

**KOMBINASI *CONSTRUCTED WETLAND* (CW) DAN
MICROBIAL FUEL CELL (MFC) DALAM MENGOLAH
LIMBAH CAIR DI INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR
TINJA (IPLT)**

SKRIPSI



Oleh :

BELLATRIX PUTRI ARYLIS

NPM 21034010133

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA
2025**

**KOMBINASI *CONSTRUCTED WETLAND* (CW) DAN
MICROBIAL FUEL CELL (MFC) DALAM MENGOLAH
LIMBAH CAIR DI INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR
TINJA (IPLT)**

SKRIPSI



Oleh :

BELLATRIX PUTRIARYLIS

NPM 21034010133

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR**

**FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
SURABAYA**

2025

**KOMBINASI CONSTRUCTED WETLAND (CW) DAN MICROBIAL FUEL
CELL (MFC) DALAM MENGOLAH LIMBAH CAIR DI INSTALASI
PENGOLAHAN LUMPUR TINJA (IPLT)**

SKRIPSI

**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Dalam Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST.)
Program Studi Teknik Lingkungan**

Diajukan Oleh :

BELLATRIX PUTRI ARYLIS

NPM: 21034010133

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

2025

LEMBAR PERSETUJUAN

**KOMBINASI *CONSTRUCTED WETLAND* (CW) DAN
MICROBIAL FUEL CELL (MFC) DALAM MENGOLAH
LIMBAH CAIR DI INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR
TINJA (IPLT)**

Disusun Oleh:


Bellatrix Putri Arylis
NPM. 21034010133

Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Penelitian

Menyetujui,

Pembimbing


Aussie Amalia, ST, MSc.
NIP./NPT. 172 1992 1124 039

Mengetahui,

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


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

LEMBAR PENGESAHAN

**KOMBINASI *CONSTRUCTED WETLAND* (CW) DAN
MICROBIAL FUEL CELL (MFC) DALAM MENGOLAH
LIMBAH CAIR DI INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR
TINJA (IPLT)**

Disusun Oleh:



Bellatrix Putri Arylis
NPM. 21034010133

**Telah diuji kebenaran oleh Tim Penguji dan diterbitkan pada Jurnal
Serambi Engineering (Terakreditasi Sinta 4)**

Menyetujui,

TIM PENGUJI

1. Ketua

Pembimbing


Aussie Amalia, ST., MSc.
NIP./NPT. 172 1992 1124 059


Raden Mokoh Huryo Putro, ST., MT.
NIP./NPT. 19900905 201903 1 026

2. Anggota


Mohamad Mirwan, ST., MT.
NIP./NPT. 19760212 202121 1 004

Mengetahui,

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



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

LEMBAR REVISI
KOMBINASI *CONSTRUCTED WETLAND* (CW) DAN
***MICROBIAL FUEL CELL* (MFC) DALAM MENGOLAH**
LIMBAH CAIR DI INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR
TINJA (IPLT)

Disusun Oleh:



Bellatrix Putri Arylis
NPM. 21034010133

Telah direvisi dan disahkan pada tanggal 10 September 2025

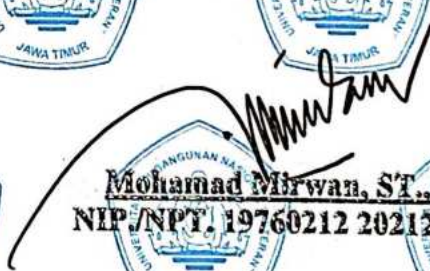
TIM PENILAI

KETUA

ANGGOTA



Raden Kokoh Haryo Putro, ST., MT.
NIP/NPT. 19900905 201903 1 026



Mohamad Mirwan, ST., MT.
NIP/NPT. 19760212 202121 1 004

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Bellatrix Putri Arylis
NPM : 21034010133
Program : Sarjana(S1)/Magister (S2) / Doktor (S3)
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Teknik Dan Sains

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Tugas Akhir/Skripsi/Tesis/Disertasi* ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dan saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi. Apabila dikemudian hari ditemukan indikasi plagiat pada Skripsi/Tesis/Desertasi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 10 September 2025

Yang Membuat Pernyataan



Bellatrix Putri Arylis
NPM. 21034010133

**KOMBINASI CONSTRUCTED WETLAND (CW) DAN
MICROBIAL FUEL CELL (MFC) DALAM
MENGOLAH LIMBAH CAIR DI INSTALASI
PENGOLAHAN LUMPUR TINJA (IPLT)**

SKRIPSI



Oleh :

BELLATRIX PUTRI ARYLIS

NPM. 21034010133

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

2025

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan kekuatan, karunia, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “ **Kombinasi *Constructed Wetland* (CW) dan *Microbial Fuel Cell* (MFC) Dalam Mengolah Limbah Cair di Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja**” ini.

