

TUGAS AKHIR - CL234801

**KAJIAN DAMPAK LINGKUNGAN AKIBAT PROSES
PENGOLAHAN LUMPUR TINJA IPLT KEPUTIH
DENGAN METODE LIFE CYCLE ASSESMENT (LCA)**

ARYA DARMANA FABIAN

NRP 5014201084

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem Dipl.SE, M.Sc

NIP. 19550128 198503 2 001

Departemen Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024



TUGAS AKHIR - CL234801

**KAJIAN DAMPAK LINGKUNGAN AKIBAT PROSES
PENGOLAHAN LUMPUR TINJA IPLT KEPUTIH
DENGAN METODE LIFE CYCLE ASSESMENT (LCA)**

ARYA DARMANA FABIAN

NRP 5014201084

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem Dipl.SE, M.Sc

NIP. 19550128 198503 2 001

Departemen Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024



FINAL PROJECT - CL234801

**STUDY OF ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESMENT OF
THE FECAL SLUDGE TREATMENT PROCESS OF IPLT
KEPUTIH USING LIFE CYCLE ASSESMENT (LCA)**

ARYA DARMANA FABIAN

NRP 5014201084

Advisor

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem Dipl.SE, M.Sc

NIP. 19550128 198503 2 001

Department of Environmental Engineering

Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024

LEMBAR PENGESAHAN

KAJIAN DAMPAK LINGKUNGAN AKIBAT PROSES PENGOLAHAN LUMPUR TINJA IPLT KEPUTIH DENGAN METODE LIFE CYCLE ASSESMENT (LCA)





TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **Arya Darmana Fabian**

NRP. 5014201084

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | | |
|---|------------|---|
| 1. Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, Dipl.SE, M.Sc | Pembimbing |  |
| 2. Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso M.T | Penguji |  |
| 3. Ainul Firdatun Nisaa, S.T., M.Sc | Penguji |  |
| 4. Bara Awanda Marhendra, ST., MSC ETH. | Penguji |  |



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Arya Darmana Fabian / 5014201084
Program studi : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing / NIP : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, Dipl.SE, M.Sc /
19550128 198503 2 001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "**Kajian Dampak Lingkungan Akibat Proses Pengolahan Lumpur Tinja IPLT Keputih Dengan Metode *Life Cycle Assessment (LCA)***" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 26 Juli 2024

Mengetahui
Dosen Pembimbing



Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, Dipl.SE, M.Sc
NIP. 19550128 198503 2 001

Mahasiswa



Arya Darmana Fabian
NRP. 5014201084

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

KAJIAN DAMPAK LINGKUNGAN AKIBAT PROSES PENGOLAHAN LUMPUR TINJA IPLT KEPUTIH DENGAN METODE LIFE CYCLE ASSESMENT (LCA)

Nama Mahasiswa / NRP : Arya Darmana Fabian / 5014201084
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem Dipl.SE, M.Sc

Abstrak

Penelitian ini mengkaji dampak lingkungan dari pengolahan lumpur tinja di IPLT Keputih menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA). Data diperoleh melalui survei lapangan dan dianalisis untuk menilai emisi gas rumah kaca, konsumsi energi, dan penggunaan sumber daya alam. Hasil menunjukkan unit solid separation chamber menyumbang 5315.31 kg CO₂/tahun untuk pemanasan global, unit balancing tank menyumbang 0.044666477 PDF-m².y untuk eutrofikasi perairan, dan unit sludge drying bed menggunakan energi non-terbarukan sebesar 48954 MJ.

Perbandingan dengan penelitian sebelumnya menunjukkan peningkatan signifikan dalam dampak eutrofikasi akuatik dari 0.003409 PDF-m².y menjadi 0.523010 PDF-m².y. Namun, ada penurunan dalam emisi gas rumah kaca dari 15,947.847749 kg CO₂/tahun menjadi 14,888.933688 kg CO₂/tahun dan pengurangan penggunaan energi non-terbarukan dari 103,431.0035 MJ menjadi 95,677.83276 MJ. Hal ini menunjukkan peningkatan efisiensi proses dan pengurangan dampak lingkungan.

Berdasarkan analisis LCA yang sudah dilakukan, proses pengolahan lumpur tinja di IPLT Keputih menunjukkan kontribusi dampak lingkungan yang signifikan pada beberapa kategori, seperti non-renewable energy, aquatic eutrophication, dan global warming. Untuk aquatic eutrophication, kontribusi dampak yang signifikan terjadi pada balancing tank dengan skor analisis 20,5%, untuk global warming ada pada solid separation chamber dengan 35,4% begitu juga pada dampak non-renewable energy adalah 33,5%.

Kata kunci: *IPLT Keputih, Life Cycle Assesment (LCA), Simpro 9.5, Dampak Lingkungan.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRACT

STUDY OF ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESMENT OF THE FECAL SLUDGE TREATMENT PROCESS OF IPLT KEPUTIH USING LIFE CYCLE ASSESMENT (LCA)

Student Name / NRP : Arya Darmana Fabian / 5014201084
Department : Teknik Lingkungan
Advisor : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem Dipl.SE, M.Sc

Abstract

This study assesses the environmental impacts of septage treatment at the Keputih STP using the Life Cycle Assessment (LCA) method. Data were obtained through field surveys and analyzed to assess greenhouse gas emissions, energy consumption, and natural resource use. Results show the solid separation chamber unit contributes 5315.31 kg CO₂/year to global warming, the balancing tank unit contributes 0.044666477 PDF-m².y to water eutrophication, and the sludge drying bed unit uses 48954 MJ of non-renewable energy.

Comparison with previous studies shows a significant increase in aquatic eutrophication impacts from 0.003409 PDF-m².y to 0.523010 PDF-m².y. However, there was a decrease in greenhouse gas emissions from 15,947.847749 kg CO₂/year to 14,888.933688 kg CO₂/year and a reduction in non-renewable energy use from 103,431.0035 MJ to 95,677.83276 MJ. This suggests improved process efficiency and reduced environmental impact.

Based on the LCA analysis that has been conducted, the septage treatment process in Keputih STP shows significant environmental impact contributions in several categories, such as non-renewable energy, aquatic eutrophication, and global warming. For aquatic eutrophication, the significant impact contribution occurs in the balancing tank with an analysis score of 20.5%, for global warming it is in the solid separation chamber with 35.4% as well as the impact of non-renewable energy is 33.5%.

Keywords: *IPLT Keputih, Life Cycle Assesment (LCA), Simapro 9.5, Environmental Impact*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Kajian Dampak Lingkungan Akibat Proses Pengolahan Lumpur Tinja IPLT Keputih Dengan Metode Life Cycle Assesment (LCA)” dapat terselesaikan. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu kelancaraan dalam penyusunan laporan ini, diantaranya:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem Dipl.SE, M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberi pengarahan kepada penulis.
2. Bapak Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso M.T dan ibu Ainul Firdatun Nisaa, S.T., M.Sc selaku dosen pengarah yang telah meluangkan waktunya untuk memberi arahan dan masukan kepada penulis.
3. Kedua orang tua penulis yang selalu mendoakan dan memberi semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Wahyu yang telah membantu dalam pengambilan data IPLT Keputih.
5. Teman-teman satu bimbingan yang selalu memberi semangat dan membantu dalam penyelesaian laporan tugas akhir.
6. Teman-teman Angkatan.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini telah diusahakan untuk ditulis sebaik mungkin. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi pembaca atau penulis yang lain di masa yang akan datang.

Surabaya, 27 Juni 2024

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN ORISINALITAS	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Definisi Tinja	5
2.2 Karakteristik Lumpur Tinja	5
2.3 Baku Mutu Kualitas Lingkungan.....	6
2.3.1 Parameter Kualitas Air	6
2.4 Dampak Pengolahan Lumpur Tinja Terhadap Lingkungan	8
2.4.1 Global Warming	9
2.4.2 Aquatic Eutrophication	9
2.4.3 Non Renewable Energy.....	10
2.5 Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)	11
2.6 Unit Pengolahan Pada Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)	11
2.6.1 Ruang Pemisahan Padatan (SSC).....	14
2.6.2 Tanki Penyeimbang (BT).....	15
2.6.3 Unit Parit Oksidasi	16
2.6.4 Kotak Distribusi 1	18
2.6.5 Alat Pengendap Akhir (Final Clarifier).....	19
2.6.6 Kolam Pemurni (Polishing Pond)	21
2.6.7 Tempat Pengeringan Lumpur (SDB)	23
2.6.8 Area Pengeringan Lumpur (DA)	24
2.7 Metode Life Cycle Assesment	25

2.7.1 Prinsip Life Cycle Assesment (LCA).....	26
2.7.2 Karakteristik dan Batasan <i>Life Cycle Assesment</i> (LCA).....	27
2.8 Tahap-Tahap dalam <i>Life Cycle Assesment</i> (LCA).....	28
2.8.1 Penentuan Tujuan dan Batasan Penelitian	29
2.8.2 Inventarisasi Data	30
2.8.3 Perkiraan Dampak	32
2.8.4 Interpretasi Data	34
2.9 Definisi <i>Software</i> Simapro	34
2.10 Penelitian Terdahulu.....	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	41
3.1 Kerangka Penelitian.....	41
3.2 Wilayah Penelitian.....	41
3.3 Tahap Pendahuluan.....	43
3.3.1 Perumusan Ide Penelitian.....	43
3.3.2 Penyusunan Rumusan Masalah	43
3.3.3 Penentuan Lokasi Penelitian.....	43
3.3.4 Perancangan Tujuan dan Ruang Lingkup Penelitian	43
3.4 Studi Literatur	44
3.5 Tahap Pengumpulan Data	44
3.6 Tahap Analisis Data.....	44
3.6.1 Analisis Dampak Lingkungan Dengan Metode LCA	44
3.7 Kesimpulan dan Saran.....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Pengumpulan Data Sekunder IPLT Keputih.....	47
4.1.1 Pengumpulan Data Sekunder IPLT Keputih	47
4.2 Pengolahan LCA Memakai <i>Software</i> Simapro 9.5	68
4.3 Penentuan <i>Goal and Scope</i>	68
4.4 Penentuan LCI.....	72
4.4.1 LCI pada <i>Solid Separation Chamber</i>	72
4.4.2 Life Cycle Inventory (LCI) pada Balancing Tank	74
4.4.3 Life Cycle Inventory (LCI) pada <i>Sump Well</i>	77
4.4.4 Life Cycle Inventory (LCI) pada Oxidation Ditch.....	79
4.4.5 Life Cycle Inventory (LCI) pada Distribution Box I	82
4.4.6 Life Cycle Inventory (LCI) pada Clarifier.....	83
4.4.7 Life Cycle Inventory (LCI) pada Distribution Box II.....	85

4.4.8	Life Cycle Inventory (LCI) pada Polishing Pond.....	86
4.4.9	Life Cycle Inventory (LCI) untuk Mixing Tank	89
4.4.10	Life Cycle Inventory (LCI) pada Sludge Drying Bed.....	91
4.5	Penilaian Dampak atau Life Cycle Impact Assessment (LCIA)	96
4.5	Penilaian Dampak Keseluruhan Proses Pengolahan Lumpur Tinja.....	100
4.6.1	Analisis Karakterisasi/ <i>Characterization</i>	100
4.7	Diagram Energi	109
4.8	Perbandingan Hasil.....	112
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		114
5.1	Kesimpulan.....	115
5.2	Saran	115
DAFTAR PUSTAKA		117
LAMPIRAN		123
BIODATA PENULIS		129

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Alir Proses Pengolahan di IPLT Keputih	13
Gambar 2. 2 Ruang Pemisahan Padatan (SSC)	15
Gambar 2. 3 Tanki Penyeimbang (BT).....	16
Gambar 2. 4 Parit Oksidasi (OD).....	17
Gambar 2. 5 Kotak Distribusi 1 dan 2 (DB I dan II)	18
Gambar 2. 6 Alat Pengendap Akhir (Clarifier)	20
Gambar 2. 7 Kolam Pemurni (PPond)	22
Gambar 2. 8 Tempat Pengeringan Lumpur (SDB)	23
Gambar 2. 9 Area Pengeringan Lumpur (DA)	24
Gambar 2. 10 Tahapan Penyusunan LCA	28
Gambar 2. 11 Skema Keseluruhan Impact 2002+.....	32
Gambar 3. 1 Diagram Alir Kerangka Penelitian.....	41
Gambar 3. 2 Layout IPLT Keputih yang Menjadi Wilayah Penelitian	42

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Kegiatan Domestik Berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup	6
Tabel 2. 2 Baku Mutu Kegiatan Domestik Pada Peraturan Gubernur Jawa Timur.....	6
Tabel 2. 3 Standar Mutu Udara Pada Peraturan Gubernur Jawa Timur.....	8
Tabel 2. 4 Metode pada <i>Software</i> SimaPro 9.5	29
Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	36
Tabel 4. 3 Waktu Detensi Unit Pengolahan.....	39
Tabel 4. 4 Hasil Analisis Laboratorium Lumpur Tinja (mg/L)	40
Tabel 4. 5 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Solid Separation Chamber</i>	62
Tabel 4. 6 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Balancing Tank</i>	64
Tabel 4. 7 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Sump Well</i>	65
Tabel 4. 8 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Oxidation Ditch</i>	67
Tabel 4. 9 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Distribution Box I</i>	68
Tabel 4. 10 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Clarifier</i>	70
Tabel 4. 11 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Distribution Box II</i>	71
Tabel 4. 12 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Polishing Pond</i>	73
Tabel 4. 13 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Mixing Tank</i>	74
Tabel 4. 14 <i>Life Cycle Inventory</i> pada Unit <i>Sludge Drying Bed</i>	76
Tabel 4. 15 <i>Impact Assessment Solid Separation Chamber</i>	79
Tabel 4. 16 <i>Impact Assessment Balancing Tank</i>	79
Tabel 4. 17 <i>Impact Assessment Sump Well</i>	80
Tabel 4. 18 <i>Impact Assessment Oxidation Ditch</i>	81
Tabel 4. 19 <i>Impact Assessment Distribution Box I</i>	82
Tabel 4. 20 <i>Impact Assessment Clarifier</i>	83
Tabel 4. 21 <i>Impact Assessment Distribution Box II</i>	84
Tabel 4. 22 <i>Impact Assessment Polishing Pond</i>	84
Tabel 4. 23 <i>Impact Assessment Mixing Tank</i>	86
Tabel 4. 24 <i>Impact Assessment Sludge Drying Bed</i>	86
Tabel 4. 25 <i>Faktor Kerusakan Karakterisasi</i>	100

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan polusi lingkungan berpotensi menciptakan beragam penyakit, sehingga penting untuk meningkatkan upaya dalam penyediaan layanan sanitasi kota. Semakin besar kemampuan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), semakin luas area yang terpengaruh, semakin banyak kontaminan dan nutrisi yang perlu dipisahkan (Nuraeni dan Ashuri, 2018). Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) merupakan fasilitas pengolahan air limbah yang khusus dirancang untuk menerima dan mengolah lumpur tinja yang diangkut menggunakan mobil (truk tinja).

Instalasi pengolahan lumpur tinja merupakan komponen krusial dalam infrastruktur sanitasi air limbah. Pencemaran lingkungan memiliki potensi untuk memicu berbagai penyakit, sehingga peningkatan dalam layanan sanitasi menjadi suatu keharusan. Semakin besar kapasitas layanan IPAL, semakin besar juga beban yang harus dihilangkan dari kontaminan. Saat kolam lumpur tinja mencapai kapasitas maksimumnya, proses pengurasan dilakukan. Lumpur tinja ini berasal dari sisa metabolisme tubuh manusia yang mengandung berbagai parameter seperti COD (Chemical Oxygen Demand), BOD (Biological Oxygen Demand), pH, TSS (Total Suspended Solids), Minyak dan Lemak, Amonia, Fosfat, dan Total Coliform (Nuraeni, 2015).

