

SKRIPSI
PENERAPAN MEMBRAN
FOTOKATALITIK $\text{CuO@CeO}_2/\text{PET}$
DENGAN AKTIVASI
PEROKSIMONOSULFAT UNTUK
DEGRADASI *ACID BLUE*



Oleh :

PUTRI REDITA ROSITASARI
NPM. 20034010015

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN
TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JATIM
SURABAYA
TAHUN 2024

**PENERAPAN MEMBRAN FOTOKATALITIK
CuO@CeO₂/PET DENGAN AKTIVASI
PEROKSIMONOUFAT UNTUK DEGRADASI ACID BLUE**

SKRIPSI



Oleh :

PUTRI REDITA ROSITASARI
NPM. 20034010015

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN**

SURABAYA

2024

**PENERAPAN MEMBRAN FOTOKATALITIK
CuO@CeO₂/PET DENGAN AKTIVIASI
PEROKSIMONOUFAT UNTUK DEGRADASI ACID BLUE**

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Lingkungan pada Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur**



OLEH

PUTRI REDITA ROSITASARI

NPM. 20034010015

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR

FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

SURABAYA

2024

LEMBAR PERSETUJUAN
PENERAPAN MEMBRAN FOTOKATALITIK
CuO@CeO₂/PET DENGAN AKTIVIASI
PEROKSIMONOUFAT UNTUK DEGRADASI ACID BLUE

Disusun Oleh :

PUTRI REDITA ROSITASARI

NPM. 20034010015

Telah disetujui untuk mengikuti penelitian/verifikasi artikel ilmiah

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Tuhu Agung Rachmanto, M.T.

NIP. 19620501 198803 1 001

Aussie Amalia, S.T., M.Sc.

NIP/NPT. 172 1992 1124 059

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik dan Sains

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P.

NIP. 19650403 199103 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENERAPAN MEMBRAN FOTOKATALITIK
CuO@CeO₂/PET DENGAN AKTIVIASI
PEROKSIMONOUFAT UNTUK DEGRADASI ACID BLUE**

Disusun Oleh:

PUTRI REDITA ROSITASARI

NPM. 20034010015

**Telah diuji kebenarannya oleh Tim Penguji dan diterbitkan pada
Jurnal Presipitasi (Terakreditasi SINTA 2)**

PEMBIMBING 1

Menyetujui,

TIM PENGUJI

1. Ketua

Ir. Tuhu Agung Rachmanto, M.T.
NIP. 19620501 198803 1 001

Dr. Ir. Munawar Ali, M.T.
NIP. 19600401 198803 1 001

PEMBIMBING 2

2. Anggota

Aussie Amalia, S.T., M.Sc.
NIP/NPT. 172 1992 112 059

Firra Rosariawati, S.T., M.T.
NIPPPK. 19750409 202121 2 004

**Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur**

Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P.
NIP. 19650403 199103 2 001

LEMBAR REVISI

**PENERAPAN MEMBRAN FOTOKATALITIK
CuO@CeO₂/PET DENGAN AKTIVIASI
PEROKSIMONOUFAT UNTUK DEGRADASI ACID BLUE**

Disusun Oleh:

PUTRI REDITA ROSITASARI


NPM. 20034010015


Telah direvisi dan disahkan pada tanggal 10 Desember 2024

TIM PENILAI

KETUA

ANGGOTA


Dr. Ir. Munawar Ali, M.T.
NIP. 19600401 198803 1 001


Firra Rosariawari, S.T., M.T.
NIPPPK. 19750409 202121 2 004

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Putri Redita Rositasari
NIM : 20034010015
Fakultas : Teknik dan Sains
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul Skripsi : "Penerapan Membran Fotokatalitik CuO@CeO₂ Dengan Aktivasi Peroksimonosulfat Untuk Degradasi *Acid Blue*"

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Hasil karya yang saya serahkan ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik baik di UPN "Veteran" Jawa Timur maupun di institusi pendidikan lainnya.
2. Hasil karya saya ini merupakan gagasan, rumusan, dan hasil pelaksanaan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan pembimbing akademik.
3. Hasil karya saya ini merupakan hasil revisi terakhir setelah diujikan yang telah diketahui dan di setujui oleh pembimbing.
4. Dalam karya saya ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali yang digunakan sebagai acuan dalam naskah dengan menyebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari terbukti ada penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini maka saya bersedia menerima konsekuensi apapun, sesuai dengan ketentuan yang berlaku di UPN "Veteran" Jawa Timur.

