamide* (PA) merupakan material membran yang tinggi selektivitas dan mudah dimodifikasi. Penambahan lignin berupa lignosulfonat (Lig) dalam matriks *polyamide selective layer* (PA SL) dapat meningkatkan permeasi dan selektivitas. Tujuan penelitian ini adalah menginvestigasi kemampuan membran PA/Lig SL pada substrat alumina (Al_2O_3) *tubular single-channel* untuk dekontaminasi organik *Palm Oil Mill Effluent* (POME) menjadi *water recycling* melalui proses pervaporasi (PV). Dekontaminasi POME dijalankan dalam proses pervaporasi tunggal dengan *feedwater* (FW) berupa POME dengan beberapa variasi suhu pervaporasi.

Metode penelitian mencakup: 1) persiapan larutan monomer *m-phenylenediamine* (MPD) dan *trimesoyl chloride* (TMC); 2) persiapan lignin dari lignosulfonat; 3) sintesis PA dari TMC, MPD dan Lig melalui reaksi *interfacial polymerization* (IP); 4) *Inner-coating* PA/Lig SL pada substrat Al_2O_3 ; 5) pengeringan PA/Lig SL- Al_2O_3 pada suhu 80°C; dan 6) mengaplikasikan membran melalui pervaporasi (PV). Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Material Membrane Research Group dan Laboratorium Instrumentasi Fakultas Teknik ULM, serta sampel POME diambil dari kolam di PT Mustika Sembuluh Kalimantan Tengah.

Hasil analisis menunjukkan kecenderungan lignin dapat terintegrasi ke dalam matriks poliamida terbukti dari puncak khas poliamida CONH dan ester pada hasil FTIR. Analisis SEM menunjukkan *selective layer* terbentuk pada bagian dalam permukaan substrat alumina tanpa adanya *intermediate layer* yang menunjukkan keberhasilan penetrasi ke dalam pori substrat sehingga meningkatkan kekuatan pelapisan. Performa membran pada penambahan lignin 0,75% memiliki nilai rejeksi warna dan kontaminan organik paling tinggi mendekati 90%, sementara konsentrasi lignin terkecil 0,25% memberikan nilai fluks paling tinggi sekitar 16 $\text{kg/m}^2\cdot\text{jam}$ pada suhu *feedwater* 30°C lebih tinggi dari fluks PA-SL murni sekitar 13 $\text{kg/m}^2\cdot\text{jam}$. Adanya peningkatan suhu *feedwater* mempengaruhi proses filtrasi, semakin tinggi suhu maka nilai fluks dan rejeksi semakin meningkat. Kualitas permeat mendekati syarat standar air proses. Proses kogulasi-pervaporasi terintegrasi lebih disarankan untuk menjaga kualitas dan masa pakai membran.

Kata Kunci: POME, kontaminan organik, warna, membran poliamida-lignin, pervaporasi

SUMMARY

Riani Ayu Lestari. 2241213320001. 2025. Doctoral Program of Environmental Science. Postgraduate Faculty. University of Lambung Mangkurat. Fabrication of Hybrid Membrane Polyamide-Lignin Selective Layer on Tubular Ceramic Substrate via Simultaneous Interfacial Polymerization and Inner Coating Process for Palm Oil Mill Effluent Treatment through Pervaporation. Supervisors: Prof. Ir. Muthia Elma, ST., M.Sc., Ph.D; Assos. Prof. Muhammad Roil Bilad, ST., M.Sc.Eng., Ph.D.; Dr. Ir. Isna Syauqiah, ST., MT.

The treatment and reuse of wastewater contribute significantly to the efficiency of water consumption in addressing global issues such as water scarcity and increasing environmental pollution. Polyamide (PA) is a membrane material known for its high selectivity and ease of modification. The addition of lignin in the form of lignosulfonate (Lig) in the polyamide selective layer (PA SL) matrix can enhance permeability and selectivity. The aim of this study is to investigate the performance of the PA/Lig SL membrane on a single-channel alumina (Al_2O_3) tubular substrate for the decontamination of organic Palm Oil Mill Effluent (POME) into water recycling through the pervaporation (PV) process. The decontamination of POME was conducted in a single pervaporation process with feedwater (FW) consisting of POME, with varying pervaporation temperatures and pretreatment variations.