Pengertian dari lumpur tinja adalah lumpur, cairan dari proses pengosongan tangki septik dengan cara disedot dari sistem pengolahan langsung secara individu (Metcalf dan Eddy, 1991). Apabila tidak ditangani dengan tepat, lumpur tinja berpotensi menciptakan kontaminasi yang dapat mencemari ekosistem air jika dibuang secara langsung ke lingkungan. Pentingnya mengurangi paparan polutan bagi manusia dan mencegah pencemaran pada berbagai lingkungan seperti tanah, air, dan udara menjadi semakin penting. Mikroorganisme berfungsi dalam menguraikan materi organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, mengubahnya menjadi gas CO₂, air, dan energi yang dimanfaatkan untuk pertumbuhan dan reproduksi mereka (Firdus dan Muchlisin, 2010).

Dalam proses pengolahan fisik dan biologis, penggunaan energi listrik untuk mengoperasikan mesin dan pompa sangatlah penting. Setiap metode pengolahan air limbah memiliki potensi untuk melepaskan gas rumah kaca, baik dari proses pengolahan itu sendiri maupun dari peralatan yang digunakan untuk menjalankan proses tersebut (Singh dan Kansal, 2018). Sektor limbah, baik limbah padat maupun cair, juga menjadi penyumbang dalam peningkatan emisi gas rumah kaca ke atmosfer, menyumbang sekitar 3-4% dari total emisi tersebut (IPCC, 2006).

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) menghasilkan emisi gas rumah kaca yang signifikan, termasuk karbon dioksida, metana, dan nitrogen oksida (Chang, Kyung, dan Lee, 2014). Secara tidak langsung, industri pengolahan limbah berkontribusi terhadap dampak lingkungan secara global, seperti pelepasan langsung polutan ke dalam sumber air jika kualitas limbah yang dikeluarkan melampaui standar mutu yang ditetapkan, pencemaran tanah akibat rembesan limbah, dan emisi udara dari proses degradasi zat organik dan anorganik yang signifikan (Bonton *et al*, 2012).

Dalam situasi saat ini, harapannya adalah bahwa IPLT akan semakin memperhatikan aspek lingkungan selama pelaksanaan setiap aktivitasnya, tidak hanya terpaku pada regulasi teknis. Analisis yang cermat terhadap IPLT Keputih diperlukan untuk memahami dampak lingkungan yang timbul dari kegiatan pengolahannya. Penelitian ini melibatkan analisis proses dengan menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA). Metode ini diharapkan dapat memberikan pemahaman menyeluruh tentang dampak lingkungan yang ditimbulkan sepanjang siklus hidup proses pengolahan limbah

Life Cycle Assessment (LCA) adalah suatu metode yang digunakan untuk mengevaluasi atau menganalisis dampak lingkungan yang dihasilkan pada setiap tahapan dalam siklus hidup suatu sumber daya, mulai dari proses awal ekstraksi hingga tahap akhir ketika sumber daya tersebut tidak dapat digunakan lagi atau dibuang (Palupi *et al.*, 2014). Metode ini memungkinkan analisis menyeluruh terhadap dampak lingkungan dari suatu proses, baik dalam industri maupun bidang lainnya. LCA mampu meneliti dampak pada setiap tahap siklus hidup, termasuk ekstraksi sumber daya, proses produksi, masa pemakaian produk, hingga akhir hayat produk tersebut (Harjanto *et al.*, 2014)..

Life Cycle Assesment (LCA) pada pengolahan lumpur tinja ini berfungsi untuk menganalisa dampak lingkungan yang ditimbulkan akibat proses pengolahan lumpur tinja pada IPLT Keputih, dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat teridentifikasi dan dievaluasi secara komprehensif berbagai dampak lingkungan yang mungkin ditimbulkan oleh kegiatan pengolahan limbah tinja, sehingga dapat memberikan landasan strategis untuk pengelolaan yang berkelanjutan dan berorientasi pada mitigasi dampak negatif terhadap ekosistem sekitar.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah untuk penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menentukan kategori dampak lingkungan yang relevan dalam proses pengolahan lumpur tinja menggunakan perangkat lunak SimaPro?
2. Seberapa besar dampak lingkungan yang dihasilkan pada setiap unit proses pengolahan lumpur tinja?

1.3 Tujuan

Tujuan untuk penelitian ini adalah:

- 1 Menentukan kategori dampak lingkungan yang relevan dalam proses pengolahan lumpur tinja menggunakan perangkat lunak Simapro
- 2 Menghitung seberapa besar dampak yang dihasilkan pada setiap unit proses pengolahan lumpur tinja

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

- 1 Lokasi penelitian yaitu IPLT Keputih Surabaya
- 2 Parameter kualitas lumpur tinja yang akan dianalisis adalah BOD, COD, TSS, dan pH.
- 3 Beban pengolahan yang dihitung adalah beban BOD, bCOD, dan N organik *biodegradable*
- 4 Waktu pelaksanaan penelitian adalah pada bulan Januari – Juni 2024
- 5 Sistem yang dikaji meliputi proses pengolahan lumpur tinja dengan konsep gate to gate
- 6 Data sekunder yang diperoleh dari pihak IPLT Keputih yaitu meliputi debit pengolahan, parameter efluen, serta jumlah penggunaan energi yang dipakai untuk kegiatan pengolahan
- 7 Menggunakan metode Impact 2002 + pada *life cycle assessment* (LCA) dengan *software* SimaPro 9.5
- 8 Kategori dampak yang dipilih yaitu *global warming*, *non renewable energy* dan *aquatic eutrophication*

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Menambah wawasan dan pengetahuan mengenai metode Life Cycle Assessment (LCA) dalam penilaian dampak lingkungan dari pengolahan lumpur tinja, khususnya dengan menggunakan perangkat lunak SimaPro.
2. Memberikan informasi seberapa besar dampak yang dihasilkan pada setiap unit proses pengolahan IPLT Keputih.
3. Sebagai bahan evaluasi, informasi ini berguna bagi pengelola IPLT dalam menganalisis aktivitas proses pengolahan lumpur tinja yang ramah lingkungan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Tinja

Tinja merupakan hasil dari proses metabolisme tubuh manusia yang perlu dikeluarkan untuk menghindari penumpukan zat beracun. Feses dan urin biasanya dibuang ke tangki septik, dan lumpur tinja yang sudah terkumpul di sana dapat diarahkan ke instalasi pengolahan khusus. Komposisi dan volume lumpur dalam tangki septik dipengaruhi oleh kondisi iklim serta kesehatan manusia (Richard, 1989).

Komposisi Kimiawi:

- Karbon Organik: Merupakan komponen organik utama yang berasal dari sisa makanan dan sel-sel tubuh yang terbuang.
- Nutrien: Mengandung nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan elemen lainnya yang dapat menjadi sumber nutrisi bagi tanaman jika diolah dengan benar.
- Patogen: Mengandung mikroorganisme patogen seperti bakteri, virus, dan parasit yang dapat menyebabkan penyakit.

Fisik:

- Konsistensi: Tinja memiliki konsistensi yang bervariasi dari cair hingga padat, tergantung pada kandungan airnya.
- Bau: Tinja memiliki bau khas yang disebabkan oleh gas-gas hasil dekomposisi bahan organik oleh bakteri anaerobik.

Limbah tinja merupakan hasil buangan manusia yang terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan populasi. Ketika tidak dikelola dengan baik, limbah ini dapat menjadi masalah lingkungan karena memiliki kandungan organik dan toksisitas yang tinggi bagi ekosistem sekitar (Lestari dan Yudihanto, 2013).

Manfaat Pengolahan Limbah Tinja:

Pengurangan Risiko Kesehatan:

- Eliminasi Patogen: Pengolahan yang tepat menghilangkan patogen, sehingga mengurangi risiko penyakit yang ditularkan melalui air atau kontak langsung dengan limbah.

Perlindungan Lingkungan:

- Mencegah Pencemaran: Pengolahan limbah tinja mencegah pencemaran air dan tanah yang dapat terjadi akibat pembuangan limbah yang tidak diolah.

Pemanfaatan Sumber Daya:

- Pupuk Organik: Nutrien dan bahan organik dalam limbah tinja dapat diolah menjadi pupuk organik yang bermanfaat untuk pertanian.

2.2 Karakteristik Lumpur Tinja

Lumpur tinja, atau septage, merujuk pada kombinasi lumpur, busa, dan cairan yang ditarik dari sistem pengolahan on-site individual saat proses pengosongan tangki tinja. Lumpur ini mengandung berbagai macam nutrisi, zat organik, mikroorganisme, serta telur parasit yang bervariasi. Lumpur tinja adalah endapan lumpur yang terkumpul di dalam tangki septik. Biasanya, ciri khas lumpur tinja mencakup keberadaan pasir dan lemak dalam jumlah besar, aroma yang tajam, kemudahan berbusa saat diaduk, sulit mengendap, serta memiliki tingkat padatan dan kandungan organik yang tinggi. Lumpur tinja memiliki konsentrasi nutrisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan air limbah (Lestari dan Yudihanto, 2013).

Lumpur tinja merujuk pada semua materi yang terkandung dalam tangki septik, cubluk tunggal, atau endapan lumpur dari unit pengolahan air limbah lainnya, yang dibersihkan dengan bantuan mobil. Septage, atau lumpur tinja, merupakan kombinasi dari lumpur, busa, dan cairan yang disedot dari sistem pengolahan on-site individu selama proses pengosongan tangki tinja (Metcalf dan Eddy, 1991).

Karakteristik Fisik Lumpur Tinja:

Konsistensi:

- Variasi Konsistensi: Lumpur tinja memiliki konsistensi yang bervariasi dari semi-padat hingga padat tergantung pada kadar airnya. Proses dewatering dapat digunakan untuk mengurangi kadar air dan meningkatkan kekentalan lumpur.

Warna:

- Warna: Lumpur tinja biasanya berwarna coklat gelap hingga hitam, tergantung pada kandungan bahan organik dan proses pengolahannya.

Bau:

- Bau: Menghasilkan bau yang kuat dan tidak sedap akibat dekomposisi bahan organik oleh bakteri anaerobik. Bau ini dapat berkurang melalui proses stabilisasi seperti anaerobic digestion atau kompos.

Karakteristik Biologis Lumpur Tinja:

Mikroorganisme:

- Mikroorganisme Dekomposer: Lumpur tinja mengandung mikroorganisme seperti bakteri dan fungi yang berperan dalam penguraian bahan organik. Proses pengolahan seperti anaerobic digestion memanfaatkan mikroorganisme ini untuk mengurangi volume dan menstabilkan lumpur.

2.3 Baku Mutu Kualitas Lingkungan

2.3.1 Parameter Kualitas Air

Parameter kualitas air limbah digunakan untuk mengetahui tingkat pencemaran yang terjadi pada lingkungan. Standar baku mutu kegiatan domestik dapat dilihat pada Tabel 2.1 berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Tabel 2.2 berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Kegiatan Domestik Berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup

Parameter	Satuan	Kadar Paling Tinggi
BOD5	mg/L	100
TSS	mg/L	100
PH	-	6-9
Minyak dan Lemak	mg/L	10

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup, 2014

Tabel 2. 2 Baku Mutu Kegiatan Domestik Pada Peraturan Gubernur Jawa Timur

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
BOD5	mg/L	30

COD	mg/L	50
TSS	mg/L	50
Minyak dan Lemak	mg/L	10
PH	-	6-9

Sumber: Peraturan Gubernur Jawa Timur, 2013

2.3.1.1 Parameter Kualitas Air

Total Suspended Solid (TSS) mencakup semua zat padat seperti pasir, lumpur, dan tanah liat, atau partikel yang tersuspensi dalam air. Partikel ini bisa berupa komponen hidup (biotik) seperti fitoplankton, zooplankton, bakteri, dan fungi, maupun komponen mati (abiotik) seperti detritus dan partikel anorganik (Tarigan dan Edwar, 2003).

2.3.1.2 Parameter Kualitas Air

a. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

Biochemical Oxygen Demand (BOD) adalah oksigen yang dibutuhkan suatu mikroorganisme untuk mengurai bahan organik. Angka BOD mencerminkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan sebagian besar zat organik terlarut dan beberapa zat organik yang tersuspensi dalam air.

Penentuan BOD sangat penting untuk menilai beban pencemaran yang diakibatkan oleh air limbah domestik atau industri (Gunawan, 2006). Dasar uji BOD adalah didasarkan pada pengukuran jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh mikroorganisme selama proses dekomposisi bahan organik dalam sampel air selama periode inkubasi tertentu, biasanya 5 hari pada suhu 20°C.

b. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik dan anorganik secara kimiawi. COD adalah uji yang dilakukan untuk menentukan kandungan senyawa organik yang mudah terurai (biodegradable) dan yang tidak mudah terurai (non-biodegradable) (Kumar et al., 2010). Tes COD digunakan untuk mengukur kadar bahan organik yang dapat dioksidasi secara kimia menggunakan dikromat dalam media asam (Metcalf dan Eddy, 2003).

Uji COD melibatkan oksidasi bahan organik dalam sampel air menggunakan oksidator kuat seperti kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) dalam kondisi asam (dengan penambahan asam sulfat, H_2SO_4). Reaksi oksidasi ini mengonsumsi oksigen yang diukur sebagai jumlah oksigen yang dibutuhkan.

Pengujian COD biasanya mengikuti metode standar yang ditetapkan oleh badan-badan seperti American Public Health Association (APHA), Environmental Protection Agency (EPA), atau Standar Nasional Indonesia (SNI).

c. *Ph*

pH adalah ukuran yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. pH adalah singkatan dari "potential of Hydrogen" yang mengacu pada konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam larutan. Skala pH berkisar dari 0 hingga 14, dengan nilai pH 7 dianggap netral, nilai di bawah 7 menunjukkan sifat asam, dan nilai di atas 7 menunjukkan sifat basa atau alkalin.

pH adalah salah satu faktor lingkungan yang mempengaruhi keberlangsungan hidup mikroorganisme dalam air (Sutrisno dan Suciastuti, 2002). pH yang tepat sangat penting untuk proses pengolahan limbah secara biologis. Secara umum, mikroorganisme memerlukan pH antara 6,5 hingga 9 untuk berkembang dengan baik. pH yang terlalu tinggi (>9) dapat menghambat aktivitas mikroorganisme, sementara pH yang terlalu rendah (di bawah 6,5) dapat memicu pertumbuhan jamur dan bakteri

yang bersaing dalam proses metabolisme bahan organik (Jonrizal, 2001).

2.3.1.3 Parameter Biologis

Bakteri patogen yang ditemukan dalam feses manusia termasuk dalam keluarga Enterobacteriaceae (Triatmojo, 1993). Familia Enterobacteriaceae adalah keluarga bakteri yang mencakup banyak patogen yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia dan hewan. Beberapa bakteri yang termasuk dalam keluarga ini adalah:

Coliform adalah jenis bakteri yang selalu ada dalam sistem pencernaan hewan dan manusia dan sering ditemukan dalam limbah. Bakteri dalam kelompok ini meliputi *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, dan *Citrobacter*. *Escherichia coli* khususnya hanya ditemukan dan berasal dari feses hewan berdarah panas dan manusia (Sutapa, 2006).

Selain bakteri, fungi juga dapat ditemukan dalam tangki septik. Fungi biasanya merupakan organisme saprofit yang memperoleh nutrisi dari degradasi bahan organik yang telah mati (Gerardi, 2006). Fungi (jamur) yang ditemukan dalam sistem pengolahan air limbah seperti tangki septik biasanya merupakan organisme saprofit.

