

TESIS

**Analisis Dampak Pengolahan *Sewage Treatment Plant*
(STP) dengan Metode *Life Cycle Assessment* Pada Hunian
Vertikal: Studi Kasus Apartemen X**



Oleh:

Andry Daniel Dethan

NPM: 24065020001

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
JAWA TIMUR
2026**

PERNYATAAN KEASLIAN

**Analisis Dampak Pengolahan Sewage
Treatment Plant (STP) dengan Metode Life
Cycle Assessment Pada Hunian Vertikal: Studi
Kasus Apartemen X**

TESIS

**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Magister Ilmu Lingkungan (M.Ling)
Program Studi Ilmu Lingkungan**

Diajukan Oleh:

Andry Daniel Dethan

NPM: 24065020001

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
JAWA TIMUR**

2026

LEMBAR PENGESAHAN

Analisis Dampak Pengolahan *Sewage Treatment Plant* (STP)
Dengan *Metode Life Cycle Assessment* Pada Hunian Vertikal:
Studi Kasus Apartemen X

Diajukan Oleh:

Andry Daniel Dethan

NPM. 24065020001

Telah Dipertahankan dan Diterima oleh Tim Penguji Tesis Fakultas Teknik dan
Sains Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Pembangunan
Nasional "Veteran" Jawa Timur
Pada Tanggal 13 Mei 2026

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Penguji I

Dr. Silvana Dwi Nurherdiana, S.Si.
NPT. 20219930701210

Dr. Rahaju Saraswati, S.T., M.T.
NIP. 19701101 200501 2 001

Dosen Pembimbing II

Dosen Penguji II

Dr. Awaluddin Hidayat Ramli Inaku,
S.KM., M.KL
NIP. 19900801 202506 1 004

Dr. Purnomo, S.Si., M.Ling.
NIP. 19881225 202506 1 001

Mengetahui,

DEKAN FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR

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

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andry Daniel Dethan
NPM : 24065020001
Program : Magister (S2)
Program Studi : Magister Ilmu Lingkungan
Fakultas : Fakultas Teknik dan Sains

Dengan ini menyatakan bahwa tesis yang saya susun merupakan hasil karya dan pemikiran saya sendiri. Seluruh proses penyusunan dilakukan secara mandiri dengan tetap berpedoman pada kaidah penulisan ilmiah yang berlaku. Adapun data, kutipan, teori, maupun pendapat yang berasal dari karya ilmiah pihak lain telah saya cantumkan sumbernya secara jelas dan lengkap di dalam naskah serta daftar pustaka.

Saya juga menyatakan bahwa tesis ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik pada perguruan tinggi atau institusi pendidikan lain. Selain itu, saya memastikan bahwa isi tesis ini bebas dari tindakan plagiarisme dalam bentuk apa pun. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran akademik atau indikasi plagiarisme pada tesis ini, maka saya bersedia menerima segala bentuk sanksi sesuai dengan ketentuan dan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya, dalam keadaan sadar, tanpa adanya tekanan maupun paksaan dari pihak mana pun, untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.


Surabaya, 18 Mei 2026

Yang membuat pernyataan,



Andry Daniel Dethan

BIODATA

No	Keterangan	Peneliti	Foto
1.	Nama Lengkap	Andry Daniel Dethan	
2.	NPM	24065020001	
3.	Tempat Tanggal Lahir	Kupang, 1 Agustus 1983	
4.	Alamat	Naura Regency A-04, Kawngsan, Sedati, Kab. Sidoarjo – Jawa Timur	
5.	Nomor Hp	6285233444944	
6.	Email	24065020001@student.upnjati m.ac.id	

PENDIDIKAN

No	Nama Universitas/Sekolah	Jurusan	Tahun	Keterangan
1.	Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur	Magister Ilmu Lingkungan	2024-2026	Lulus
2.	Intitut Teknologi Nasional Malang	Teknik Lingkungan	2001-2011	Lulus
3.	SMA Negeri 3 Kupang	IPA	1998-2001	Lulus
4.	SMP Negeri 1 Kupang		1995-1998	Lulus
5.	SD Negeri Naikoten 1		1989-1995	Lulus