Surabaya, 10 Desember 2024

Yang Menyatakan,



Putri Redita Rositasari

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan berkat-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Penerapan Membran Fotokatalitik CuO@CeO₂/PET Dengan Aktivasi Peroksimonosulfat Untuk Degradasi Acid Blue” ini dengan baik. Dalam penyusunan laporan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P., selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur;
2. Firra Rosariawari, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur;
3. Ir. Tuhu Agung Rachmanto, M.T., dan Aussie Amalia, ST., MSc. selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa membantu dan mengarahkan dalam setiap proses pengerjaan skripsi ini
4. Professor Sheng-Jie You dan Professor Ya-Fe Wang selaku *advisor* dan fasilitator dalam melaksanakan penelitian ini di Chung Yuan Christian University
5. Samson selaku *supervisor* yang senantiasa membimbing, mendukung, membantu dan memberikan saran selama proses penelitian di Chung Yuan Christian University
6. Kedua orang tua dan adik yang selalu mendoakan mendukung, dan menemani dalam setiap proses pengerjaan skripsi ini.
7. Seluruh Dosen dan Staff Pengajar Program Studi Teknik Lingkungan yang telah membagikan ilmu di dalam kelas maupun saat diskusi.
8. Teman – teman angkatan 2020 yang selalu kebersamai selama perkuliahan sampai pengerjaan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis menyampaikan terima kasih dan maaf akan banyaknya kekurangan dalam penyusunan laporan akhir skripsi ini. Penulis juga sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun demi perbaikan penyusunan berikutnya. Semoga proposal ini dapat bermanfaat, khususnya dunia ilmu pengetahuan pada umumnya.

Surabaya, 10 Desember 2024

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah perjalanan ini tidak mudah, tapi jadi terasa lebih ringan karena dukungan dari teman-teman terbaik yang selalu ada di sisi saya.

Saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Rahmadini dan Sholi yang selalu menemani di saat senang maupun stres, mendengarkan curhat tidak habis-habis, dan selalu kasih semangat selama di Taiwan
2. Adella Neta dan Lisa Dwi yang selalu menemani penulis dan memberikan banyak hadiah setiap momen keberhasilan penulis.
3. Yu-ching, Lin, Mas Wisnu, Mbak Rachma, Mbak Laili, Mbak Icha, Mbak Dian, Kevin, Bu Dwi, Bu Anisa, Aubrey, Jack, dan Mas Sultan yang tidak pernah pelit berbagi ilmu, diskusi, atau sekadar jadi teman begadang bareng di Lab CYCU dan mengajak membeli jajan di night market.
4. Teman – teman internship (Sunny, Rosie, Diva, Isna, Hefty, Starest, Chi, dan Enji) yang selalu memberikan semangat supaya penelitian cepat selesai. Terima kasih untuk obrolan-obrolan random yang bikin stres hilang sejenak.
5. Barudak Well (Azizah, Pandu, Ilham, Sholi) selalu menemani sepanjang perjalanan penulis dari semester 4 selalu menghibur dalam setiap gundah gulana penulis.

Terima kasih karena kalian semua tidak cuma jadi teman belajar, tapi juga keluarga selama perjalanan ini.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	x
ABSTRAK	xi
<i>ABSTRACT</i>	xii
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB 2	4
TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 <i>Catalytic Membrane Reactors (CMRs)</i>	4
2.1.1 <i>Photo-catalytic Membrane Reactors (PCMR)</i>	5
2.1.2 Mekanisme Fotokatalis dan Proses Membran	7
2.2 Membran	9
2.2.1 Membran Polimer	11
2.3 Aktivasi Peroksimonosulfat (PMS).....	12
2.4 Katalis.....	15
2.4.1 Tembaga (II) Oksida (CuO).....	16

2.5	Metode Pembuatan Membran.....	19
2.5.1	<i>Casting</i>	19
2.5.2	Inversi Fasa.....	21
2.5.3	<i>Dip Coating</i>	22
2.6	Polutan Organik Dalam Air Limbah.....	23
2.6.1	<i>Dyes</i>	23
2.7	Penelitian Terdahulu.....	26
BAB 3		31
METODOLOGI PENELITIAN.....		31
3.1	Kerangka Penelitian.....	31
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	33
3.3	Pelaksanaan Penelitian.....	33
3.4	Alat dan Bahan.....	34
3.4.1	Alat Penelitian.....	34
3.3.2	Bahan Penelitian.....	37
3.5	Prosedur Penelitian.....	40
3.4.1	Pembuatan Membran Botol PET.....	40
3.4.2	Sintesis CuO@CeO ₂	41
3.4.3	Proses <i>Dip Coating</i> Membran.....	42
3.4.4	Degradasi Fotokatalitik dan Aktivasi PMS pada <i>Acid Blue</i>	42
3.4.5	Uji Fluks Air.....	44
3.6	Variabel.....	44
3.5.1	Pembuatan Membran dengan metode Inversi Fasa.....	44
3.5.2	Sintesis CuO@CeO ₂	45
3.5.3	Fotokatalis Test.....	46