2.3.1.4 Parameter Kualitas Udara

Pencemaran udara terjadi ketika kualitas udara menurun dan telah tercemar oleh zat-zat berbahaya. Standar mutu udara adalah parameter yang menetapkan batas-batas energi serta kandungan zat atau komponen yang terdapat di udara. Di wilayah Jawa Timur, regulasi mengenai baku mutu udara untuk kegiatan industri diatur melalui Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 10 Tahun 2009, seperti yang tercantum dalam Tabel 2.3. Meskipun Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 10 Tahun 2009 tidak secara khusus menyebutkan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT), namun industri ini termasuk dalam kategori kegiatan industri lainnya.

Tabel 2.3 Standar Mutu Udara Pada Peraturan Gubernur Jawa Timur

No	Parameter	Nilai Baku Mutu
1.	Debu	0,26 mg/ Nm ³
2.	Sulfur Dioksida (SO _x)	0,1 ppm (262 µg/Nm ³)
3.	Nitrogen Oksida (NO _x)	0,05 ppm (92,5 µg/Nm ³)
4.	Karbon Dioksida (CO)	20,00 ppm (22,600 µg/Nm ³)
5.	Hidrokarbon	0,24 ppm(160 µg/Nm ³)

Sumber: Peraturan Gubernur Jawa Timur, 2009

2.4 Dampak Pengolahan Lumpur Tinja Terhadap Lingkungan

Jika tidak diolah dengan benar, limbah lumpur tinja dapat menghasilkan kontaminan yang berpotensi mencemari badan air apabila dilepaskan langsung ke lingkungan dan belum memenuhi standar baku mutu air. Limbah tinja yang belum diolah masih mengandung kadar BOD, COD, TSS, pH, minyak dan lemak, serta *Escherichia coli* yang tinggi (Moertinah, 2010).

Sebanyak 46,91% limbah domestik di Kota Batam dialirkan ke saluran terbuka yang menuju saluran drainase, sementara 28,96% dialirkan ke saluran tertutup yang menuju tangki septik, dan sisanya langsung dibuang ke badan air (Joko dan Fitri, 2012). Pada tahun 2008, terdapat insiden penyakit akibat pencemaran air (waterborne disease) di mana sekitar 2,71% penduduk terjangkit penyakit diare, dengan 0,53% di antaranya adalah balita. Menurut data dari Dinas Kesehatan Kota Batam, terjadi peningkatan kasus diare sebesar 34,67% pada tahun 2010 dibandingkan dengan tahun sebelumnya.

Pertumbuhan populasi yang mengakibatkan kontaminasi sumber daya air oleh polutan tinja menimbulkan risiko kesehatan yang serius bagi manusia dan memperburuk masalah kualitas air (Reischer et al., 2008). Oleh karena itu, analisis dan manajemen risiko

yang fokus pada proses pengolahan dan parameter efluen yang diukur menjadi sangat penting. Tujuannya adalah untuk mencegah paparan polutan, termasuk bakteri patogen, kepada manusia dan mengurangi tingkat pencemaran di lingkungan seperti tanah, air, dan udara (Pall et al., 2016).

2.4.1 Global Warming

Tantangan utama yang dihadapi pada abad ke-21 adalah perubahan iklim global. dengan pemanasan global sebagai faktor penyebab utama. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitro oksida (N₂O), perfluorokarbon (PFC), hidrofluorokarbon (HFC), dan sulfur heksafluorida (SF₆) memainkan peran signifikan dalam pemanasan ini.

Contoh kasus yang menyoroti dampak perubahan iklim termasuk emisi metana di Texas bagian timur yang ternyata lebih tinggi dari perkiraan sebelumnya, menunjukkan perlunya teknologi pengawasan yang lebih canggih. Selain itu, Hutan Amazon, yang biasanya berfungsi sebagai penyerap karbon besar, mengalami penurunan kemampuan ini akibat kekeringan parah, sehingga pada tahun-tahun tertentu, emisi karbonnya lebih tinggi daripada penyerapan.

Pemanasan global telah menjadi salah satu isu lingkungan paling krusial yang dihadapi dunia saat ini. Fenomena ini mengacu pada peningkatan bertahap suhu global akibat peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK). Matahari mengirimkan radiasi gelombang pendek ke bumi, yang kemudian diserap dan dipantulkan kembali sebagai radiasi inframerah gelombang panjang. Sebagian dari panas yang dipantulkan ini terperangkap di atmosfer. Akumulasi GRK di lapisan atmosfer menyebabkan peningkatan penyimpanan panas di permukaan bumi, sehingga suhu rata-rata tahunan global meningkat (UNFCCC, 2006).

Peningkatan suhu dan keasaman air laut menyebabkan kerusakan signifikan pada terumbu karang, mengancam mata pencaharian dan keamanan pangan komunitas pesisir. Selain itu, musim kebakaran menjadi lebih panjang dan intens, dengan kebakaran hutan yang lebih sering melepaskan banyak karbon ke atmosfer dan memperlambat pemulihan hutan. Beberapa komunitas pesisir dan ekosistem telah mencapai batas adaptasi terhadap perubahan iklim, mengalami kerugian yang tidak dapat dihindari atau diatasi, seperti kematian terumbu karang dan kegagalan produksi pangan akibat suhu yang lebih tinggi.

Setiap metode pengolahan air limbah memiliki potensi untuk menghasilkan emisi gas rumah kaca, baik dari proses pengolahannya maupun dari peralatan penunjang operasionalnya (Singh dan Kansal, 2018). Instalasi pengolahan air limbah tertentu dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca dalam jumlah yang signifikan, terutama karbon dioksida, metana, dan nitrogen oksida (Chang, Kyung, dan Lee, 2014).

Jika pemanasan global tidak ditangani, diperkirakan pada tahun 2100 suhu udara dapat meningkat sekitar 1,4-5,8°C dibandingkan dengan suhu udara pada tahun 1990. Kenaikan suhu ini berpotensi menyebabkan perubahan iklim yang ekstrem, termasuk gangguan ekosistem dan pelelehan es di wilayah kutub, yang dapat menyebabkan kenaikan permukaan air laut sekitar 9-88 cm pada tahun 2100 (Houghton et al., 2001).

2.4.2 Aquatic Eutrophication

Eutrofikasi adalah kondisi kelebihan nutrisi anorganik, terutama senyawa nitrogen (N) dan fosfor (P), yang memicu pertumbuhan tanaman secara cepat. Biasanya, fenomena ini disebabkan oleh pembuangan limbah organik ke dalam perairan, yang mengganggu keseimbangan organisme yang ada. Keadaan ini dapat memicu pertumbuhan berlebihan fitoplankton, yang berpotensi membahayakan organisme perairan lainnya (Abuka, 2012). Konsentrasi nutrisi yang tinggi dapat memicu proses eutrofikasi dan perkembangan populasi fitoplankton yang meluas (blooming). Peningkatan yang

berlebihan dalam jumlah fitoplankton, yang dikenal sebagai algae bloom, dapat terjadi karena adanya kondisi lingkungan perairan yang mendukung pertumbuhan tersebut. Lonjakan besar dalam populasi fitoplankton, yang kemudian diikuti oleh beberapa jenis fitoplankton beracun, dapat menyebabkan munculnya bloom alga berbahaya (harmful algae blooms) (Mulyani dkk., 2012).

Peningkatan yang semakin berkelanjutan dalam konsentrasi nutrisi pada akhirnya dapat mengakibatkan eutrofikasi, membuat badan air menjadi sangat subur namun juga menyebabkan gangguan atau dampak negatif. Eutrofikasi, yang disebabkan oleh peningkatan kesuburan air yang berlebihan akibat masuknya nutrisi, terutama fosfat, dapat menyebabkan ketidakseimbangan dalam ekosistem perairan (Garno, 2012). Keberadaan fitoplankton HABs (Harmful Algal Blooms) dalam perairan dapat dipicu oleh berbagai faktor, termasuk eutrofikasi atau peningkatan kandungan nutrisi, seperti nitrat dan fosfat, yang berperan dalam perkembangan fitoplankton (Anderson et al., 2008).

Proses ini memiliki beberapa dampak negatif terhadap ekosistem perairan, upaya mitigasi yang dapat dilakukan Menggunakan teknologi pengolahan air limbah yang canggih untuk menghilangkan nutrisi sebelum air limbah dibuang ke perairan. Menggunakan lumpur tinja yang telah diolah sebagai pupuk organik dengan memastikan bahwa nutrisi telah stabil dan tidak akan menyebabkan eutrofikasi ketika diaplikasikan ke tanah.

Eutrofikasi menjadi masalah yang terus meningkat di seluruh dunia, terutama disebabkan oleh peningkatan kandungan nutrisi nitrogen dan fosfor dalam air limbah (Ahtiainen et al., 2014). Pada konsentrasi optimum, unsur hara nitrogen dan fosfor bermanfaat untuk pertumbuhan fitoplankton, yang merupakan sumber makanan bagi ikan, sehingga dapat meningkatkan produksi ikan di waduk. Namun, jika konsentrasi unsur-unsur tersebut tinggi, hal ini dapat menyebabkan pertumbuhan fitoplankton yang berlebihan atau eutrofikasi. Dalam kondisi parah, kualitas air dapat menurun, menyebabkan air menjadi keruh, oksigen terlarut menurun, dan dapat timbul gas dan bahan beracun (Sugiura et al., 2004).

2.4.3 Non Renewable Energy

Penggunaan energi non-renewable, seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam, memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Pembakaran bahan bakar fosil melepaskan sejumlah besar karbon dioksida (CO_2) dan gas rumah kaca lainnya ke atmosfer, yang berkontribusi pada pemanasan global dan perubahan iklim. Selain itu, proses ini juga menghasilkan polusi udara, termasuk zat berbahaya seperti sulfur dioksida (SO_2), nitrogen oksida (NO_x), dan partikel halus ($\text{PM}_{2.5}$).

Polutan ini dapat menyebabkan masalah kesehatan serius seperti penyakit pernapasan, kardiovaskular, dan kanker. Penambangan dan ekstraksi bahan bakar fosil juga menyebabkan kerusakan habitat, pencemaran air, dan degradasi tanah, yang berdampak negatif pada keanekaragaman hayati dan ekosistem. Selain itu, tumpahan minyak dan kecelakaan lainnya dalam industri ini dapat menyebabkan kerusakan lingkungan yang luas dan memakan waktu lama untuk pulih. Semua ini menekankan perlunya peralihan ke sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Sektor energi memiliki peran krusial di Indonesia, tidak hanya sebagai penggerak pertumbuhan ekonomi domestik tetapi juga sebagai komoditas ekspor. Namun, pertumbuhan ekonomi ini dapat membawa dampak negatif terhadap sumber daya alam, seperti air, udara, dan tanah. Dampak tersebut seringkali berupa pencemaran akibat penggunaan energi, yang dapat menghasilkan limbah padat, limbah cair, dan polutan dari emisi pembakaran bahan bakar fosil seperti partikel, SO_2 , NO_x , dan CO_2 (Sugiyono,

2002).

Lean dan Smyth (2009) mengungkapkan bahwa kenaikan satu persen dalam konsumsi listrik per kapita dapat berkontribusi pada peningkatan emisi karbon (CO₂) per kapita. Hasil penelitian Zhu dan Peng (2012) juga menunjukkan bahwa perubahan dalam tingkat konsumsi dan struktur populasi penduduk merupakan faktor kunci yang memengaruhi tingkat intensitas emisi karbon.

Selain itu, penggunaan bahan bakar fosil tidak hanya meningkatkan emisi karbon tetapi juga menyebabkan penurunan kualitas udara yang signifikan, yang berkontribusi pada masalah kesehatan seperti penyakit pernapasan dan kardiovaskular. Penggunaan sumber energi yang tidak terbarukan juga menyebabkan penipisan cadangan sumber daya alam yang berharga dan memperparah perubahan iklim global. Oleh karena itu, ada kebutuhan mendesak untuk beralih ke sumber energi terbarukan dan mengembangkan teknologi yang lebih ramah lingkungan guna mengurangi dampak negatif tersebut dan memastikan keberlanjutan ekonomi serta kesehatan lingkungan di masa depan.

Semua bahan bakar fosil mengandung karbon, dan saat terbakar, karbon dilepaskan ke atmosfer dalam bentuk karbon dioksida (CO₂). Gas ini termasuk dalam kategori emisi gas rumah kaca, yang menjadi penyebab pemanasan global atau, lebih tepatnya, perubahan iklim (Tietenberg dan Lewis, 2011).

Selain itu, berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar fosil tidak hanya meningkatkan emisi karbon tetapi juga berdampak pada kualitas udara yang buruk, yang dapat mengakibatkan masalah kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, ada dorongan yang semakin kuat untuk beralih ke sumber energi terbarukan yang lebih bersih untuk mengurangi dampak negatif tersebut terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

Konsentrasi CO₂ saat ini mencapai tingkat tertinggi dalam 125,000 tahun terakhir. Meskipun masih terdapat perdebatan ilmiah mengenai jumlah cadangan minyak yang dapat dieksplorasi, dampak negatif CO₂ terhadap pemanasan global hampir diterima oleh semua pihak. Hal ini membawa ancaman serius bagi kehidupan di bumi (Lubis, 2007).

2.5 Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)

Surabaya memiliki tujuan sanitasi untuk menyediakan layanan sanitasi yang efisien, efektif, dan ramah lingkungan kepada masyarakatnya melalui penyediaan sistem pengolahan limbah domestik yang memadai. Salah satu pendekatan pengolahan limbah adalah melalui sistem sanitasi terpusat (off-site system) (Herumurti dan Dian, 2016).

Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) merupakan fasilitas pengolahan air limbah yang dirancang khusus untuk menerima dan mengolah lumpur tinja yang diangkut menggunakan mobil, seperti truk tinja. Proses pengolahan lumpur tinja di IPLT dianggap sebagai tahap lanjutan karena lumpur tinja yang telah mengalami proses pengolahan di tangki septik masih belum dapat dibuang ke lingkungan secara langsung (Oktarina dan Haki, 2013). IPLT merupakan komponen dari sistem pengelolaan air limbah rumah tangga yang ditempatkan di area perkotaan dan memiliki fungsi khusus untuk mengolah lumpur tinja (faecal sludge) yang berasal dari tangki septik, sehingga hasil olahannya tidak menimbulkan pencemaran lingkungan sekitar (Prayudi, 2013).