TUGAS AKADEMIK

No	Kegiatan	Tempat/Judul	Tahun
1.	Tesis	Analisis Dampak Pengolahan Sewage Treatment Plant (STP) dengan Metode Life Cycle Assessment pada Hunian Vertikal: Studi Kasus Apartemen X	2024-2026
2.	Skripsi	Pengolahan Limbah Cair Laundry Dengan Metode Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eleng Gundur	2001-2011

IDENTITAS ORANG TUA

Nama	Markus Martinus Dethan
Alamat	Jl. Perintis Kemerdekaan No.1 Oebufu, Kupang - NTT
Telepon	6281339139794
Pekerjaan	Pensiunan PNS

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat, kasih, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul **“Analisis Dampak Pengolahan Sewage Treatment Plant (STP) dengan Metode Life Cycle Assessment pada Hunian Vertikal: Studi Kasus Apartemen X”** dengan baik dan tepat pada waktunya. Penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, doa, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

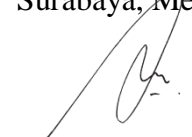
1. Prof. Dr. Dra. Jariyah, MP selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Bapak Erwan Adi S., ST., MT., Ph.D selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Dr. Silvana Dwi Nurherdiana, S.Si. selaku Koordinator Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan, bimbingan, motivasi, dukungan, serta kritik dan saran yang membangun selama proses penyusunan tesis ini.
4. Bapak Dr. Awaluddin Hidayat Ramli Inaku, S.KM., M.KL selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan, bimbingan, dukungan, serta masukan yang sangat berarti sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Seluruh dosen dan staf pengajar Program Studi Magister Ilmu Lingkungan yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, dan wawasan baik selama proses perkuliahan maupun diskusi akademik.
6. Seluruh dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran, serta masukan yang membangun demi penyempurnaan tesis ini.
7. Kedua orang tua tercinta, Bapak Markus Martinus Dethan dan Almh. Ibu Agustina Dethan-Malelak, yang selalu memberikan doa, kasih sayang,

dukungan moral maupun material, serta semangat yang tiada henti kepada penulis selama menempuh pendidikan dan menyelesaikan tesis ini.

8. Istri tercinta, Eunike Riahta Tarigan, dan anak tercinta, Alden Timothy Dethan, yang selalu memberikan doa, kasih sayang, perhatian, dukungan, serta menjadi sumber semangat dan motivasi terbesar bagi penulis dalam menyelesaikan pendidikan dan penyusunan tesis ini.
9. Management dan rekan-rekan di Apartemen Graha Golf serta Intiland Development yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta kesempatan kepada penulis selama proses penelitian dan penyusunan tesis ini.
10. Seluruh keluarga, sahabat, rekan kerja, dan teman-teman yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan semangat kepada penulis selama proses penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi penyempurnaan penelitian ini di masa mendatang. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang lingkungan dan pengelolaan limbah domestik.

Surabaya, Mei 2026



Andry Daniel Dethan

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
ABSTRAK.....	xiii
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Rumusan Masalah	4
1.1. Tujuan Penelitian	5
1.2. Manfaat Penelitian	6
1.3. Ruang Lingkup Penelitian	7
1.4. BAB 2	9
1.5. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Gas Rumah Kaca (GRK)	10
2.2. Global Warming Potential (GWP)	12
2.3. Sewage Treatment Plant (STP)	13
2.3.1. Pengolahan Pendahuluan	14
2.3.2. Pengolahan Primer	14
2.3.3. Pengolahan Sekunder (<i>Secondary Treatment</i>)	15
2.3.4. Pengendapan Akhir (<i>Secondary Clarifier</i>).....	16
2.4. 2.3.5. Disinfeksi (<i>Disinfection</i>)	17
2.5. 2.3.6. Pengolahan Lumpur	18
Hunian Vertikal dan Beban Air Limbah	20
Life Cycle Assessment (LCA)	21
2.6. 2.5.1. Penetapan Tujuan dan Ruang Lingkup.....	22
2.7. 2.5.2. Inventarisasi Siklus Hidup (LCI)	22
2.5.3. Penilaian Dampak Lingkungan (LCIA)	22
2.5.4. Interpretasi	22
Life Cycle Inventory (LCI) pada STP	23
Life Cycle Impact Assessment (LCIA) untuk GWP	24