3.7	Analisis	47
3.6.1	Analisis SEM	47
3.6.2	Analisis FTIR	47
3.6.3	Analisis XRD	47
3.6.4	Analisis Uji Degradasi <i>Acid Blue 260</i>	47
3.6.5	Uji Kinerja Membran.....	47
3.8	Jadwal Kegiatan	49
BAB 4	50
HASIL DAN PEMBAHASAN	50
4.1	Hasil Penelitian.....	50
4.1.1	Hasil Penelitian Water Contact Angle ($^{\circ}$) Membran <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET).....	50
4.1.2	Hasil Penelitian Uji Laju Aliran (<i>water flux</i>) Membran PET	51
4.1.3	Hasil Fotodegradasi Acid Blue	53
4.2	Pembahasan	54
4.2.1	Pengaruh Variasi Co-Polymer Membran PET terhadap Hidrofilitas Membran.....	54
4.2.2	Pengaruh Variasi Co-Polymer dan Coating Katalis CuO@CeO ₂ terhadap Uji Laju Aliran Membran PET	57
4.2.3	Fotodegradasi Acid Blue.....	59
4.2.3.1	Fotodegradasi Acid Blue dengan CuO@CeO ₂ /PET	60
4.2.3.2	Fotodegradasi Acid Blue dengan CuO@CeO ₂ /PET dan Aktivasi Peroksimonosulfat (PMS).....	62
4.3	Analisis FTIR	64
4.4	Analisis XRD.....	66
BAB 5	68

KESIMPULAN DAN SARAN.....	68
5.1 Kesimpulan.....	68
5.2 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....	70
LAMPIRAN A.....	79
Hasil Analisis/Pengukuran.....	79
LAMPIRAN B.....	85
Perhitungan.....	85
B.1 Perhitungan Konsentrasi Acid Blue.....	85
B.2 Perhitungan Water Flux.....	85
LAMPIRAN C.....	86
Dokumentasi.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Catalytic membranes	4
Gambar 2. 2 (a) Slurry Photocatalytic Membrane Reactor , (b) Immobilized Photocatalytic Membrane Reactor	6
Gambar 2. 3 (a). Mekanisme degradasi fotokatalitik polutan, (b) mekanisme fotokatalitik melalui fotokatalis CuO@CeO ₂	8
Gambar 2. 4 Skema unit membran untuk pemisahan.....	10
Gambar 2. 5 Ilustrasi Membran berbahan dasar Botol PET.....	11
Gambar 2. 6 Reaksi redoks yang melibatkan peroksimonosulfat dan katalis logam transisi heterogen	13
Gambar 2. 7 Ilustrasi skema yang menunjukkan proses sintesis CuO–CeO ₂	15
Gambar 2. 8 Struktur Tembaga (II) Oksida	17
Gambar 2. 9 Struktur Cerium Oksida	18
Gambar 2. 10 Casting	19
Gambar 2. 11 Skema untuk memperoleh membran dari rPET atau kopolimer berbasis PET dengan pemisahan fase yang diinduksi non-pelarut	21
Gambar 2. 12 Dip Coating.....	22
Gambar 2. 13 Struktur Acid Blue 260	25
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 3. 2 Langkah- Langkah Penelitian.....	33
Gambar 3. 3 Pembuatan Membran dari Botol PET.....	40
Gambar 3. 4 Prosedur CuO@CeO ₂	41
Gambar 3. 5 Ilustrasi Dip Coating Membran.....	42
Gambar 3. 6 Ilustrasi Fotokatalis Test.....	42
Gambar 3. 7 Ilustrasi Uji Fluks Air.....	44
Gambar 4. 1 Tipe Pewarna	24
Gambar 4. 2 Struktur Acid Blue	25
Gambar 4. 3 Hubungan Antara Water Contact Angle dengan co-polymer membran pada kondisi sebelum & sesudah coating	55
Gambar 4. 4 Pengaruh Co-Polymer membran PET sebelum dan sesudah coating terhadap Laju Aliran (Water Flux)	57