2.6 Unit Pengolahan Pada Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)

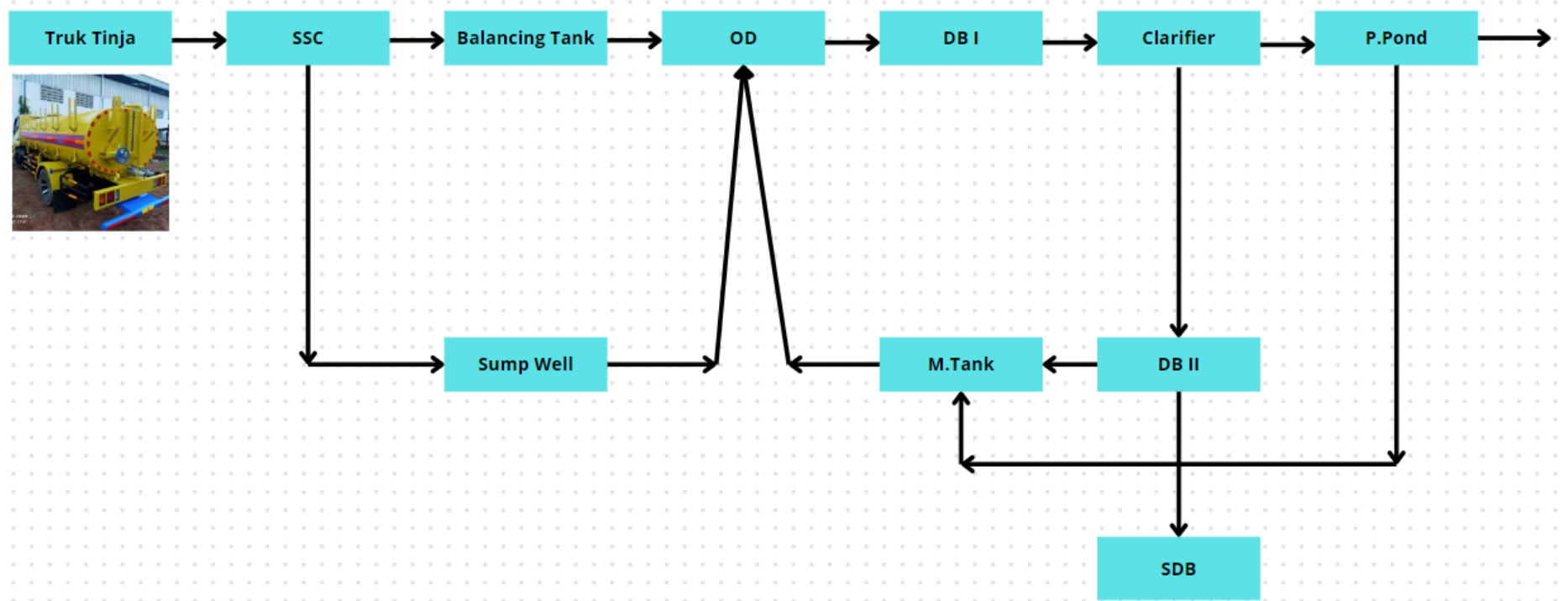
Kota Surabaya merupakan salah satu kota yang memiliki sistem sanitasi terpusat, yaitu Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) yang terletak di Kelurahan Keputih, Kecamatan Sukolilo (Herumurti dan Dian, 2016). Proses pengolahan di IPLT Keputih dibagi menjadi tiga tahap utama, yaitu (Herumurti dan Dian, 2016):

a. Tahap Pengolahan Fisik

1. Ruang Pemisahan Padatan (SSC):

- Tahap ini melibatkan pemisahan material padat dari lumpur tinja. Material yang lebih berat mengendap di dasar chamber sementara cairan mengalir ke tahap berikutnya.
- 2. Tanki Penyeimbang (BT):
 - Fungsi tangki ini adalah menyeimbangkan aliran lumpur tinja sebelum masuk ke unit pengolahan berikutnya, memastikan aliran yang stabil dan mengurangi fluktuasi beban pengolahan.
- 3. Kotak Distribusi 1 (DB I):
 - Kotak distribusi pertama ini membagi aliran lumpur tinja ke beberapa jalur pengolahan berikutnya, memastikan distribusi yang merata.
- 4. Kotak Distribusi 2 (DB II):
 - Mirip dengan DB I, kotak distribusi kedua ini mengatur aliran lumpur ke unit pengolahan biologis berikutnya.
- b. Tahap Pengolahan Biologis
 1. Parit Oksidasi (OD):
 - Di tahap ini, lumpur tinja diolah secara biologis dengan menggunakan mikroorganisme aerobik untuk menguraikan bahan organik. Proses ini berlangsung dalam kondisi terkontrol untuk memaksimalkan efisiensi dekomposisi.
 2. Final Clarifier (FC):
 - Setelah melalui oxidation ditch, lumpur dipindahkan ke clarifier akhir untuk pemisahan material padat yang tersisa dari cairan. Material padat yang mengendap di dasar clarifier kemudian diolah lebih lanjut.
 3. Kolam Pengendap (PP):
 - Cairan yang telah dipisahkan dari lumpur padat di clarifier akhir kemudian masuk ke kolam polishing untuk tahap akhir pengolahan. Di sini, cairan mengalami pemurnian tambahan sebelum dibuang atau digunakan kembali.
- c. Tahap Pengolahan Lumpur
 1. Tempat Pengereng Lumpur (SDB):
 - Material padat yang dihasilkan dari clarifier dikeringkan di tempat pengeringan lumpur. Proses ini mengurangi kandungan air dan volume lumpur, membuatnya lebih mudah untuk ditangani dan diolah lebih lanjut.
 2. Area Pengerengan Lumpur (DA):
 - Setelah melalui sludge drying bed, lumpur dipindahkan ke area pengeringan untuk proses pengeringan akhir. Lumpur yang telah dikeringkan dapat digunakan sebagai pupuk atau dibuang dengan aman.

Lalu untuk gambar diagram alir pada pengolahan IPLT Keputih ada pada gambar 2.1 dibawah ini:



Gambar 2. 1 Diagram Alir Proses Pengolahan di IPLT Keputih
 Sumber: IPLT Keputih

2.6.1 Ruang Pemisahan Padatan (SSC)

Kamar Pemisahan Padatan (Solid Separation Chamber atau SSC) adalah suatu fasilitas pengolahan fisik yang berfungsi sebagai lokasi pembuangan lumpur tinja dari truk. Tujuannya adalah untuk memisahkan komponen padatan yang sangat tinggi dalam lumpur tinja dari air (supernatan), sehingga mengurangi beban pengolahan yang diterima oleh oxidation ditch. Ketika lumpur tinja memasuki unit ini, proses dimulai dengan penyaringan menggunakan barscreen, diikuti oleh filtrasi melalui lapisan pasir dan kerikil, serta proses pengendapan di bagian dasar SSC. Secara umum, terdapat tiga tahap proses yang terjadi pada unit SSC., yaitu :

- a. Proses Penyaringan
Proses penyaringan pertama dilakukan menggunakan barscreen untuk menghilangkan partikel besar dan sampah yang terdapat dalam lumpur tinja. Barscreen berfungsi sebagai filter awal yang menangkap bahan-bahan padat besar seperti plastik, kertas, dan material kasar lainnya yang tidak dapat diolah secara biologis.
- b. Proses Filtrasi
Setelah melalui penyaringan, lumpur tinja mengalir melalui lapisan pasir dan kerikil. Filtrasi ini bertujuan untuk menyaring partikel-partikel padat yang lebih kecil dan memastikan bahwa hanya cairan dan partikel halus yang melanjutkan ke tahap berikutnya. Proses ini membantu mengurangi beban padatan pada sistem pengolahan lebih lanjut.
- c. Proses Pengendapan
Proses pengendapan terjadi di bagian dasar SSC di mana partikel-partikel padat yang lebih berat mengendap ke dasar kamar. Supernatan, atau air yang telah dipisahkan dari padatan, mengalir keluar dari SSC untuk diolah lebih lanjut di oxidation ditch. Padatan yang mengendap di dasar kemudian diangkut ke unit pengolahan lumpur untuk penanganan lebih lanjut.
- d. Degradasi Aerobik: Ketika lumpur tinja mengandung bahan organik, mikroorganisme aerobik akan menguraikan bahan organik ini dengan menggunakan oksigen yang tersedia dari udara. Proses ini disebut sebagai respirasi aerobik.
- e. Reaksi Kimia: Mikroorganisme mengoksidasi bahan organik, menghasilkan karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O) sebagai produk akhir. Proses ini adalah sumber utama emisi CO_2 selama pengeringan lumpur di SSC.
- f. Kondisi Anaerobik: Di bagian lumpur yang lebih dalam, atau di mana oksigen tidak tersedia cukup, mikroorganisme anaerobik akan mulai menguraikan bahan organik. Proses ini disebut sebagai fermentasi anaerobik.
- g. Reaksi Kimia: Dalam kondisi anaerobik, mikroorganisme menguraikan bahan organik menjadi metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2).

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Emisi GRK adalah semakin tinggi kadar bahan organik dalam lumpur, semakin banyak potensi emisi CO_2 yang dihasilkan selama proses penguraian.

Meskipun fungsi utama SSC adalah memisahkan padatan kasar, emisi gas rumah kaca (GRK) seperti metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) dapat terjadi dari lumpur yang disimpan di SSC. Emisi ini terutama terjadi jika lumpur tersebut mengandung banyak bahan organik dan dibiarkan untuk waktu yang cukup lama. Pada bagian permukaan lumpur atau lapisan yang masih terkena oksigen, mikroorganisme aerobik akan menguraikan bahan organik dan menghasilkan CO_2 . Sementara itu, di

bagian lumpur yang lebih dalam atau di tempat yang oksigennya terbatas, mikroorganisme anaerobik akan menguraikan bahan organik dan menghasilkan metana (CH_4) serta CO_2 . Kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembapan dapat mempengaruhi laju penguraian bahan organik dan produksi GRK. Suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan laju penguraian, sedangkan kelembapan yang tinggi dapat memperlambat pengeringan dan meningkatkan peluang pembentukan kondisi anaerobik.

Solid separation chamber yang ada pada IPLT Keputih terdiri dari 4 unit, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.2, dengan dimensi unit sebagai berikut (IPLT Keputih, 2023):

Panjang : 18 meter
Lebar : 8 meter
Tinggi : 2,75 meter



Gambar 2. 2 Ruang Pemisahan Padatan (SSC)

Sumber: Dokumen Pribadi

Effluen dari unit *solid separation chamber* adalah hasil keluaran yang dihasilkan setelah proses pemisahan padatan dari cairan dalam suatu sistem pengolahan air limbah atau proses industri lainnya. Pada unit ini, *solid separation chamber* berfungsi untuk memisahkan partikel padat yang ada dalam cairan, sehingga dapat mengurangi beban pencemaran dan meningkatkan kualitas effluen.

2.6.2 Tanki Penyeimbang (BT)

Proses ekualisasi bekerja berdasarkan prinsip bahwa unit *balancing tank* berfungsi sebagai wadah sementara untuk menangani fluktuasi debit yang disebabkan oleh variasi beban lumpur tinja. Melalui proses pencampuran (*mixing*), tujuannya adalah mencapai distribusi beban lumpur yang konsisten atau seragam.

Penampungan lumpur tinja yang masuk ke *balancing tank* berasal dari supernatan yang dialirkan dari unit SSC. Unit ini menampung lumpur sementara untuk meredam fluktuasi debit yang terjadi selama proses pengolahan. Pencampuran di dalam *balancing tank*, lumpur dicampur secara mekanis atau menggunakan aerasi untuk memastikan homogenitas. Pencampuran ini penting untuk menjaga distribusi beban lumpur yang merata sebelum menuju ke unit pengolahan selanjutnya.

Pada prinsipnya, aplikasi dari proses pada unit ini adalah sebagai berikut :

1. Reduksi Debit Puncak: Balancing tank berfungsi untuk membeikan reduksi debit dan beban puncak pada lumpur tinja, terutama saat terjadi lonjakan volume, seperti pada musim hujan ketika infiltrasi dan inflow meningkat.
2. Distribusi Beban: Dengan menampung lumpur untuk sementara waktu, balancing tank membantu dalam mendistribusikan beban secara merata, sehingga unit pengolahan biologis berikutnya dapat beroperasi dengan efisiensi yang lebih tinggi.

Pembangunan unit ekualisasi sangat bergantung pada desain sistem Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) yang akan dibuat, termasuk tipe pengolahan, karakteristik lumpur tinja, dan konfigurasi sistem pengaliran. Sasaran dari pembangunan unit ekualisasi adalah mengatasi sejumlah masalah, antara lain menangani fluktuasi aliran atau debit serta variasi beban lumpur selama operasi, meningkatkan kinerja proses di bagian hilir IPLT, dan mengurangi ukuran fisik bangunan pengolahan. Balancing tank pada IPLT Keputih terdiri dari 2 unit dapat dilihat pada Gambar 2.3, dengan dimensi sebagai berikut (IPLT Keputih, 2023):

1. Panjang : 18 meter
2. Lebar : 6 meter
3. Kedalaman : 2,5 meter



Gambar 2.3 Tanki Penyeimbang (BT)

Sumber: Dokumen Pribadi

Effluen yang dihasilkan dari balancing tank menuju oxidation ditch adalah cairan yang telah melalui tahap penyeimbangan (balancing) sebelum diproses lebih lanjut dalam sistem pengolahan air limbah.

2.6.3 Unit Parit Oksidasi

Unit *oxidation ditch* merupakan salah satu jenis sistem pengolahan air limbah biologis yang dirancang untuk mengurangi kandungan bahan organik melalui proses aerobik. Unit ini umumnya berbentuk saluran melingkar atau elips yang memungkinkan aliran air limbah mengalir secara kontinu. Di dalam *oxidation ditch*, mikroorganisme seperti bakteri aerobik berperan aktif dalam memecah bahan organik dan mengurangi pencemaran dengan memanfaatkan oksigen yang terdapat

dalam air. Proses ini berlangsung dalam kondisi aerasi, di mana oksigen diinjeksikan ke dalam air limbah untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme. Selain itu, desain unit ini sering dilengkapi dengan pengaduk untuk memastikan pencampuran yang baik antara air limbah dan mikroorganisme serta mencegah sedimentasi. Dengan kemampuannya mengolah air limbah dengan konsentrasi pencemar yang bervariasi, unit oxidation ditch menjadi pilihan populer dalam sistem pengolahan air limbah di berbagai industri dan fasilitas pengolahan air.

Metode pengolahan lumpur tinja dengan proses biologis secara aerobik melibatkan aktivitas mikroorganisme dalam mendekomposisi lumpur, dengan memanfaatkan oksigen yang dipasok melalui mamot rotor berukuran besar. Mamot rotor berperan sebagai pengaduk dan penolak, memastikan aliran lumpur dalam oxidation ditch berlangsung secara efisien. Ketika lumpur tinja mengelilingi unit parit oksidasi, terbentuk zona anoksik di mana ketersediaan oksigen sangat terbatas. OD pada IPLT Keputih terdiri dari 4 unit dapat dilihat pada Gambar 2.4, dengan dimensi sebagai berikut (IPLT Keputih, 2023):

1. Panjang total : 60,2 meter
2. Lebar permukaan : 4 meter
3. Tinggi permukaan : 1,85 meter



Gambar 2. 4 Parit Oksidasi (OD)

Sumber: Dokumen Pribadi

Unit oxidation ditch memiliki beberapa fungsi penting dalam proses pengolahan air limbah. Pertama, unit ini berfungsi untuk mengurangi Biological Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD) dengan memanfaatkan mikroorganisme aerobik yang menguraikan bahan organik, sehingga menurunkan tingkat pencemaran. Selain itu, proses nitrifikasi terjadi di dalamnya, di mana amonia (NH_3) diubah menjadi nitrit (NO_2^-) dan kemudian menjadi nitrat (NO_3^-) oleh bakteri nitrifikasi, yang penting untuk mengurangi

nitrogen dalam air limbah. Oxidation ditch juga memungkinkan terjadinya denitrifikasi, di mana nitrat diubah menjadi nitrogen gas (N_2) dalam kondisi anoksik, membantu mengurangi total kandungan nitrogen dan mencegah pencemaran lebih lanjut.

Desain unit ini sering dilengkapi dengan sistem pengadukan atau aerasi untuk menjaga suspensi biomassa dan memastikan distribusi oksigen yang merata, serta mencegah pengendapan lumpur. Mikroorganisme aktif yang terbentuk selama proses biologis diresirkulasi kembali ke dalam oxidation ditch untuk mempertahankan populasi yang efisien. Selain menghilangkan BOD, oxidation ditch juga membantu mengurangi konsentrasi nutrisi seperti fosfor dan nitrogen, yang dapat menyebabkan eutrofikasi. Dengan operasional yang berkelanjutan, unit ini dapat menangani variasi dalam aliran dan konsentrasi pencemar, serta menghasilkan lumpur aktif yang dapat dikelola lebih lanjut. Secara keseluruhan, unit oxidation ditch merupakan komponen kunci dalam sistem pengolahan air limbah yang efektif, berkontribusi pada peningkatan kualitas air dan perlindungan lingkungan.