	Penelitian Terdahulu Terkait Emisi GRK pada STP	24
	BAB 3.....	28
	METODE PENELITIAN.....	28
	Desain Penelitian	28
2.8.	Lokasi Penelitian	29
	Sumber Data	30
3.1.	Instrumen Penelitian	32
3.2.	Metode Life Cycle Assessment (LCA)	33
3.3.		
3.4.	3.5.1. Goal and Scope Definition	33
3.5.	3.5.2. Life Cycle Inventory (LCI)	33
	3.5.3. Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca.....	34
	3.5.4. Life Cycle Impact Assessment (LCIA).....	35
	3.5.5. Pemodelan Sistem menggunakan OpenLCA	35
	3.5.6. Interpretasi Hasil.....	36
	3.5.7. Penyusunan Rekomendasi Mitigasi Emisi	37
	3.5.8. Notasi Variabel.....	37
	BAB 4.....	38
	HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1.	Gambaran Umum Sistem Sewage Treatment Plant (STP)	38
4.2.		
4.3.	Kinerja Pengolahan Air Limbah	40
	Life Cycle Inventory (LCI)	42
	4.3.1. Debit Air Limbah Domestik	42
4.4.	4.3.2. Konsumsi Energi Listrik	44
	4.3.3. Faktor Emisi Gas Rumah Kaca	45
	Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca	46
	4.4.1. Total Organically Degradable Material (TOW).....	46
	4.4.2. Emisi CH ₄	46
	4.4.3. Beban Nitrogen	47
4.5.	4.4.4. Emisi N ₂ O	48
	4.4.5. Emisi CO ₂ dari energi listrik.....	48
	4.4.6. Rekapitulasi Scope 1 dan Scope 2	49
	Life Cycle Impact Assessment (LCIA)	49
	4.5.1. Faktor karakterisasi GWP.....	49
	4.5.2. Total GWP.....	50