Gambar 4. 5 Pengaruh Co-Polymer membran PET sebelum dan sesudah penambahan Peroksimonosulfat terhadap Removal Acid blue	60
Gambar 4. 6 Removal Acid Blue menggunakan membran CuO@CeO ₂ /PET	61
Gambar 4. 7 Removal Acid Blue menggunakan membran CuO@CeO ₂ /PET dengan penambahan peroksimonosulfat	63
Gambar 4. 8 Hasil pengujian FTIR CuO@CeO ₂	65
Gambar 4. 9 Hasil Pengujian XRD CuO@CeO ₂	66
Gambar 4. 10 SEM Membran PET	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	26
Tabel 3. 1 Alat Penelitian	34
Tabel 3. 2 Komposisi Membran	45
Tabel 3. 3 Komposisi Sintesis CuO@CeO ₂	46
Tabel 3. 4 Jadwal Kegiatan Penelitian.....	49
Tabel 4. 1 Pengaruh Co-Polymer Membran PET terhadap.....	50
Tabel 4. 2 Pengaruh Co-Polymer Membran PET terhadap Uji Laju Aliran (Water Flux) Membran.....	52
Tabel 4. 3 Hasil Fotodegradasi Acid Blue sebelum dan sesudah penambahan peroksimonosulfat	53

ABSTRAK

Limbah cair industri mengandung polutan organik berbahaya seperti pewarna methylene blue, rhodamine B, Acid Blue, dan Remazol yang sulit terurai secara alami, mencemari air, mengganggu ekosistem akuatik, dan bersifat toksik. Pewarna azo seperti Acid Blue bahkan dapat terurai menjadi senyawa karsinogenik, sedangkan Remazol dapat membentuk senyawa kompleks yang sulit didegradasi, sehingga teknologi pengolahan air limbah yang efektif sangat diperlukan. Penelitian ini mengembangkan reaktor membran katalitik berbasis $\text{CuO@CeO}_2/\text{PET}$ yang diaktivasi dengan peroksimonosulfat (PMS) untuk meningkatkan degradasi polutan organik dalam air limbah. Membran ini menggabungkan sifat hidrofilik PET dengan aktivitas fotokatalitik CuO@CeO_2 , yang ditingkatkan melalui penambahan polivinilpirolidon (PVP) dan polietilen glikol (PEG). Penambahan PVP 0,4 g menunjukkan peningkatan hidrofilitas signifikan dengan penurunan water contact angle, yang mendukung efisiensi aplikasi filtrasi air. Selain itu, membran dengan konsentrasi PVP ini mencapai water flux sebesar 47,4 L/m².jam, menunjukkan permeabilitas tinggi untuk aplikasi beraliran cepat. Pada uji fotodegradasi terhadap Acid Blue, kombinasi membran PET dengan PVP 0,8 g yang diaktivasi PMS menunjukkan efisiensi degradasi tertinggi, mencapai 97,32%. Efisiensi ini berasal dari sinergi antara CuO@CeO_2 dengan PMS yang menghasilkan spesies oksigen reaktif (ROS) yang efektif untuk degradasi polutan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa membran katalitik $\text{CuO@CeO}_2/\text{PET}$ yang dimodifikasi memiliki potensi besar untuk pengolahan limbah yang lebih bersih, efisien, dan berkelanjutan, serta sebagai solusi teknologi bagi pengurangan polusi industri.

Kata Kunci:

Polutan organik, fotokatalitik, membran katalitik, $\text{CuO@CeO}_2/\text{PET}$, peroksimonosulfat (PMS), degradasi pewarna, teknologi pengolahan air.

ABSTRACT

Industrial wastewater contains hazardous organic pollutants such as dyes like methylene blue, rhodamine B, Acid Blue, and Remazol, which are difficult to decompose naturally, pollute water, disrupt aquatic ecosystems, and exhibit toxicity. Azo dyes such as Acid Blue can even break down into carcinogenic compounds, while Remazol forms complex compounds that are hard to degrade, underscoring the need for effective wastewater treatment technologies. This research develops a catalytic membrane reactor based on CuO@CeO₂/PET activated with peroxymonosulfate (PMS) to enhance the degradation of organic pollutants in wastewater. The membrane combines the hydrophilic properties of PET with the photocatalytic activity of CuO@CeO₂, enhanced by the addition of polyvinylpyrrolidone (PVP) and polyethylene glycol (PEG). The addition of 0.4 g PVP significantly increases hydrophilicity, evidenced by a reduction in water contact angle, making the membrane suitable for water filtration applications. Additionally, the membrane with this PVP concentration achieved a water flux of 47.4 L/m².h, demonstrating high permeability for fast-flow applications. In the photodegradation test on Acid Blue, a combination of PET membrane with 0.8 g PVP activated by PMS showed the highest degradation efficiency, reaching 97.32%. This efficiency is attributed to the synergy between CuO@CeO₂ and PMS, generating effective reactive oxygen species (ROS) for pollutant degradation. These findings indicate that the modified CuO@CeO₂/PET catalytic membrane holds significant potential for cleaner, more efficient, and sustainable wastewater treatment, providing a technological solution for reducing industrial pollution.

Keywords:

Organic pollutants, photocatalytic, catalytic membrane, CuO@CeO₂/PET, peroxymonosulfate (PMS), dye degradation, water treatment technology.