Tugas Akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi syarat guna mendapatkan gelar **Sarjana Teknik**, pada **Fakultas Teknik dan Sains**, di **Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur**. Selain itu, penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk memberikan pengetahuan pembaca mengenai “**Pengolahan Limbah Cair IPLT menggunakan Kombinasi *Constructed Wetland* (CW) dan *Microbial Fuel Cell* (MFC)**”

Selama penulisan tugas akhir ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dan dukungan oleh banyak pihak sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya 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 dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.
3. Aussie Amalia, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, atas arahan dan bimbingannya sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
4. Raden Kokoh Haryo Putro, S.T., M.T., selaku Dosen Wali penulis selama 4 tahun menjadi mahasiswa Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
5. Seluruh Dosen dan Staff Pengajar Program Studi Teknik Lingkungan, yang telah membagikan ilmu selama kehidupan perkuliahan.

6. Kedua Orang tua dan adek dari penulis, yang selalu memberikan doa, dukungan moral, materil, dan saran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Kepada sahabat sahabat saya yaitu Amel, Delia, Nita, Selli, Ramiza, Adel. Terima kasih atas dukungan, semangat, waktu untuk penulis ini dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan angkatan 2021, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, yang senantiasa menjadi teman untuk bertukar pikiran, berjejak pendapat, dan saling berdiskusi mengenai ilmu-ilmu Teknik Lingkungan
9. Jason Dimas Ekoputra, S.T., yang menjadi nyala semangat di tengah letih. Sumber kekuatan saat harapan mulai redup, serta lautan ide dan inspirasi yang tak pernah kering. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan tanpa henti, dan kehadiran yang senantiasa menyertai langkah penulis sejak awal perkuliahan hingga akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan.

Di sisi lain, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna karena adanya keterbatasan ilmu, pengalaman, dan kekurangan yang dimiliki. Oleh karena itu, semua kritik dan saran yang bersifat membangun akan sangat diterima dengan senang hati. Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang memerlukan, terkhusus bagi rekan-rekan yang peduli oleh lingkungan kita.

Surabaya, Juli 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
BAB 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 Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Umum.....	4
2.1.1 Limbah Cair Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)	4
2.1.2 Karakteristik Limbah Cair Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)..	4
2.1.3 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	5
2.1.4 Total Nitrogen	5
2.2 Landasan Teori	6
2.2.1 Fitoremediasi	6
2.2.2 <i>Constructed Wetland</i> (CW)	7
2.2.3 Microbial Fuel Cell (MFC)	8
2.2.4 CW-MFC	9
2.3 <i>Horizontal Sub-Surface Flow Constructed Wetland</i>	10
2.4 Proses yang Terjadi dalam Reaktor CW-MFC	11
2.5 Elektroda dalam MFC	13
2.5.1 Jenis Anoda untuk MFC	14
2.5.2 Jenis Katoda untuk MFC	14
2.6 Produksi Energi Listrik	15