2.6.4 Kotak Distribusi 1

Distribution box di IPLT Keputih terbagi menjadi dua bagian, yaitu *distribution box I dan II*. Terdapat 2 unit *distribution box* yang dapat dilihat pada Gambar 2.5, dengan dimensi sebagai berikut (IPLT Keputih, 2023):



Gambar 2. 5 Kotak Distribusi 1 dan 2 (DB I dan II)

Sumber: Dokumen Pribadi

1. Lebar : 8 meter
2. Tinggi : 2,75 meter

Dan 2 unit *distribution box* II, dengan ukuran dimensi sebagai berikut :

1. Panjang : 18 meter
2. Lebar : 8 meter
3. Tinggi : 2,75 meter

Unit *oxidation ditch* memiliki beberapa fungsi penting dalam proses pengolahan air limbah. Pertama, unit ini berfungsi untuk mengurangi *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dengan memanfaatkan mikroorganisme aerobik yang menguraikan bahan organik, sehingga menurunkan tingkat pencemaran. Selain itu, proses nitrifikasi terjadi di dalamnya, di mana amonia (NH_3) diubah menjadi nitrit (NO_2^-) dan kemudian menjadi nitrat (NO_3^-) oleh bakteri nitrifikasi, yang penting untuk mengurangi nitrogen dalam air limbah. *Oxidation ditch* juga memungkinkan terjadinya denitrifikasi, di mana nitrat diubah menjadi nitrogen gas (N_2) dalam kondisi anoksik, membantu mengurangi total kandungan nitrogen dan mencegah pencemaran lebih lanjut.

Desain unit ini sering dilengkapi dengan sistem pengadukan atau aerasi untuk menjaga suspensi biomassa dan memastikan distribusi oksigen yang merata, serta mencegah pengendapan lumpur. Mikroorganisme aktif yang terbentuk selama proses biologis diresirkulasi kembali ke dalam *oxidation ditch* untuk mempertahankan populasi yang efisien. Selain menghilangkan BOD, *oxidation ditch* juga membantu mengurangi konsentrasi nutrisi seperti fosfor dan nitrogen, yang dapat menyebabkan eutrofikasi. Dengan operasional yang berkelanjutan, unit ini dapat menangani variasi dalam aliran dan konsentrasi pencemar, serta menghasilkan lumpur aktif yang dapat dikelola lebih lanjut. Secara keseluruhan, unit *oxidation ditch* merupakan komponen kunci dalam sistem pengolahan air limbah yang efektif, berkontribusi pada peningkatan kualitas air dan perlindungan lingkungan.

Effluen dari unit *oxidation ditch* adalah cairan yang dihasilkan setelah proses pengolahan biologis air limbah, di mana mikroorganisme menguraikan bahan organik dan mengurangi kandungan nutrisi. Secara umum, effluen ini memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan air limbah awal, dengan penurunan yang signifikan dalam parameter seperti Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), dan padatan tersuspensi (TSS). Proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang berlangsung dalam unit ini juga berkontribusi mengurangi kandungan nitrogen, menjadikan effluen lebih aman untuk dibuang ke lingkungan.

Setelah proses biologis, effluen ini terdiri dari supernatan yang lebih jernih, yang terpisah dari lumpur aktif dan siap dialirkan ke unit pengolahan berikutnya, seperti clarifier untuk pemisahan lebih lanjut. Meskipun effluen dari *oxidation ditch* sudah mengalami pengolahan yang signifikan, biasanya masih memerlukan proses tambahan untuk memastikan bahwa kualitas air memenuhi standar sebelum dibuang atau digunakan kembali. Selain itu, lumpur aktif yang terpisah dari effluen juga perlu dikelola, di mana lumpur ini dapat diresirkulasi kembali ke *oxidation ditch* untuk mendukung proses biologis berkelanjutan atau diolah lebih lanjut. Dengan demikian, effluen dari unit *oxidation ditch* berperan penting dalam meningkatkan kualitas air dan menjaga keberlanjutan lingkungan.

2.6.5 Alat Pengendap Akhir (Final Clarifier)

Unit clarifier, atau sedimentation tank, memiliki fungsi penting dalam sistem pengolahan air limbah. Fungsi utamanya adalah memisahkan padatan tersuspensi dari cairan setelah proses pengolahan awal, seperti di *oxidation ditch*. Dalam clarifier, gravitasi digunakan untuk mengendapkan padatan ke dasar tank, menghasilkan supernatan yang lebih jernih di bagian atas. Proses ini secara signifikan mengurangi Total Suspended Solids (TSS), sehingga meningkatkan

kualitas air yang dihasilkan dan memastikan effluen memenuhi standar kualitas untuk dibuang ke lingkungan atau digunakan kembali.

Supernatan dari unit clarifier sering menjadi langkah penting sebelum air limbah diolah lebih lanjut di unit filtrasi atau proses lainnya. Selain itu, clarifier memungkinkan pengelolaan lumpur yang diendapkan, yang mengandung mikroorganisme aktif dan dapat diresirkulasi kembali ke proses sebelumnya untuk mendukung pengolahan biologis yang berkelanjutan. Dengan menghilangkan padatan, unit clarifier juga membantu mengurangi potensi bau dan meningkatkan kualitas air secara keseluruhan, serta mengurangi beban pencemaran yang diterima oleh unit pengolahan berikutnya. Secara keseluruhan, unit clarifier berperan kunci dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem pengolahan air limbah.. *Final clarifier* yang ada pada IPLT Keputih terdiri dari 2 unit yang dapat dilihat pada Gambar 2.6, dengan dimensi sebagai berikut (IPLT Keputih, 2023):

- Diameter : 6 meter
- Kedalaman : 2,45 meter



Gambar 2. 6 Alat Pengendap Akhir (Clarifier)

Sumber: Dokumen Pribadi

Tujuan utama dari unit *clarifier* adalah untuk memisahkan lumpur aktif (*activated sludge*) dari supernatan ataupun untuk mengendapkan flok-flok yang terbentuk akibat penguraian bahan organik oleh mikroorganisme pada pengolahan biologis. Lumpur yang mengandung bakteri yang masih aktif akan diresirkulasi kembali ke *activated sludge* dan juga dialirkan ke unit pengolahan lumpur (Metcalf dan Eddy, 2003).

Unit pengendapan akhir terbagi menjadi tiga zona, yaitu zona inlet, zona pengendapan lumpur, dan zona outlet. Zona inlet terhubung dengan pipa yang berasal dari outlet *activated sludge*. Bagian dasar bak dibuat miring untuk memastikan lumpur yang mengendap dapat dikumpulkan ke dalam ruang lumpur dengan bantuan *scraper*. Ruang lumpur berbentuk lingkaran terletak di tengah bak.

Masing-masing memiliki peran penting dalam proses pemisahan padatan dari cairan. Zona inlet adalah area di mana effluen dari proses sebelumnya, seperti clarifier, masuk ke dalam unit ini. Di zona ini, aliran cairan didistribusikan secara merata untuk menghindari turbulensi yang dapat mengganggu proses sedimentasi. Setelah itu, cairan masuk ke zona pengendapan lumpur, di mana proses sedimentasi berlangsung. Dalam zona ini, padatan yang tersuspensi mulai mengendap ke dasar tank akibat pengaruh gravitasi, membentuk lapisan lumpur. Zona outlet berada di bagian atas unit, di mana supernatan yang lebih jernih terkumpul dan dialirkan keluar. Zona ini dirancang untuk memastikan bahwa air bersih yang dihasilkan bebas dari padatan tersuspensi yang dapat mencemari lingkungan. Dengan pengaturan tiga zona ini, unit pengendapan akhir dapat secara efisien memisahkan padatan dari cairan, meningkatkan kualitas effluen sebelum dibuang atau diproses lebih lanjut.

Lumpur yang terkumpul dalam ruang lumpur akan dipompa menggunakan pompa lumpur, sedangkan supernatan akan keluar melalui sistem pelimpah untuk menjalani tahap proses selanjutnya (Metcalf dan Eddy, 2003). Efluen yang dihasilkan dari unit final clarifier terdiri dari supernatan yang mengalir melalui v-notch weir menuju unit polishing pond secara gravitasi, dan lumpur yang mengalir menuju distribution box II juga secara gravitasi.

2.6.6 Kolam Pemurni (Polishing Pond)

Polishing Pond adalah unit pengolahan biologis yang dirancang untuk meningkatkan kualitas efluen setelah melalui unit *clarifier*. Unit ini berfungsi untuk menghilangkan nutrien seperti nitrogen dan fosfor serta partikel-partikel tersuspensi yang masih ada, sehingga efluen yang dihasilkan menjadi lebih jernih dan sesuai dengan standar lingkungan sebelum dibuang ke badan air.. *Polishing pond* pada IPLT Keputih terdiri dari 1 unit dapat dilihat pada Gambar 2.7, dengan dimensi sebagai berikut (IPLT Keputih, 2023):

1. Panjang : 15,4 meter
2. Lebar : 6,1 meter
3. Tinggi : 2,5 meter



Gambar 2. 7 Kolam Pemurni (PPond)

Sumber: Dokumen Pribadi

Umumnya, kedalaman polishing pond sebesar 5 sampai 10 feet (EPA, 2002). Kedalaman yang lebih besar, dapat menurunkan kemampuan ganggang untuk tumbuh. Tujuan utama dari polishing pond adalah menghilangkan nutrien, seperti nitrogen dan fosfor. Polishing pond dirancang untuk meningkatkan kompatibilitas lingkungan dan kualitas efluen dari tahap pengolahan sebelumnya, sehingga efluen menjadi lebih higienis sebelum dibuang ke badan air. Fungsi polishing pond adalah sebagai tahap akhir dalam memastikan bahwa standar peraturan hukum lingkungan yang diterapkan oleh pemerintah dapat dipenuhi.

Proses yang terjadi pada polishing pond adalah penyaringan dan penjernihan yaitu efluen dari unit clarifier yang telah mengalami proses pengendapan akan mengalir masuk ke polishing pond. Polishing pond bekerja dengan prinsip sedimentasi alami, di mana partikel tersuspensi akan mengendap ke dasar kolam karena gravitasi. Tanaman air dan mikroorganisme yang ada di dalam kolam juga membantu dalam proses penyaringan ini. Polishing pond efektif dalam menghilangkan nutrien seperti nitrogen dan fosfor melalui proses biologis. Tanaman air menyerap nutrien ini untuk pertumbuhan mereka, dan mikroorganisme menguraikan senyawa-senyawa organik yang tersisa, lalu proses alami fotosintesis oleh tanaman air meningkatkan kadar oksigen terlarut di dalam air, yang membantu dalam menguraikan bahan organik lebih lanjut.

Polishing pond membantu mengurangi populasi mikroorganisme patogen dengan menyediakan waktu tinggal yang cukup lama bagi efluen. Proses alami ini memastikan bahwa air yang keluar dari polishing pond lebih aman dan bersih. Air yang telah melalui polishing pond akan menjadi lebih jernih dan sesuai dengan standar kualitas lingkungan. Sebagian air bersih ini dapat digunakan kembali dalam proses pengolahan di IPLT atau dibuang ke badan air penerima. Selain itu edimen

halus yang mengendap di dasar polishing pond secara periodik perlu dibersihkan untuk menjaga kapasitas dan efisiensi kolam.

2.6.7 Tempat Pengeringan Lumpur (SDB)

Sludge drying bed (SDB) merupakan unit pengolahan lumpur. *Sludge drying bed* adalah *natural dewatering* dengan memanfaatkan tenaga sinar matahari. *Dewatering* merupakan metode untuk mengurangi kadar air dalam lumpur. Lumpur buangan dipompakan menuju ke SDB untuk dikeringkan. SDB pada IPLT Keputih terdiri dari 24 unit dapat dilihat pada Gambar 2.8, dengan dimensi sebagai berikut (IPLT Keputih, 2023):

1. Panjang : 34 meter
2. Lebar : 25 meter
3. Tinggi : 0,9 meter



Gambar 2. 8 Tempat Pengeringan Lumpur (SDB)

Sumber: Dokumen Pribadi

Lumpur yang telah diolah sebelumnya di unit clarifier atau unit pengolahan lainnya dipompakan ke dalam *Sludge drying bed*. Lumpur ini biasanya masih mengandung kadar air yang cukup tinggi. Lumpur yang dipompakan ke *Sludge drying bed* akan dihamparkan dalam lapisan tipis untuk mempercepat proses pengeringan. Sinar matahari dan sirkulasi udara membantu menguapkan air dari lumpur. Air yang tersisa dalam lumpur akan meresap melalui lapisan pasir dan kerikil yang ada di dasar *Sludge drying bed*. Proses ini juga membantu dalam memisahkan air dari lumpur padat.

Sebagian besar air dalam lumpur akan menguap karena paparan sinar

matahari dan aliran udara. Proses ini berlangsung selama beberapa hari hingga beberapa minggu, tergantung pada kondisi cuaca. Partikel-partikel padat dalam lumpur akan mengendap dan membentuk lapisan lumpur kering di permukaan *Sludge drying bed*.

Sludge drying bed digunakan untuk mengeringkan lumpur yang sudah cukup stabil. Unit pengering lumpur berperan sebagai tempat penampungan endapan lumpur dari unit pengolahan biologis. Umumnya, unit ini memiliki bentuk persegi panjang dengan lapisan pasir, kerikil, dan pipa drain untuk mengalirkan air dari lumpur yang sedang dikeringkan. Lama proses pengeringan dipengaruhi oleh kondisi cuaca, terutama paparan sinar matahari (Metcalf dan Eddy, 2003).

Prinsip operasional *sludge drying bed* melibatkan pengurangan kadar air dalam lumpur melalui proses filtrasi pada tekanan rendah. Pada tahap ini, kadar air dapat turun hingga 80%, dan terjadi penguapan sisanya. Akibatnya, kadar air dalam lumpur dapat mencapai sekitar 65%. Lumpur kering yang dihasilkan dari proses ini dapat diambil oleh petugas Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) dan digunakan sebagai pupuk untuk keperluan kebun.

Lumpur yang telah dikeringkan di SDB akan memiliki kadar air yang sangat rendah, sehingga lebih mudah untuk diangkut dan diolah lebih lanjut atau dibuang. Air yang meresap melalui lapisan pasir dan kerikil akan dialirkan ke saluran drainase atau dikembalikan ke proses pengolahan lebih lanjut.

2.6.8 Area Pengeringan Lumpur (DA)

Drying area merupakan unit pengolahan lumpur yang berfungsi membantu proses pengeringan lumpur setelah dari unit *solid separation chamber* dan *sludge drying bed*, dimana proses pengeringan terjadi karena penguapan alamiah. Terdapat 2 unit drying area, yaitu drying area di sisi utara dan di sisi selatan yang dapat dilihat pada Gambar 2.9, dengan dimensi sebagai berikut (IPLT Keputih, 2023):

Sisi Utara:

1. Panjang : 33,35 meter
 2. Lebar utara : 11 meter
 3. Lebar selatan : 8,2 meter
 4. Tinggi : 0,9 meter
- Sisi Selatan:
5. Panjang : 36 meter
 6. Lebar utara : 6,2 meter
 7. Lebar selatan : 5,1 meter
 8. Tinggi : 0,9 meter



Gambar 2. 9 Area Pengeringan Lumpur (DA)

Sumber: (Nadhifatin, 2019)

2.7 Metode Life Cycle Assessment

Life cycle assessment (LCA) merupakan suatu teknik yang digunakan untuk menilai potensi dampak lingkungan yang terkait dengan suatu produk, proses, atau layanan sepanjang masa hidupnya (Kim et al., 2013; Siracusa et al., 2014). LCA memiliki dua tujuan utama sebagai alat manajemen lingkungan. Pertama, LCA digunakan untuk mengukur dan mengevaluasi kinerja lingkungan suatu produk atau proses dari "bahan mentah sampai kembalinya ke alam." Hal ini membantu para pengambil keputusan dalam memilih di antara produk dan proses alternatif. Tujuan kedua dari LCA adalah memberikan dasar untuk menilai potensi peningkatan kinerja lingkungan dari suatu sistem produk (Nigri et al., 2014).