The research methods include: 1) preparation of m-phenylenediamine (MPD) and trimesoyl chloride (TMC) monomer solutions; 2) preparation of lignin from lignosulfonate; 3) PA synthesis from TMC, MPD, and Lig via interfacial polymerization (IP) reaction; 4) inner-coating of PA/Lig SL on the Al_2O_3 substrate; 5) drying of PA/Lig SL- Al_2O_3 at 80°C ; and 6) application of the membrane through pervaporation (PV). The feedwater was artificial saline water, and the POME sample was taken from the anaerobic pond at PT Mustika Sembuluh, Kalimantan Tengah.

The analysis results showed that lignin could integrate into the polyamide matrix, as evidenced by the characteristic polyamide CONH and ester peaks in the FTIR results. SEM analysis revealed that the selective layer was formed on the inner surface of the alumina substrate without an intermediate layer, indicating successful penetration into the substrate pores, thereby improving the coating strength. The membrane performance with 0.75% lignin addition showed the highest rejection of color and organic contaminants, approaching 90%, while the lowest lignin concentration of 0.25% provided the highest flux value of around $16 \text{ kg/m}^2\cdot\text{h}$ at a feedwater temperature of 30°C , which was higher than the pure PA-SL flux of around $13 \text{ kg/m}^2\cdot\text{h}$. An increase in feedwater temperature affected the filtration process, with higher temperatures leading to increased flux and rejection values. The permeate quality approached the required standards for process water. The integrated coagulation-pervaporation process is recommended to maintain membrane quality and lifespan.

Keywords: POME, organic contaminant, color, polyamide-lignin membrane, pervaporation

Known by,
Dissertation Supervisor

Prof. Ir. Muthia Elma, ST., M.Sc., Ph.D

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga laporan hasil disertasi berjudul "**Fabrikasi Membran *Hybrid Polyamide-Lignin Selective Layer* pada Substrat Keramik Tubular dengan Proses Simultan *Interfacial Polymerization* dan *Inner-Coating* untuk Aplikasi Pengolahan *Palm Oil Mill Effluent* melalui Pervaporasi**" dapat diselesaikan.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, dorongan, dan bimbingan dari berbagai pihak, penyusunan naskah seminar hasil disertasi ini tidak akan dapat terwujud. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Lambung Mangkurat (ULM) yang telah memberikan kesempatan untuk melanjutkan studi pada jenjang doktoral, serta memberikan fasilitas yang sangat membantu dalam proses penelitian ini.
2. Promotor Prof. Ir. Muthia Elma, ST., M.Sc., Ph.D, Co-promotor Assos. Prof. Dr. Muhammad Roil Bilad, ST., M.Sc., Ph.D dan Co- promotor Dr. Ir. Isna Syauqiah, ST., MT yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berharga dalam penyusunan hasil disertasi ini.
3. Bapak Dr Uripto Trisno Santoso, S.Si., M.Si, Ibu Dr Ir Nursiah Khairunnisa, ST., M.Eng, Dr-Eng Ir Apip Amrullah, ST., M.Eng selaku Pengui Internal dan Prof Nasrul Arrahman, ST., MT (Teknik Kimia - Universitas Syiah Kuala) selaku Penguji Eksternal.

4. Grup riset penelitian M2Reg (Material and Membrane Research Group) yang telah mendukung moril dan materiil dan teman-teman Doktor Ilmu Lingkungan ULM, terimakasih atas kebersamaannya.
5. Keluarga yang senantiasa memberikan dukungan moril dan doa, yang menjadi sumber semangat dan kekuatan dalam pelaksanaan penelitian ini. Terimakasih berkenan melapangkan atas “hari-hari yang hilang”, kepada suami Rudi Purwono, ST; Abah Ir. Tajuddin Noor, MS (alm); Mama Gusti Frieda Agustina, adik Rianti Indah Lestari, ST., M.Sc., adik apt. Riantriana Fahrida Lestari, S.Farm serta anak-anak sholehah Raisha Adelia Dzakiyah dan Raihana Azzahra Dzamira.