	4.5.3.	GWP berdasarkan Functional Unit.....	51
		Pemodelan LCA menggunakan openLCA.....	53
		Interpretasi Hasil.....	55
		Analisis Sensitivitas.....	57
4.6.	4.8.1.	Sensitivitas Faktor Emisi Listrik.....	57
4.7.	4.8.2.	Sensitivitas Methane Correction Factor (MCF).....	58
4.8.	4.8.3.	Sensitivitas Faktor Emisi N ₂ O.....	59
	4.8.4.	Sensitivitas Debit Air Limbah per Kapita.....	60
	4.8.5.	Ringkasan Analisis Sensitivitas.....	60
		Rekomendasi Strategi Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca pada Sewage Treatment Plant.....	61
4.9.	4.9.1.	Optimasi Konsumsi Energi Sistem Aerasi.....	62
	4.9.2.	Pengendalian Kondisi Operasi Proses Biologis.....	62
	4.9.3.	Penerapan Efisiensi Energi Peralatan Pendukung.....	63
	4.9.4.	Pemanfaatan Energi Terbarukan.....	64
	4.9.5.	Monitoring dan Evaluasi Kinerja Lingkungan STP.....	64
	4.9.6.	Implikasi Praktis bagi Pengelolaan Hunian Vertikal.....	65
		BAB 5.....	66
		KESIMPULAN DAN REKOMENDASI.....	66
5.1.		Kesimpulan.....	66
5.2.		Rekomendasi.....	69
		DAFTAR PUSTAKA.....	73
		LAMPIRAN.....	77
		LAMPIRAN A. DATA INVENTORI.....	77
		LAMPIRAN B. HASIL PERHITUNGAN.....	79
		LAMPIRAN C. DOKUMENTASI.....	81
		LAMPIRAN D. DATA PENDUKUNG.....	83
		Lampiran D.1 Data Occupancy Apartemen Tahun 2023–2025.....	83
		Lampiran D.2 Data Operasional STP.....	83
		Lampiran D.3 Faktor Emisi Sistem Kelistrikan JAMALI.....	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sumber Emisi Gas Rumah Kaca pada Sistem STP	20
Tabel 2. 2 Penelitian terdahulu (gap research).....	25
Tabel 3. 1 Data Primer dan Sekunder Penelitian	31
Tabel 3. 2 Notasi Variabel Perhitungan Emisi GRK.....	37
Tabel 4. 1 Karakteristik Umum Sewage Treatment Plant (STP).....	40
Tabel 4. 2 Kualitas Efluen STP Tahun 2023–2025.....	41
Tabel 4. 3 Jumlah Penghuni dan Debit Air Limbah STP.....	44
Tabel 4. 4 Konsumsi Energi Listrik STP.....	44
Tabel 4. 5 Faktor Emisi.....	45
Tabel 4. 6 Tabel TOW	46
Tabel 4. 7 Tabel Metana (CH ₄).....	46
Tabel 4. 8 Tabel Nitrogen Load.....	47
Tabel 4. 9 Tabel N ₂ O-N	48
Tabel 4. 10 Hasil perhitungan Emisi N ₂ O	48
Tabel 4. 11 Tabel Konsumsi Energi.....	48
Tabel 4. 12 Tabel CO ₂	49
Tabel 4. 13 Rekapitulasi Emisi.....	49
Tabel 4. 14 Faktor GWP	50
Tabel 4. 15 Total GWP	50
Tabel 4. 16 Tabel GWP per m ³	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Umum Proses STP Apartemen X.....	14
Gambar 2. 2 Bak Equalizing	15
Gambar 2. 3 Bak Aerasi.....	16
Gambar 2. 4 Bak Clarifier	17
Gambar 2. 5 Bak Pengolahan lumpur	18
Gambar 2. 6 Pompa blower.....	20
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian	29
Gambar 3. 2 Lokasi Penelitian	30
Gambar 4. 4 Tren Debit Air Limbah Tahun 2023–2025	44
Gambar 4. 6 Tren Total Organically Degradable Material (TOW)	46
Gambar 4. 7 Tren Emisi Methane (CH ₄)	47
Gambar 4. 8 Tren Beban Nitrogen (N-load).....	47
Gambar 4.11 Pemodelan dampak Global (GWP100) menggunakan openLCA ...	54
Gambar 4. 12 Kontribusi CH ₄ dan N ₂ O	56

ANALISIS DAMPAK PENGOLAHAN SEWAGE TREATMENT PLANT (STP) DENGAN METODE LIFE CYCLE ASSESSMENT PADA HUNIAN VERTIKAL: STUDI KASUS APARTEMEN X