Metode yang paling diakui untuk menilai dampak lingkungan yang terkait dengan kegiatan atau produk adalah LCA (Hospido et al., 2003). LCA memiliki peran penting dalam pengambilan keputusan lingkungan karena memberikan dasar kuantitatif untuk menilai potensi peningkatan kinerja lingkungan dari suatu sistem sepanjang siklus hidupnya (Azapagic dan Clift, 1999).

Pemilihan metode Life Cycle Assessment (LCA) dalam kajian pengolahan lumpur tinja di Instalasi Pengolahan Limbah Tinja (IPLT) Keputi memiliki beberapa alasan yang kuat. Pertama, LCA memberikan pendekatan yang komprehensif untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari seluruh siklus hidup lumpur tinja, mulai dari pengumpulan dan pengangkutan, pengolahan, hingga akhir masa pakainya. Hal ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi dan menganalisis berbagai dampak yang mungkin timbul pada setiap tahap, seperti emisi gas rumah kaca, penggunaan energi, dan potensi pencemaran.

Kedua, metode ini mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dengan menyediakan data yang relevan untuk merumuskan kebijakan dan strategi pengelolaan lumpur tinja yang lebih berkelanjutan. Dengan mengetahui dampak lingkungan dari berbagai alternatif pengolahan, pengelola IPLT dapat memilih metode yang paling efisien dan ramah lingkungan, seperti penggunaan kembali lumpur tinja sebagai pupuk organik atau energi terbarukan.

Ketiga, LCA dapat membantu dalam meningkatkan transparansi dan akuntabilitas proses pengolahan, karena semua aspek yang terkait dengan dampak lingkungan terukur dan teridentifikasi. Hal ini sangat penting untuk melibatkan pemangku kepentingan dan masyarakat dalam pengambilan keputusan terkait pengelolaan limbah.

Life cycle assessment (LCA) mampu memberikan gambaran menyeluruh tentang dampak lingkungan yang timbul akibat suatu produk, layanan, atau aktivitas dengan mempertimbangkan semua input dan output dari suatu sistem (Kloepffer, 1997). LCA menjadi metode yang umum digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari sistem pengelolaan limbah (Kulczycka et al., 2015).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Putri (2017), ditemukan bahwa life cycle assessment (LCA) dapat mengidentifikasi dampak emisi yang dihasilkan dari proses produksi bensin. Proses siklus hidup yang dianalisis melibatkan tahap eksplorasi dan produksi, pengolahan, pemasaran, dan penggunaan oleh masyarakat. Alternatif terbaik untuk mengurangi emisi pada tahap eksplorasi dan produksi adalah dengan memanfaatkan gas buang sebagai bahan bakar pompa. Pada tahap pengolahan, penggunaan zeolite untuk adsorpsi dan penerapan sistem penanganan gas dianggap sebagai alternatif perbaikan pada proses pemasaran.

Life cycle assessment (LCA) merupakan metodologi yang digunakan untuk

mengevaluasi beban lingkungan dari proses dan produk selama seluruh siklus hidupnya (Sonneman et al., 2003). LCA merupakan suatu proses evaluasi untuk menilai beban lingkungan yang terkait dengan suatu produk. Evaluasi ini dilakukan dengan mengidentifikasi energi dan material yang digunakan serta mengukur limbah yang dilepaskan ke lingkungan.

Life cycle assessment (LCA) adalah metode yang digunakan untuk menganalisis beban atau dampak lingkungan sepanjang seluruh tahapan siklus hidup suatu sumber daya, mulai dari proses awal ekstraksi hingga tahap pembuangan yang tidak dapat digunakan kembali (dibuang) (Palupi dkk, 2014). Dalam melakukan evaluasi ini, dibutuhkan pandangan sistemik terhadap proses serta pemahaman bahwa beban lingkungan dapat ditransfer dari satu tahap ke tahap lainnya. Pendekatan ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi titik-titik negatif dalam siklus hidup dan potensi upaya untuk menghindarinya (Finkbeiner et al., 2006).

LCA juga memberikan informasi yang berharga untuk perencanaan strategis dan pengembangan produk yang lebih berkelanjutan. Dengan menganalisis dampak lingkungan dari setiap tahap siklus hidup produk, perusahaan dapat mengidentifikasi peluang untuk mengurangi penggunaan sumber daya dan mengoptimalkan efisiensi energi. LCA memungkinkan perusahaan untuk mengintegrasikan pertimbangan lingkungan ke dalam desain produk dan proses, yang dapat menghasilkan inovasi yang lebih berkelanjutan. Misalnya, perusahaan dapat mengembangkan produk dengan bahan yang lebih ramah lingkungan atau memperbaiki proses produksi untuk mengurangi emisi dan limbah. Dengan menggunakan LCA sebagai panduan, perusahaan tidak hanya dapat meningkatkan kinerja lingkungan mereka, tetapi juga memperkuat citra merek dan daya saing di pasar yang semakin peduli terhadap keberlanjutan. Hal ini menunjukkan bahwa LCA bukan hanya alat analisis, tetapi juga pendorong perubahan positif dalam praktik bisnis menuju pembangunan yang lebih berkelanjutan.

Dalam konteks pengelolaan limbah, LCA dapat digunakan untuk memilih di antara berbagai pendekatan pengelolaan limbah. Sebagai contoh, perbandingan antara proses daur ulang dan insinerasi dapat membantu perusahaan dalam membuat keputusan yang tepat, mengingat bahwa daur ulang tidak selalu menjadi pilihan yang lebih unggul daripada insinerasi dalam beberapa kasus (Helman, 2011).

2.7.1 Prinsip Life Cycle Assessment (LCA).

Prinsip-prinsip Life Cycle Assessment (LCA) sebagaimana dijelaskan oleh Pujadi (2013) melibatkan beberapa aspek kunci, antara lain:

1. **Melihat Siklus Hidup Sebagai Suatu Perspektif:**
LCA mengkaji suatu produk atau jasa dengan memandangnya dari sudut pandang siklus hidup fisiknya, yang mencakup seluruh rangkaian proses, mulai dari ekstraksi bahan baku, penggunaan energi dan material dalam produksi, proses pembuatan, hingga penggunaan dan pengelolaan akhir produk. Prinsip ini juga memungkinkan fokus pada siklus hidup suatu proses tertentu.
2. **Inklusi Semua Aspek Lingkungan**
LCA mengintegrasikan semua dimensi lingkungan dalam satu penilaian menyeluruh, sehingga memungkinkan identifikasi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh suatu produk atau proses.
3. **Pentingnya Transparansi**
Prinsip ini menekankan pentingnya transparansi untuk memastikan interpretasi yang tepat terhadap hasil perhitungan LCA.
4. **Karakter Iteratif**

LCA melibatkan empat tahapan utama, yaitu penentuan tujuan dan ruang lingkup penelitian, life cycle inventory (LCI), life cycle impact assessment (LCIA), dan interpretasi data. Pendekatan ini bersifat iteratif, memungkinkan revisi dan penyempurnaan terus-menerus selama proses evaluasi.

5. Fokus pada Aspek Lingkungan

LCA berfokus secara khusus pada aspek lingkungan dari sistem produk, dengan mengesampingkan aspek ekonomi dan sosial yang di luar cakupan penelitian.

6. Dasar Ilmiah

LCA merupakan metode yang berbasis ilmu pengetahuan, meskipun keadaan ilmiah selalu berubah. Ini menyediakan gambaran dari keadaan tertentu pada waktu tertentu, tetapi juga mencerminkan keterbatasan dan perkembangan pengetahuan ilmiah pada saat itu.

Prinsip tambahan terkait Life Cycle Assessment (LCA) mencakup beberapa aspek penting. Pertama, LCA mengadopsi pendekatan multi-dimensi, mempertimbangkan berbagai kategori dampak lingkungan secara bersamaan, seperti perubahan iklim, pengasaman, penipisan sumber daya, dan dampak terhadap kesehatan manusia. Ini membantu pemangku kepentingan memahami trade-off antara berbagai dampak yang mungkin timbul. Selain itu, LCA memandang produk dalam konteks sistem yang terintegrasi, termasuk interaksi antara komponen dalam rantai pasokan, penggunaan, dan pengelolaan limbah, sehingga dampak yang mungkin tidak terlihat di satu tahap dapat teridentifikasi. LCA juga menekankan relevansi konteks lokal dan spesifik, mempertimbangkan kondisi sosial, ekonomi, dan lingkungan di mana produk diproduksi dan digunakan, agar hasil analisis lebih aplikatif.

Partisipasi pemangku kepentingan, termasuk produsen, konsumen, dan ahli lingkungan, juga penting dalam meningkatkan akurasi dan relevansi LCA, serta membantu mengidentifikasi prioritas untuk solusi berkelanjutan. Selain itu, LCA mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan dengan memberikan wawasan untuk mengurangi dampak lingkungan sambil memenuhi kebutuhan ekonomi dan sosial. Terakhir, LCA juga memperhitungkan perkembangan teknologi yang dapat memengaruhi dampak lingkungan dari produk, menjadikannya alat yang berguna untuk mengevaluasi potensi inovasi dan perbaikan dalam proses produksi dan produk. Dengan demikian, prinsip-prinsip ini semakin memperkuat peran LCA sebagai alat analisis yang komprehensif dalam mendukung pengambilan keputusan yang berkelanjutan.

2.7.2 Karakteristik dan Batasan *Life Cycle Assessment* (LCA)

Life Cycle Assessment (LCA) memiliki karakteristik dan batasan untuk menilai siklus hidup, adapun batasan tersebut adalah sebagai berikut:

Karakteristik Life Cycle Assessment (LCA):

1. Pendekatan Sistem: LCA mempertimbangkan semua tahap siklus hidup produk, mulai dari ekstraksi bahan baku, produksi, distribusi, penggunaan, hingga akhir masa pakai dan pengelolaan limbah.
2. Multidisipliner: Melibatkan berbagai disiplin ilmu seperti teknik, lingkungan, ekonomi, dan sosial untuk mendapatkan pemahaman menyeluruh tentang dampak produk.
3. Analisis Komprehensif: LCA mengukur berbagai dampak lingkungan, termasuk emisi gas rumah kaca, konsumsi energi, penggunaan air, dan dampak terhadap ekosistem.
4. Basis Data: Mengandalkan data kuantitatif yang dikumpulkan dari berbagai

sumber untuk melakukan perhitungan dampak lingkungan.

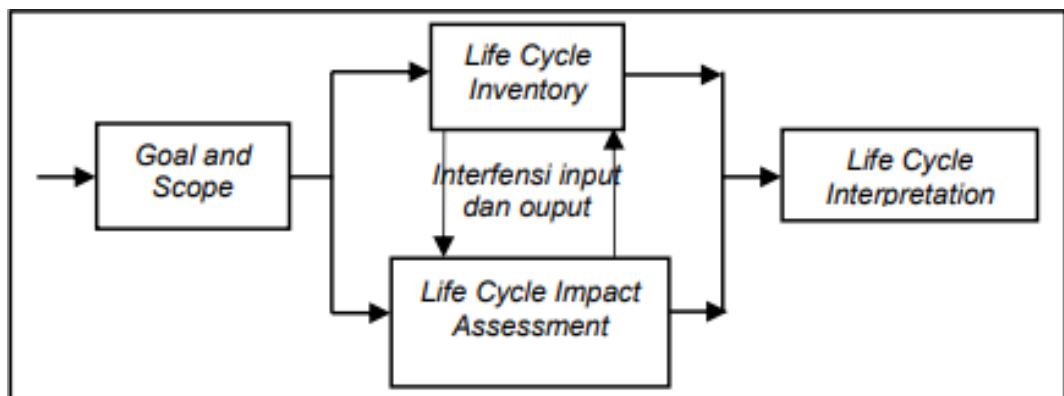
5. Mendukung Pengambilan Keputusan: Hasil dari LCA digunakan untuk membantu perusahaan dan pembuat kebijakan dalam membuat keputusan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Batasan Life Cycle Assessment (LCA):

1. Ketersediaan Data: LCA sangat bergantung pada ketersediaan dan kualitas data. Jika data yang diperlukan tidak tersedia atau tidak akurat, hasil analisis dapat dipertanyakan.
2. Kompleksitas Proses: Menganalisis seluruh siklus hidup suatu produk dapat sangat kompleks dan memakan waktu, terutama untuk produk dengan banyak komponen.
3. Asumsi dan Model: LCA sering kali memerlukan asumsi tertentu dan penggunaan model yang mungkin tidak mencerminkan kondisi nyata. Hal ini dapat memengaruhi hasil analisis.
4. Dampak yang Tidak Tercakup: Beberapa dampak lingkungan, sosial, atau ekonomi mungkin tidak tercover dalam LCA, sehingga dapat menyebabkan pemahaman yang tidak lengkap tentang dampak keseluruhan.
5. Perbandingan yang Sulit: Meskipun LCA dirancang untuk membandingkan dampak lingkungan dari berbagai produk, perbandingan ini dapat menjadi sulit karena perbedaan dalam metodologi, batasan sistem, dan kriteria penilaian. Dengan memahami karakteristik dan batasan LCA, pengguna dapat memanfaatkan alat ini secara lebih efektif untuk menilai dampak lingkungan dari produk dan proses.

2.8 Tahap-Tahap dalam *Life Cycle Assessment* (LCA)

Fase *life cycle assessment* (LCA) sesuai dengan ISO14040 (Marriot, 2007 dalam Santoso 2012) yaitu:



Gambar 2. 10 Tahapan Penyusunan LCA

Sumber: (Hermawan, 2013)

Tahap-tahap dalam melakukan analisis dampak lingkungan dengan metode *life cycle assessment* (LCA) terdiri dari empat fase sebagai berikut (Hermawan, 2013):

1. Penentuan Tujuan dan Ruang Lingkup: Pada fase ini, tujuan dari analisis ditetapkan, termasuk pertanyaan spesifik yang ingin dijawab serta batasan sistem yang akan dianalisis. Ruang lingkup mencakup definisi produk atau proses yang akan dievaluasi, kategori dampak yang akan dipertimbangkan, serta asumsi yang digunakan dalam analisis.

2. Inventarisasi Siklus Hidup (Life Cycle Inventory - LCI): Fase ini melibatkan pengumpulan data mengenai semua input dan output yang terkait

dengan setiap tahap siklus hidup produk. Ini mencakup penggunaan energi, bahan baku, emisi, dan limbah yang dihasilkan. Data yang terkumpul akan menjadi dasar untuk analisis dampak lingkungan.

3. Penilaian Dampak Siklus Hidup (Life Cycle Impact Assessment - LCIA): Di fase ini, data yang dikumpulkan dari fase inventarisasi dianalisis untuk mengevaluasi dampak lingkungan yang dihasilkan dari produk atau proses. Proses ini meliputi pengelompokan dampak ke dalam kategori seperti perubahan iklim, pengasaman, dan penipisan sumber daya, serta penilaian potensi dampak terhadap kesehatan manusia dan ekosistem.

4. Interpretasi Hasil: Fase terakhir melibatkan analisis dan interpretasi hasil dari tahap LCI dan LCIA. Tujuannya adalah untuk memahami implikasi dari temuan, mengidentifikasi area untuk perbaikan, serta memberikan rekomendasi berdasarkan hasil analisis. Pada tahap ini juga dilakukan verifikasi data dan analisis sensitivitas untuk memastikan keakuratan dan keandalan hasil yang diperoleh.