Semoga disertasi ini dapat memberikan manfaat yang besar bagi perkembangan ilmu pengetahuan, serta dapat menjadi dasar bagi penelitian-penelitian selanjutnya yang relevan. Saran konstruktif senantiasa penulis harapkan untuk perbaikan disertasi ini.

Banjarbaru, Januari 2026

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI DISERTASI	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI.....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
RIWAYAT HIDUP PENULIS	vi
UCAPAN TERIMAKASIH.....	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	6
1.4. Manfaat Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Membran <i>Polyamide selective layer</i>	8
2.2. Monomer MPD.....	8
2.3. Monomer TMC	9
2.4. Fase organik dan fase <i>aqueous</i> dalam <i>Interfacial Polymerization (IP)</i>	9
2.5. Substrat alumina tubular	10
2.6. Proses IP	11
2.7. Integrasi lignin.....	13
2.8. <i>Inner coating</i>	16
2.9. Proses koagulasi-PV	17
2.10. Aplikasi Membran PA-SL dalam Proses PV.....	21
2.11. <i>Water Recycling</i> dengan Teknologi Membran	23
2.12. Analisis kontaminan organik dalam POME	25
III. KERANGKA KONSEP PENELITIAN	30

3.1. Landasan Teori	30
3.2. Kerangka Pemikiran	34
3.3. Hipotesis Penelitian	35
3.4. Kerangka Operasional Pelaksanaan Penelitian.....	35
3.5. Kerangka Analisis Penelitian.....	36
3.6. Definisi Operasional dan Pengukuran Variabel	36
3.7. Kebaharuan Penelitian	37
IV. METODOLOGI PENELITIAN.....	39
4.1. Tempat Pelaksanaan	39
4.2. Alat dan Bahan	39
4.2.1. Alat	39
4.2.2. Bahan	40
4.2.3. Rangkaian Alat	40
4.3. Variabel Penelitian.....	44
4.4. Metode Penelitian	46
4.4.1. Fabrikasi membran	46
4.4.2. Preparasi Feedwater.....	49
4.4.3. Aplikasi Membran PA/Lig SL- Al ₂ O ₃ melalui Proses PV	49
4.5. Karakterisasi Membran.....	51
4.5.1. Preparasi Sampel PA	51
4.5.2. Analisis FTIR	52
4.5.3. Analisis SEM-EDX	52
4.6. Karakterisasi <i>Feedwater</i> dan Permeat	52
4.6.1. Analisis Fluks dan Rejeksi	52
4.6.2. Interpretasi Kontaminan POME dari Nilai Spektrofotometri.....	53
V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	62
5.1. Analisis FTIR	62
5.1.1. Pengaruh Gugus Fungsi terhadap Variasi Monomer MPD dan TMC..	62
5.1.2. Pengaruh Gugus Fungsi pada Penambahan Lignin dalam Matriks PA	65
5.2. Analisis SEM-EDX	70
5.3. Analisis TGA	81
5.4. Performa Transportasi Air Murni	85
5.5. Fluks dan Rejeksi Desalinasi	91
5.6. Fluks dan Rejeksi Limbah POME	98

5.7. Analisis Kualitas Air melalui analisis Spektrofotometri UV-Vis.....	114
VI. IMPLIKASI HASIL PENELITIAN	127
6.1. Implikasi Teoritis.....	127
6.2. Implikasi Praktis	128
VII. PENUTUP.....	129
7.1. Kesimpulan.....	129
7.2. Saran	130
DAFTAR PUSTAKA	133
LAMPIRAN.....	151
A. Surat Keterangan Plagiasi.....	151
B. Surat Keterangan Ringkasan Disertasi Bahasa Inggris	151
C. Data Hasil Penelitian	153
C.2. Menghitung Kondisi Vakum selama PV	153
C.3. Menghitung Pure Water Flux	154
C.4. Menghitung Rejeksi.....	155
D. Dokumentasi Penelitian	163