Nama Mahasiswa : Andry Daniel Dethan
NPM : 24065020001
Pembimbing 1 : Dr. Silvana Dwi Nurherdiana, S.Si.
Pembimbing 2 : Dr. Awaluddin Hidayat Ramli Inaku, S.KM., M.KL.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis kontribusi emisi gas rumah kaca dari operasional Sewage Treatment Plant (STP) pada hunian vertikal menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA). Operasional STP selain berfungsi mengolah air limbah domestik juga berpotensi menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen oksida (N₂O) yang berkontribusi terhadap perubahan iklim. Penelitian dilakukan pada STP Apartemen X di Kota Surabaya menggunakan data operasional tahun 2023–2025 dengan batas sistem gate-to-gate dan functional unit sebesar 1 m³ air limbah domestik terolah. Tahapan penelitian meliputi penyusunan Life Cycle Inventory (LCI), perhitungan emisi berdasarkan pedoman IPCC 2019 Refinement, serta Life Cycle Impact Assessment (LCIA) menggunakan indikator Global Warming Potential (GWP) horizon 100 tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total emisi gas rumah kaca sistem STP berada pada kisaran 42.296,1–43.862,0 kg CO₂-eq/tahun dengan nilai GWP sebesar 1,08–1,29 kg CO₂-eq/m³. Kontribusi terbesar berasal dari konsumsi energi listrik pada unit aerasi yang menyumbang lebih dari 80% terhadap total nilai GWP. Emisi CH₄ meningkat dari 245,83 kg/tahun pada tahun 2023 menjadi 303,32 kg/tahun pada tahun 2025, sedangkan emisi N₂O berada pada kisaran 0,0105–0,0438 kg/tahun. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa faktor emisi listrik dan Methane Correction Factor (MCF) merupakan parameter yang paling memengaruhi total emisi gas rumah kaca. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode LCA efektif digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan sistem pengolahan air limbah domestik secara komprehensif. Strategi mitigasi yang direkomendasikan meliputi optimalisasi sistem aerasi, peningkatan efisiensi energi, pengendalian proses biologis, serta pemanfaatan energi terbarukan guna mendukung pengelolaan hunian vertikal yang berkelanjutan dan rendah karbon.

Kata kunci: Sewage Treatment Plant (STP), Life Cycle Assessment (LCA), Global Warming Potential (GWP), emisi gas rumah kaca, hunian vertikal.

ANALYSIS OF SEWAGE TREATMENT PLANT (STP) IMPACT USING LIFE CYCLE ASSESSMENT METHOD IN VERTICAL RESIDENTIAL BUILDINGS: CASE STUDY OF APARTMENT X

Name : Andry Daniel Dethan
NPM : 24065020001
Supervisor 1 : Dr. Silvana Dwi Nurherdiana, S.Si.
Supervisor 2 : Dr. Awaluddin Hidayat Ramli Inaku, S.KM., M.KL.

ABSTRACT

This study aims to analyze greenhouse gas emissions generated from the operation of a Sewage Treatment Plant (STP) in vertical residential buildings using the Life Cycle Assessment (LCA) method. Besides treating domestic wastewater, STP operations also produce carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O) emissions that contribute to climate change. The research was conducted at Apartment X in Surabaya using operational data from 2023–2025 with a gate-to-gate system boundary and a functional unit of 1 m³ of treated domestic wastewater. The study stages included Life Cycle Inventory (LCI), greenhouse gas emission calculations based on the IPCC 2019 Refinement guidelines, and Life Cycle Impact Assessment (LCIA) using the 100-year Global Warming Potential (GWP) indicator. The results showed that total greenhouse gas emissions ranged from 42,296.1 to 43,862.0 kg CO₂-eq/year with GWP values of 1.08–1.29 kg CO₂-eq/m³. The largest contribution originated from electricity consumption in the aeration unit, accounting for more than 80% of the total GWP value. Methane emissions increased from 245.83 kg/year in 2023 to 303.32 kg/year in 2025, while N₂O emissions ranged from 0.0105 to 0.0438 kg/year. Sensitivity analysis indicated that the electricity emission factor and Methane Correction Factor (MCF) were the most influential parameters affecting total greenhouse gas emissions. This study demonstrates that the LCA method is effective for comprehensively evaluating the environmental impact of domestic wastewater treatment systems. Recommended mitigation strategies include aeration system optimization, energy efficiency improvement, biological process control, and the utilization of renewable energy to support sustainable and low-carbon vertical residential management.

Keywords: Sewage Treatment Plant (STP), Life Cycle Assessment (LCA), Global Warming Potential (GWP), greenhouse gas emissions, vertical residential buildings.