2.8.1 Penentuan Tujuan dan Batasan Penelitian

Fase ini bertujuan untuk memformulasikan dan mendeskripsikan tujuan, sistem yang akan dievaluasi, batasan-batasan, dan asumsi-asumsi yang berhubungan dengan dampak disepanjang siklus hidup dari sistem yang sedang dievaluasi serta pemilihan metode dalam pelaksanaan LCA. Berikut Tabel 2.3 metode yang terdapat dalam *software* SimaPro 9.5:

Tabel 2. 4 Metode pada *Software* SimaPro 9.5

No	Metode	Keterangan
1.	CML-IA	Pendekatan titik tengah
2.	Ecplogical Scarcity2013	Metode ini mempertimbangkan dampak lingkungan- emisi polutan dan konsumsi sumberdaya
3.	EDIP 2003	Pendekatan dampak lingkungan pada kegiatan industrial product
4.	EPD 2013	Metode yang memiliki konsep deklarasi produk ramahlingkungan
5.	EPS 2000	Metode yang diperuntukkan untuk pengembangan produk internal perusahaan. Model dan data dibuat dari sudut pandang utilitas produk yang dikembangkan
No	Metode	Keterangan
6.	Impact 2002+	Metodologi penilaian dampak dengan implementasi pendekatan midpoint/damage gabungan yang sesuai, yang menghubungkan semua jenis inventaris siklus hidup

7.	ReCiPe	Metode dengan mengintegrasikan pendekatan berorientasi masalah dan pendekatan berorientasikan kerusakan
8.	ILCD 2011 Midpoint+	Penerapan metode koreksi
9.	Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES)	Metode ini menggabungkan penilaian siklus hidup parsial dan biaya siklus hidup untuk bahan bangunan dan konstruksi menjadi alat. Metode ini membantu dalam pemilihan produk yang menyeimbangkan lingkungan dan ekonomi kerja
10.	IPCC 2013	Metode berdasarkan faktor perubahan iklim dengan jangka waktu 20 dan 100 tahun

Sumber : Santoso et al, 2012

Tujuan dan batasan penelitian dengan LCA dijelaskan denganketerangan berikut :

- Alasan menggunakan metode LCA
- Definisi yang tepat terhadap produk yang dimaksud
- Deskripsi dari batasan (*boundary*) penelitian

Tujuan dan batasan penelitian adalah untuk memastikan bahwa penelitian yang dilakukan mendapatkan hasil yang bersifat konsisten.

2.8.2 Inventarisasi Data

Life cycle inventory (LCI) melibatkan pengumpulan data dan perhitungan input serta output ke lingkungan dari sistem yang sedang dievaluasi. Fungsi dari Life cycle inventory (LCI) adalah menginventarisasi penggunaan sumber daya, penggunaan energi, dan pelepasan ke lingkungan yang terkait dengan sistem yang sedang dievaluasi. Proses LCI memerlukan data-data krusial sebagai dasar untuk memastikan keakuratan hasilnya. Oleh karena itu, data yang dikumpulkan harus lengkap dan berasal dari sumber yang tepat. Dalam penggunaan software seperti SimaPro 9.5, beberapa data umum mungkin sudah tersedia dalam database SimaPro, tetapi tidak semuanya sesuai dengan kebutuhan spesifik penelitian. Oleh karena itu, peneliti perlu melengkapi data yang belum lengkap atau tidak sesuai dengan kebutuhan penelitian mereka.

Untuk beban pengolahan yang dihitung adalah BOD, bCOD, dan NOB, berikut adalah alasan pemilihan beban tersebut :

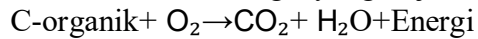
1. Biochemical Oxygen Demand (BOD):

Indikator Beban Organik: BOD adalah salah satu indikator utama untuk mengukur jumlah bahan organik yang dapat diurai oleh mikroorganisme dalam air limbah. Ini mencerminkan beban organik yang dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut di badan air penerima.

Efektivitas Pengolahan Biologis: BOD secara langsung berhubungan dengan kebutuhan oksigen dalam proses pengolahan biologis. Mengurangi BOD adalah tujuan utama dari banyak sistem pengolahan limbah untuk mencegah pencemaran organik yang berlebihan.

Standar Kualitas Air: BOD sering digunakan sebagai parameter standar dalam peraturan kualitas air karena keterkaitannya dengan dampak ekologis dan kesehatan manusia.

Mikroorganisme menguraikan bahan organik yang terlarut atau tersuspensi dalam air limbah. Berikut adalah reaksi biologis yang terjadi :



Mikroorganisme aerobik menggunakan oksigen terlarut untuk mengoksidasi bahan organik, menghasilkan karbon dioksida, air, dan energi yang digunakan untuk pertumbuhan dan reproduksi mikroorganisme. Oksidasi bahan organik ini menurunkan kadar oksigen terlarut dalam air, yang diukur sebagai BOD.

2. Biological Chemical Oxygen Demand (bCOD):

Frakasi Biodegradable dari COD: bCOD adalah bagian dari COD yang dapat diurai oleh mikroorganisme. Ini memberikan gambaran lebih spesifik tentang beban organik yang bisa diurai secara biologis, berbeda dengan COD yang mencakup semua bahan oksidatif.

Optimalisasi Proses Pengolahan: Mengetahui bCOD membantu dalam desain dan operasional unit pengolahan biologis, memastikan bahwa sistem dirancang untuk mengatasi beban yang dapat diurai secara biologis secara efisien.

Relevansi Terhadap Kualitas Air: bCOD relevan dalam menentukan efektivitas pengolahan biologis dalam mengurangi bahan organik yang dapat menyebabkan pencemaran air.

bCOD adalah bagian dari COD yang dapat diuraikan secara biologis oleh mikroorganisme.



Reaksi ini mirip dengan BOD, tetapi mencakup lebih banyak jenis bahan organik yang mungkin tidak terdeteksi oleh pengujian BOD. Mikroorganisme aerobik menguraikan bahan organik dengan menggunakan oksigen terlarut.

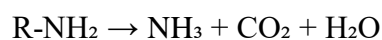
3. Nitrogen Organik Biodegradable (NOB):

Indikator Beban Nitrogen: NOB mengukur bagian dari nitrogen total yang dapat diurai secara biologis. Nitrogen adalah nutrisi penting yang bisa menyebabkan eutrofikasi jika dilepaskan dalam jumlah besar ke badan air.

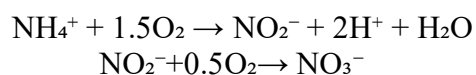
Pengendalian Eutrofikasi: Mengurangi beban NOB dalam pengolahan limbah sangat penting untuk mencegah eutrofikasi, yang dapat menyebabkan pertumbuhan alga yang berlebihan dan degradasi kualitas air.

Efektivitas Pengolahan Biologis: Fokus pada NOB membantu dalam memastikan bahwa proses pengolahan biologis mampu mengurangi beban nitrogen yang dapat diurai, melindungi ekosistem perairan dari pencemaran nitrogen.

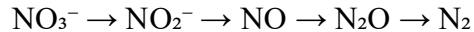
Ammonification: Penguraian nitrogen organik menjadi amonia (NH_3) atau amonium (NH_4^+).



Nitrification: Oksidasi amonia menjadi nitrit (NO_2^-) dan kemudian menjadi nitrat (NO_3^-).



Denitrification (jika anaerobik): Reduksi nitrat menjadi gas nitrogen (N₂), yang dilepaskan ke atmosfer.



Keunggulan Memilih Ketiga Parameter Ini:

Signifikansi Ekologis dan Kesehatan:

BOD, bCOD, dan NOB adalah parameter yang paling signifikan dalam menentukan dampak lingkungan dan kesehatan manusia terkait dengan pengolahan limbah. Parameter ini langsung berhubungan dengan kebutuhan oksigen di badan air penerima dan kemampuan ekosistem untuk mendukung kehidupan akuatik.

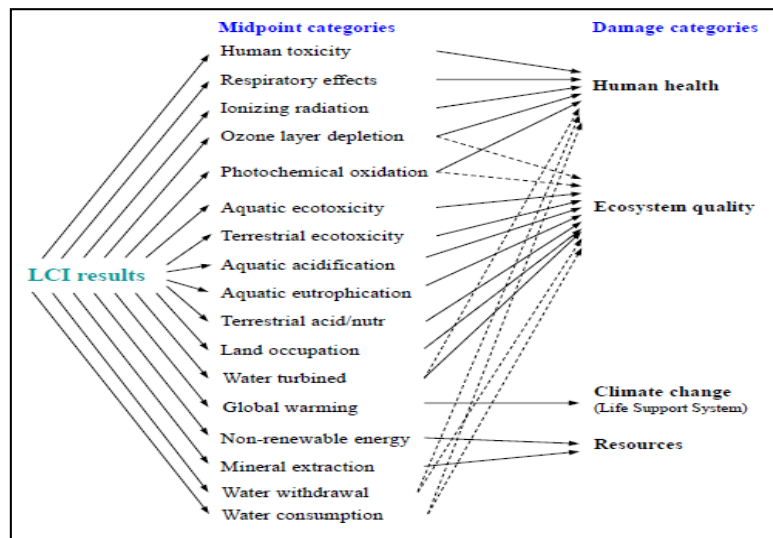
1. Relevansi dalam Pengolahan Limbah:

Parameter ini adalah fokus utama dalam banyak standar kualitas air dan peraturan lingkungan. Mengurangi beban BOD, bCOD, dan NOB adalah tujuan utama dari banyak sistem pengolahan limbah. Parameter ini memberikan informasi kritis yang diperlukan untuk desain dan operasional sistem pengolahan limbah yang efektif dan efisien.

2. Optimalisasi Proses Pengolahan:

Dengan fokus pada BOD, bCOD, dan NOB, pengelola fasilitas pengolahan limbah dapat memastikan bahwa sistem pengolahan biologis dioptimalkan untuk mengurangi bahan organik dan nitrogen yang dapat diurai, memastikan kualitas air yang lebih baik di badan air penerima.

2.8.3 Perkiraan Dampak



Gambar 2. 11 Skema Keseluruhan Impact 2002+

Dampak lingkungan potensial yang signifikan dari proses/produk berdasarkan LCI dievaluasi menggunakan *impact assessment*. Fase ini bertujuan untuk mengelompokkan dan menilai dampak lingkungan yang signifikan. Dalam proses perkiraan dampak lingkungan, metode penilaian dampak yang digunakan akan dipilih sesuai dengan penelitian yang dilakukan. Hasil kategori dampak adalah representasi kuantitatif dari perubahan kualitas lingkungan dan dihitung dengan mengalikan *damage factors* dengan data inventaris. Informasi lebih lanjut tentang konsep umum seperti kerangka kerja LCIA metodologis dapat dilihat pada gambar berikut (Jolliet et al, 2003):

1. Aquatic Eutrophication

Eutrofikasi akuatik adalah proses peningkatan nutrisi, terutama nitrogen

dan fosfor, dalam badan air yang dapat menyebabkan pertumbuhan alga yang berlebihan. Dalam metode IMPACT 2002+, dampak ini dievaluasi berdasarkan potensi emisi nutrisi dari produk atau proses, yang dapat merusak ekosistem akuatik. Pertumbuhan alga yang berlebihan dapat mengakibatkan penurunan kadar oksigen dalam air, membunuh ikan dan organisme akuatik lainnya, serta mengganggu keseimbangan ekosistem. Metode ini mengukur dampak eutrofikasi dengan mempertimbangkan kontribusi berbagai sumber emisi dan potensi dampaknya terhadap kualitas air.

Eutrofikasi adalah masalah lingkungan yang disebabkan oleh peningkatan nutrisi, seperti nitrogen dan fosfor, dalam ekosistem akuatik. Nutrien ini memiliki berbagai sumber yang cukup banyak. Mereka mungkin tidak hanyaberasal dari limbah perkotaan dan industri tetapi juga darilahan pertanian (Johnson et al., 2007; Donald et al., 2011).

2. Global Warming

Pemanasan global adalah peningkatan suhu permukaan bumi karena efek rumah kaca. Gas rumah kaca terdiridari karbon dioksida dan monoksida (CO_2 , CO), oksida nitrogen (NO_x), *chlorofluorocarbons* (CFC), fluorida sulfur, metana, hidrokarbon, uap air dan lain-lain. Sebagian besar residu dari industri-industri umumnya terdiri daribahan beracun berbeda yang terkonversi dalam bentuk gas yang dibuang di udara terbuka (Bhattacharjee, 2010).

Pemanasan global merujuk pada peningkatan suhu rata-rata atmosfer Bumi akibat akumulasi gas rumah kaca, seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan nitrogen oksida (N_2O). Dalam metode IMPACT 2002+, dampak ini dihitung berdasarkan potensi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan selama seluruh siklus hidup produk atau proses. Pemanasan global memiliki konsekuensi luas, termasuk perubahan iklim, peningkatan frekuensi cuaca ekstrem, dan dampak negatif terhadap keanekaragaman hayati. Dengan mengevaluasi dampak pemanasan global, IMPACT 2002+ membantu pengambil keputusan memahami kontribusi produk terhadap perubahan iklim dan mendorong pengembangan solusi yang lebih ramah lingkungan.

3. Non Renewable Energy

Energi tidak terbarukan, seperti minyak, nuklir, gas, dan batu bara, memiliki keterbatasan pasokan dan tidak dapat didaur ulang atau diganti. Penggunaan sumber energi ini tidak dapat berlangsung secara berkelanjutan karena setelah dikonsumsi, mereka tidak dapat direproduksi atau diregenerasikan dengan kapasitas yang sama. Proses regenerasi membutuhkan waktu bertahun-tahun untuk diselesaikan. Diperkirakan bahwa pada tahun 2100, permintaan energi global akan meningkat hingga lima kali lipat dari permintaan saat ini. Bahan bakar fosil memenuhi tiga tuntutan energi global. Namun, penggunaan besar-besaran bahan bakar fosil menyebabkan peningkatan jumlah emisi CO_2 ke lingkungan, yang pada gilirannya berkontribusi pada efek rumah kaca dan perubahan iklim. Oleh karena itu, peralihan ke sumber energi terbarukan dan berkelanjutan menjadi semakin penting untuk mengatasi keterbatasan dan dampak lingkungan yang dihasilkan oleh energi tidak terbarukan. (Halder et al., 2015).

Kategori ini mengukur dampak dari penggunaan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, seperti mineral, bahan bakar fosil, dan logam. Dalam IMPACT 2002+, pengurangan NRE dievaluasi berdasarkan jumlah sumber daya yang digunakan dalam suatu proses atau produk, serta potensi dampak

lingkungan akibat pengambilan dan pemrosesan sumber daya tersebut. Penggunaan sumber daya alam yang berlebihan dapat menyebabkan penipisan cadangan, meningkatkan risiko pencemaran, dan berdampak negatif terhadap ekosistem. Oleh karena itu, evaluasi dalam kategori ini membantu mengidentifikasi peluang untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya.

2.8.4 Interpretasi Data

Tahap interpretasi data dalam Life Cycle Assessment (LCA) adalah langkah penting yang melibatkan analisis hasil dari fase inventarisasi siklus hidup (LCI) dan penilaian dampak siklus hidup (LCIA) untuk memahami implikasi dari temuan. Pada tahap ini, hasil dievaluasi untuk mengidentifikasi dampak lingkungan yang signifikan dan area yang dapat ditingkatkan, seperti penggunaan energi atau pengelolaan limbah. Analisis sensitivitas dilakukan untuk menilai stabilitas hasil terhadap perubahan asumsi, serta mempertimbangkan konteks lokal dan relevansi temuan. Rekomendasi yang jelas disusun berdasarkan analisis untuk pengambilan keputusan yang lebih baik, dan hasilnya dikomunikasikan kepada pemangku kepentingan dengan cara yang mudah dipahami. Tahap ini juga mendorong pemikiran tentang perbaikan berkelanjutan dalam praktik bisnis, sehingga organisasi dapat merumuskan strategi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan..

2.9 Definisi Software Simapro

SimaPro adalah perangkat lunak yang digunakan untuk mengumpulkan data, menganalisis, dan memantau kinerja keberlanjutan produk dan jasa dari suatu perusahaan. Fungsionalitas SimaPro mencakup penilaian siklus hidup, pembuatan laporan keberlanjutan, desain produk, penentuan indikator kinerja utama, dan banyak lagi. Dikembangkan untuk membantu dalam pengumpulan fakta dan menerapkan metode Life Cycle Assessment (LCA), SimaPro memberikan wawasan yang diperlukan untuk menciptakan nilai berkelanjutan.