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbandingan metode katarakterisasi limbah POME	27
Tabel 2.2. Kualitas POME dari beberapa parameter dan korelasi antar parameter	28
Tabel 3.1. Modifikasi Membran PA SL	32
Tabel 4.1. Tahapan dan Tempat Pelaksanaan Penelitian	39
Tabel 4.2. Variabel Penelitian	44
Tabel 4.3. Variasi komposisi membran.....	45
Tabel 4.4. Rentang Absorbansi UV-Vis untuk Karakterisasi Air Limbah dan Interpretasinya.....	56
Tabel 4.5. Korelasi Nilai Spektrofotometri dengan karakteristik kandungan organik air limbah	60
Tabel 5.1. Karakteristik limbah POME, POME terkoagulasi, akuades dan standar mutu air proses.....	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Pengolahan POME konvensional dengan Sistem Kolam.....	2
Gambar 1.2.	Siklus aliran air terintegrasi antara pabrik CPO dan pengolahan limbah.....	2
Gambar 2.1.	Substrat alumina tubular.....	10
Gambar 2.2.	Mekanisme reaksi Interfacial Polymerization pembentukan PA SL dari monomer diamina dan monomer asil klorida.....	12
Gambar 2.3.	Profil transfer massa MPD dan TMC dalam pembentukan film poliamida selama proses polimerisasi antarmuka	13
Gambar 2.4.	Proses pembentukan selective layer poliamida pada proses interfacial polymerization a) tanpa dan b) dengan modifikasi lignin.....	14
Gambar 2.5.	Mekanisme reaksi interfacial polymerization poliamida termodifikasi lignosulfonat.....	15
Gambar 2.6.	Pembentukan Bertahap Membran Komposit Film Tipis Poliamida pada Penyangga Membran melalui Polimerisasi Antarmuka	17
Gambar 2.7.	Ilustrasi matriks membran poliamida pada berbagai metode modifikasi	22
Gambar 2.8.	Mekanisme Transportasi dalam membran selective layer (lapis tipis).....	23
Gambar 3.1.	Alur Kerangka Berpikir Penelitian.....	34
Gambar 3.2.	Kerangka Operasional Penelitian	37
Gambar 4.1.	Rangkaian Alat Inner Coating.....	41
Gambar 4.2.	Rangkaian Alat PV	41
Gambar 4.3.	Skematik Sintesis dan Aplikasi Membran Poliamida-lignin untuk Aplikasi Pengolahan POME.....	46
Gambar 4.4.	Penyimpanan membran poliamida alumina substrat dalam akuades	48
Gambar 4.5.	Dead end system	50

Gambar 4.6. a) Proses pembentukan lapisan film poliamida; b) poliamida menyerupai kapas jika diambil dari solventnya, c) poliamida yang dikeringkan untuk analisis	51
Gambar 4.7. Preparasi sampel SEM-EDX	52
Gambar 4.8. Kurva graduasi 0-500 mg Pt-Co L-1	61
Gambar 5.1. Grafik FTIR Membran PA dengan kombinasi monomer MPD konstan 1-%b/v dan variasi MPD 0,5; 1 dan 2-%b/v	63
Gambar 5.2. Grafik FTIR pada lignin, poliamida dan poliamida termodifikasi lignin dengan variasi lignin 0,25; 0,5 dan 0,75-%b/v.....	67
Gambar 5.3. Morfologi membran PA termodifikasi lignin.....	71
Gambar 5.4. Analisis EDX pada membran PA termodifikasi lignin	75
Gambar 5.5. Analisis TGA pada variasi MPD.....	82
Gambar 5.6. Fluks Air Murni proses pervaporasi menggunakan membran PA murni dengan variasi konsentrasi a) MPD 1-%b/v dan variasi TMC 0,5; 1 dan 2-%b/v dan b) TMC 1-%b/v dan variasi MPD 0,5; 1 dan 2-%b/v	86
Gambar 5.7. Fluks air murni selama pervaporasi pada PA murni, membran PA dan PA termodifikasi dengan variasi lignin 0,25; 0,5 dan 0,75-%b/v	89
Gambar 5.8. Fluks dan rejeksi proses desalinasi pervaporasi menggunakan membran PA dengan konsentrasi MPD 1-%b/v dan variasi TMC 0,5; 1 dan 2-%b/v.....	92
Gambar 5.9. Fluks dan rejeksi proses desalinasi pervaporasi menggunakan membran PA dengan konsentrasi TMC 1-%b/v dan variasi MPD 0,5; 1 dan 2-%b/v.....	94
Gambar 5.10. Fluks dan rejeksi selama pervaporasi desalinasi feedwater air garam artifisial dengan konsentrasi NaCl 0,3%-b/v menggunakan substrat alumina, membran PA dan PA termodifikasi dengan variasi lignin 0,25; 0,5 dan 0,75-%b/v.....	96
Gambar 5.11. Sampel raw POME dan POME setelah proses koagulasi	101