2.8 Tanaman Bambu Air (<i>Equisetum hyemale</i>)	16
2.9 Media Tanam.....	18
2.9.1 Pasir Malang.....	18
2.10 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja CW-MFC	19
2.11 Peneliti Terdahulu	20
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Kerangka Penelitian	25
3.2 Alat dan Bahan	26
3.3 Cara Kerja	27
3.4 Variabel Penelitian	29
3.4.1 Variabel Tetap	29
3.4.2 Variabel Bebas.....	29
3.4.3 Variabel Analisa	30
3.4.4 Variabel Kontrol	30
3.5 Gambar Reaktor	30
3.6 Analisis Hasil	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1 Karakteristik Limbah Instalasi Pengolahan Limbah Tinja.....	32
4.2 Proses Aklimatisasi dan <i>Range Finding Test</i> (RFT).....	32
4.3 Proses <i>Seeding</i> Pada Anoda Karbon dan Plat Seng	34
4.4 Analisis Penyisihan Parameter COD Pada Variasi Jenis Anoda Terhadap Variasi Jarak Elektroda	35
4.4.1 Analisis Hasil Uji Parameter COD Pada Anoda Seng Terhadap Variasi Jarak Elektroda	36
4.4.2 Analisis Hasil Uji Parameter COD Pada Anoda Karbon Terhadap Variasi Jarak Elektroda.....	37
4.4.4 Uji Statistik Regresi Linier Berganda Penyisihan COD.....	40
4.4.5 Uji Anova Two-way penyisihan COD	42
4.5 Analisis Penyisihan Parameter Total Nitrogen Pada Variasi Jenis Anoda Terhadap Variasi Jarak Elektroda	43

4.5.1 Analisis Hasil Uji Parameter TN Pada Anoda Seng Terhadap Variasi Jarak Elektroda	44
4.5.2 Analisis Hasil Uji Parameter TN Pada Anoda Karbon Terhadap Variasi Jarak Elektroda	45
4.5.4 Uji Statistik Regresi Linier Berganda Penyisihan Total Nitrogen	49
4.5.5 Uji Anova Two-way penyisihan Total Nitrogen	50
4.6 Analisis Produksi Listrik Pada Variasi Jenis Anoda Terhadap Variasi Jarak Elektroda	52
4.6.1 Analisis Produksi Listrik Pada Anoda Seng Terhadap Variasi Jarak Elektroda.....	52
4.6.2 Analisis Produksi Listrik Pada Anoda Karbon Terhadap Variasi Jarak Elektroda.....	53
4.6.4 Uji Statistik Regresi Linier Berganda Produksi Listrik.....	57
4.6.5 Uji Anova Two-way Produksi Listrik	61
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN A DATA HASIL PENELITIAN.....	72
LAMPIRAN B PERHITUNGAN DAN PROSEDUR KERJA PENELITIAN	76
LAMPIRAN C DOKUMENTASI PENELITIAN	82

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Limbah IPLT	4
Tabel 2.2 Peneliti Terdahulu	20
Tabel 3.1 Metode Uji Karakteristik	31
Tabel 4.1 Hasil Uji Awal Parameter Pencemar Dalam Air Limbah IPLT.....	32
Tabel 4.2 Penyisihan Parameter COD dengan Anoda Seng Terhadap Variasi Jarak elektroda	36
Tabel 4.3 Penyisihan Parameter COD dengan Anoda Karbon Terhadap Variasi Jarak elektroda.....	37
Tabel 4.4 Penyisihan Parameter TN dengan Anoda Seng Terhadap Variasi Jarak Elektroda.....	44
Tabel 4.5 Penyisihan Parameter TN dengan Anoda Karbon Terhadap Variasi Jarak elektroda	45
Tabel 4.6 Hasil Produksi Listrik Pada Anoda Seng Terhadap Variasi Jarak Elektroda.....	52
Tabel 4.7 Hasil Produksi Listrik Pada Anoda Karbon Terhadap Variasi Jarak Elektroda.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme Fitoremediasi Tanaman dalam Menyerap Polutan	6
Gambar 2.2 Membran Penukar Proton PEM	10
Gambar 2.3 Lahan Basah dengan Aliran Bawah Permukaan secara Horizontal ...	11
Gambar 2.4 Sel Bahan Bakar Mikroba Lahan Basah (Aliran Bawah Permukaan Vertikal)	12
Gambar 2.5 Reaksi yang Terjadi di Ruang Anodik dan Katodik dari CW-MFC ..	13
Gambar 2.6 Plat Seng dan Plat Karbon.....	14
Gambar 2.7 Plat Tembaga.....	15
Gambar 2.8 Tanaman Bambu Air	18
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	26
Gambar 3.2 Desain Reaktor Pengolahan CW-MFC	30
Gambar 4.1 Tahap Aklimatisasi dan RFT Tanaman Bambu Air.....	33
Gambar 4.2 Proses Seeding Anoda Seng dan Plat Karbon.....	35
Gambar 4.3 Grafik Penyisihan COD (%) dengan Variasi Anoda Terhadap Variasi Jarak Elektroda	38
Gambar 4.4 Analisis Statistik Regresi Linier Berganda Penyisihan COD	41
Gambar 4.5 Analisis Statistik ANOVA <i>Two Way</i> penyisihan COD	42
Gambar 4.6 Grafik Penyisihan TN (%) dengan dengan Variasi Anoda Terhadap Variasi Jarak Elektroda	46
Gambar 4.7 Analisis Statistik Regresi Linier Berganda Penyisihan TN	49
Gambar 4.8 Analisis Statistik ANOVA <i>Two Way</i> penyisihan Total Nitrogen	50
Gambar 4.9 Grafik Produksi Listrik dengan dengan Variasi Anoda Terhadap Variasi Jarak Elektroda	55
Gambar 4.10 Analisis Statistik Regresi Linier Berganda Produksi Daya.....	57
Gambar 4.11 Analisis Statistik Regresi Linier Berganda Produksi Tegangan	59
Gambar 4.12 Analisis Statistik Regresi Linier Berganda Produksi Arus	60
Gambar 4.13 Analisis Statistik ANOVA <i>Two Way</i> Produksi Tegangan (mV).....	61
Gambar 4.14 Analisis Statistik ANOVA <i>Two Way</i> Produksi Arus (mA).....	62
Gambar 4.15 Analisis Statistik ANOVA <i>Two Way</i> Produksi Daya (mW)	63