Gambar 5.12. Analisis spektrofotometri kontaminan organik POME pada panjang gelombang 250, 254, 280, 365, 465, dan 665 dengan standar masing-masing gelombang pada Tabel 4.4.....	103
Gambar 5.13. Grafik fluks membran PA tanpa modifikasi dan PA termodifikasi dengan variasi lignin 0,25; 0,5 dan 0,75%-b/v pada variasi suhu feedwater POME 30, 55 dan 80°C.....	106
Gambar 5.14. Grafik perubahan warna POME dengan korelasi larutan standar Pt-Co (mg/l)	109
Gambar 5.15. Grafik rejeksi kontaminan organik POME dengan analisis spektrofotometri pada panjang gelombang 250, 254, 280, 365, 450 dan 665 dengan variasi membran M0, M1, M2 dan M3 pada 30, 55, dan 80 °C	110
Gambar 5.16. Grafik rejeksi konduktivitas, TDS, BOD dan COD membran PA pada variasi suhu feedwater POME dan variasi membran M0, M1, M2, dan M3	112
Gambar 5.17. Rasio E2/E3; E2/E4 dan E4/E5 pada suhu pervaporasi 30°C	117
Gambar 5.18. Rasio E2/E3; E2/E4 dan E4/E5 pada suhu pervaporasi 55°C	118
Gambar 5.19. Rasio E2/E3; E2/E4 dan E4/E5 pada suhu pervaporasi 80°C	121

DAFTAR SINGKATAN

BOD	: <i>Biochemical Oxygen Demand</i>
BOD ₅	: <i>Biochemical Oxygen Demand</i> selama 5 hari
COD	: <i>Chemical Oxygen Demand</i>
CPO	: <i>Crude Palm Oil</i>
CTP	: <i>Conventional Thermal Processing</i>
DOC	: <i>Dissolved Organic Carbon</i>
dEfOM	: <i>Dissolved Effluent Organic Matter</i>
EDX	: <i>Energy Dispersive X-ray</i>
EFB	: <i>Empty Fruit Bunch</i> (tandan kosong kelapa sawit)
SEM	: <i>Field Emission Scanning Electron Microscopy</i>
FTIR	: <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>
FW	: <i>Feedwater</i>
HCl	: Hidrogen klorida
IL	: <i>Ionic Liquid</i>
IP	: <i>Interfacial Polymerization</i>
Lig	: Lignosulfonat
MPD	: <i>m-phenylenediamine</i>
NaCl	: Natrium klorida
NF	: Nanofiltrasi
PA	: Poliamida (<i>Polyamide</i>)
PA-SL	: <i>Polyamide Selective Layer</i>
PA/Lig SL	: <i>Polyamide–Lignin Selective Layer</i>
PAC	: <i>Poly Aluminium Chloride</i>
PDA	: <i>Polydopamine</i>
PEI	: <i>Polyethylenimine</i>
POME	: <i>Palm Oil Mill Effluent</i>
PSf	: <i>Polysulfone</i>

PV	: Pervaporasi
RO	: <i>Reverse Osmosis</i>
SEM	: <i>Scanning Electron Microscopy</i>
SL	: <i>Selective Layer</i>
SUVA ₂₅₄	: <i>Specific Ultraviolet Absorbance pada 254 nm</i>
TDS	: <i>Total Dissolved Solids</i>
TGA	: <i>Thermogravimetric Analysis</i>
TMC	: <i>Trimesoyl Chloride</i>
UF	: Ultrafiltrasi
UV-Vis	: <i>Ultraviolet–Visible Spectrophotometry</i>