ABSTRAK

Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) merupakan fasilitas penting dalam menangani limbah domestik padat yang berpotensi mencemari lingkungan. Namun, hasil pengolahan limbah cair dari IPLT ini masih menunjukkan kandungan pencemar seperti *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan Total Nitrogen (TN) yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas sistem kombinasi *Constructed Wetland* (CW) dan *Microbial Fuel Cell* (MFC) dalam menurunkan kadar COD dan TN serta menghasilkan energi listrik dari limbah cair IPLT. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan tanaman bambu air (*Equisetum hyemale*) sebagai agen fitoremediasi dan pasir Malang sebagai media tanam. Variasi yang diuji meliputi jenis anoda (Seng dan Karbon), jarak elektroda (20 cm dan 30 cm), serta waktu tinggal (0, 3, 9, 12, dan 15 hari). Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan tertinggi untuk COD mencapai 95%, dan TN hingga 98%, dengan kondisi optimal pada hari ke-12 dan jarak elektroda 30 cm. Sistem CW-MFC juga berhasil menghasilkan energi listrik dengan daya maksimum mencapai 495,6 mW. Dengan demikian, teknologi CW-MFC berpotensi sebagai solusi pengolahan limbah cair IPLT yang ramah lingkungan sekaligus berkontribusi pada produksi energi terbarukan.

Kata kunci: IPLT, *Constructed Wetland*, *Microbial Fuel Cell*, COD, Total Nitrogen, bioelektrik.

ABSTRACT

*Fecal Sludge Treatment Plant (IPLT) plays a critical role in managing concentrated domestic waste, which poses a significant threat to the environment. However, the effluent from the treatment process still contains high levels of pollutants, particularly Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Nitrogen (TN). This study aims to evaluate the effectiveness of a hybrid Constructed Wetland (CW) and Microbial Fuel Cell (MFC) system in reducing COD and TN concentrations and generating electricity from IPLT wastewater. The experiment was conducted at laboratory scale using horsetail (*Equisetum hyemale*) as the phytoremediation agent and Malang sand as the planting medium. Variables tested include types of anode (zinc and carbon), electrode spacing (20 cm and 30 cm), and retention time (0, 3, 9, 12, and 15 days). The results showed that the highest removal efficiencies reached 95% for COD and 98% for TN, with optimal performance on the 12th day and 30 cm electrode spacing. The CW-MFC system also successfully generated electricity, with a maximum power output of 495.6 mW. Therefore, the CW-MFC technology has the potential to serve as an environmentally friendly solution for IPLT wastewater treatment while contributing to renewable energy production.*

Keywords: *Fecal Sludge Treatment Plant, Constructed Wetland, Microbial Fuel Cell, COD, Total Nitrogen, bioelectricity.*