SimaPro telah menjadi perangkat lunak LCA terkemuka di dunia selama 25 tahun dan dipercaya oleh industri dan akademisi di lebih dari 80 negara (www.simapro.co.uk). SimaPro memungkinkan analisis dampak lingkungan dari suatu sistem dengan memasukkan data berdasarkan deskripsi sistem, termasuk distribusi bahan baku, proses produksi, dan distribusi produk akhir (Kautzar, 2015).

Versi terbaru SimaPro, yaitu SimaPro 9.5, menawarkan pembaruan database standar analisis ekologi dan eko inventori yang terkini. Dengan versi terbaru ini, software ini mengkalkulasi input seperti kuantitas dan kualitas bahan baku dan menghasilkan output berupa nilai grafik. SimaPro memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan software sejenis, seperti yang dijelaskan oleh Pre (2014):

1. Bersifat fleksibel
2. Memiliki metode dampak yang beragam
3. Dapat menginput data secara berkelompok meskipun berbeda lokasi
4. Dapat menginventarisasi data dalam jumlah banyak
5. Data yang didapatkan memiliki nilai transparansi yang tinggi, dimana hasil interaktif analisis dapat melacak hasil lainnya kembali ke asal-usulnya
6. Mudah terhubung dengan perangkat lain, salah satunya adalah

AHP

7. Hadir dengan 3 versi yang diklasifikasikan berdasarkan pengguna, yaitu:

- *SimaPro Compact*: digunakan untuk mengatur tugas kompleks
- *SimaPro Analyst*: digunakan untuk melakukan permodelan siklus hidup dan berisi fitur analisis yang canggih dengan versi institusinya adalah SimaProPhD
- *SimaPro Developer*: digunakan untuk pengguna yang ingin mengembangkan dedikasi LCA atau menghubungkan Simapro dengan *software* yang lainnya

Terdapat beberapa tahapan pada SimaPro yakni:

a. Menentukan *Goal and Scope*

- a. *Text field*, untuk menginput data pemilik, judul penelitian, tanggal, komentar, alasan dan tujuan melakukan penelitian LCA
- b. Pemilihan *libraries*, memilih metoda yang akan digunakan
- c. *Input*
Input data ini berupa material dan energi yang digunakan pada kegiatan produksi.
- d. *Output*
Output pada kegiatan produksi berupa emisi gas rumah kaca dan gas pencemar udara.

b. Melakukan Inventarisasi

- a. *Process*, merupakan input data mengenai *input* dan *output*, *documentation*, parameter, dan *system description* mengenai proses kegiatan industri tersebut
- b. *Product stages*, mendeskripsikan bagaimana suatu produk diproduksi, digunakan, dan dibuang
- c. *System description*, rekaman terpisah untuk mendeskripsikan struktur dari sistem
- d. *Waste types*, terdapat *waste scenarios* (material dibuang) dan *disposal scenarios* (produk yang digunakan kembali)

Pada tahap tutorial ini diinput data, seperti proses pada produksi solar yang menghasilkan emisi gas rumah kaca. Kemudian dimasukkan beban emisi yang dihasilkan, dimana data ini dalam jumlah per tahun.

c. Penilaian Terhadap Cemar

- *Characterization*, pada tahapan ini akan mengukur kontribusi dampak dari produk atau kegiatan pada setiap indikator dampak dengan cara mengalikan tiap zat dengan faktor yang mencerminkan kontribusi relatif mereka terhadap lingkungan (Putri, 2017). Pada tutorial ini yaitu senyawa kimia pada suatu proses yang memiliki kontribusi pada *impact category* yang terdapat pada LCA. Pada *characterization* akan disajikan nilai persentase masing masing emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh sub proses terhadap 14 *impact category*.
- *Normalization* yaitu tahap mengalikan nilai karakterisasi dengan nilai normal untuk menyetarakan satuan pada masing-masing kategori dampak secara internasional.
- *Weighting*, merupakan proses mengalikan dampak kategori dengan faktor pembobotan.
- *Single Score*, merupakan tahap untuk mengetahui proses yang

berkontribusi dampak terhadap lingkungan.

d. Interpretasi data

Mengevaluasi dan meninjau kembali suatu kesimpulan untuk pengambilan keputusan terkait alternatif perbaikan pada suatu sistem untuk mengurangi nilai kontribusidampak. Pengambilan keputusan terkait alternatif perbaikan memerlukan kebijakan dengan pendekatan tertentu untuk penentuan prioritasnya.

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu terkait *metode life cycle assessment (LCA)*:

Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu *Life Cycle Assessment (LCA)*

No	Judul	Tahun	Isi
1.	Studi Pengolahan Lumpur Tinja di Balai Pialam Yogyakarta ^a	2022	Penelitian ini meneliti kualitas air yang dihasilkan dari Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Balai Pialam Yogyakarta, yang berperan penting dalam mengurangi beban pencemaran, khususnya fecal coliform. Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun parameter seperti BOD, COD, TSS, TDS, deterjen, suhu, pH, minyak, dan lemak telah memenuhi standar yang ditetapkan, kandungan total coliform masih sangat tinggi (2.400.000 MPN/100 mL) dibandingkan dengan batas yang diperbolehkan (10.000 MPN/100 mL). Namun, setelah menjalani proses pengolahan lanjutan di IPAL, kadar total coliform berhasil diturunkan hingga <1,8 MPN/100 mL, sehingga memenuhi standar baku mutu air limbah dan aman untuk dibuang ke lingkungan.
2.	Identifikasi Dampak Lingkungan Pada Proses Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Jabon Dengan Metode Life Cycle Assesment (LCA) ^b	2022	IPLT Jabon Sidoarjo menjadi objek dalam penelitian dan bertujuan untuk menentukan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh proses pengolahan lumpur tinja di IPLT Jabon Sidoarjo dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA). Life cycle assessment (LCA) digunakan untuk melakukan penilaian dampak lingkungan dengan metode Impact 2002+ dan menggunakan pendekatan gate to gate. Data setiap proses pengolahan dianalisis dengan software SimaPro 9.0. Kontribusi tiga dampak terbesar dari analisis LCA pada proses pengolahan lumpur tinja adalah non-

			renewable energy, global warming, dan respiratory inorganic. Untuk alternatif program perbaikan yang disarankan yaitu Penerapan green building di daerah sekitar pengolahan, penggunaan inverter dalam upaya menghemat listrik, pemantauan secara berkala pembersihan ataupun pembaruan pada unit pengolahan.
3.	Analisis Dampak Lingkungan dari Proses Pengolahan Lumpur Tinja di IPLT Supit Urang Kota Malang dengan Metode Life Cycle Assesment ^c	2022	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dampak lingkungan dari proses pengolahan air limbah IPLT Spit Urang Kota Malang. Life Cycle Assesment (LCA) pada penelitian kali ini menggunakan aplikasi SimaPro dengan metode Impact 2002+ dan memilih pendekatan gate to gate. Hasil analisis LCA menunjukkan bahwa dampak Climate Change menyumbang 4,670 Pt, Ecosystem Quality 0,008 Pt, dan Human Health 0,011 Pt. Climate change merupakan penyumbang dampak terbesar yang disebabkan CH ₄
4.	Study of Treatment Process Improvement of Fecal Sludge in Surabaya City and Optimization for The Retribution Management ^d	2022	IPLT Keputih adalah satu-satunya instalasi pengolahan lumpur tinja di Kota Surabaya yang memiliki kapasitas 400 m ³ per hari, tetapi saat ini hanya terisi 100 m ³ per hari. Selama 2014-2018, volume lumpur tinja yang diolah sebesar 134.537,52 m ³ , sementara potensi total lumpur tinja mencapai 2.756.146,5 m ³ . Analisis menunjukkan bahwa retribusi saat ini sebesar Rp. 15.000/m ³ tidak mencukupi untuk menutupi seluruh biaya pengolahan, sehingga diperlukan optimalisasi sistem retribusi dan penyesuaian tarif berdasarkan kondisi ekonomi lokal. Direkomendasikan tarif retribusi optimal sebesar Rp. 12.000/bulan yang diintegrasikan dengan retribusi PDAM untuk meningkatkan partisipasi publik.
5.	Analisis Kondisi Layanan Lumpur Tinja di IPLT Kota Pontianak ^e	2023	Penelitian ini mengevaluasi kualitas layanan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Pontianak. Layanan penyedotan lumpur tinja di kota ini belum optimal karena keterbatasan fasilitas dan sarana penyedotan. Metode yang digunakan

				adalah deskriptif kualitatif, dengan observasi lapangan dan wawancara mendalam. Ditemukan bahwa kekurangan fasilitas penyedotan dan tidak adanya pengujian kualitas air dari outlet pengolahan merupakan kelemahan utama dalam pengelolaan lumpur tinja di Pontianak. Meski demikian, layanan ini sudah memiliki dasar hukum yang jelas dan dikelola oleh Pemerintah Kota, dengan retribusi yang diatur dalam Peraturan Daerah Kota Pontianak No. 4 Tahun 2011.
6.	Analisis Kontribusi Dampak Lingkungan Akibat Proses Pengolahan Lumpur Tinja IPLT Keputih Dengan Metode Life Cycle Assessment (Lca) ^f	2019		Penelitian ini bertujuan menentukan dampak proses pengolahan lumpur tinja dengan pendekatan life cycle assessment (LCA) dan menentukan cara mengurangi dampak dengan pendekatan life cycle assessment (LCA). Hasil dari masing-masing proses pengolahan berbedabeda. Kontribusi dampak dari analisis LCA pada proses pengolahan lumpur tinja adalah global warming sebesar 15947,848 kg CO ₂ /tahun, diikuti oleh non renewable energy sebesar 103431 MJ dan aquatic eutrophication 0,003409 PDFm ² .y. Setelah diketahui dampak lingkungan dilakukan analisis alternatif. Analisis alternatif digunakan sebagai dasar dalam penentuan prioritas cara mengurangi kontribusi dampak dalam proses pengolahan lumpur tinja di IPLT Keputih. Alternatif terpilih yang digunakan untuk mengurangi kontribusi dampak adalah melakukan perawatan peralatan pengolahan secara terjadwal dengan nilai sebesar 48,1%.
7.	Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Keputih, Surabaya ^g	2016		Pada studi ini dilakukan evaluasi kondisi eksisting dengan kriteria desain dan rekomendasi, baik dari segi operasi maupun proses untuk setiap unit bangunan agar effluen pengolahan memenuhi baku mutu. Debit influen IPLT eksisting adalah 137 m ³ /hari dengan kapasitas desain 400 m ³ /hari. Kandungan solid inlet sebesar 4,80%. Solid separation chamber memiliki kandungan solid outlet sebesar 5,87%

dan direkomendasikan menjadi 20%. Oxidation ditch memiliki nilai Food to Mass (F/M) ratio sebesar 0,01 dengan rekomendasi ditingkatkan menjadi 0,023. Final Clarifier (FC) memiliki debit resirkulasi sebesar 23,80 m³/s. Berdasarkan rekomendasi, debit resirkulasi FC sebesar 18,31 m³/s, dengan weir loading rate sebesar 6,84m³/m.hari. Sludge drying bed memiliki kandungan solid pada lumpur kering sebesar 63,14% dan direkomendasikan menjadi 80%. Drying area memiliki kandungan solid pada lumpur kering sebesar 61,16% dan direkomendasikan menjadi 80%.

Sumber :

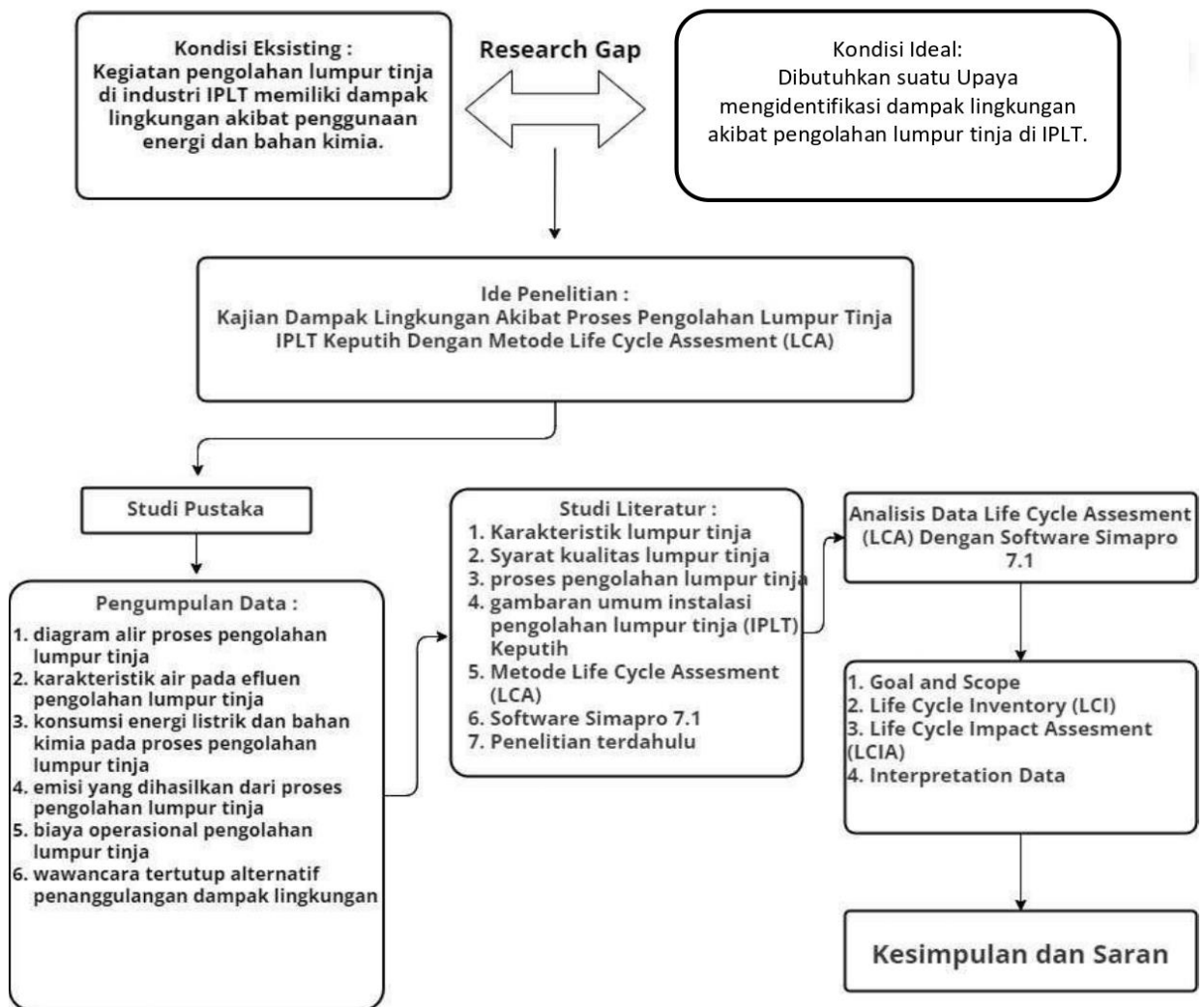
- a. Haerani, 2022
- b. Pratama, 2022
- c. Noor dkk, 2022
- d. Putra, 2022
- e. Rizky, 2020
- f. Nadhifatin, 2019
- g. Dian, 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka pada penelitian ini disusun berdasarkan pengembangan tujuan penelitian. Pengembangan tersebut berupa ide penelitian, studi pustaka, pengumpulan data, analisis dampak lingkungan menggunakan metode LCA, evaluasi data, dan rekomendasi upaya penanggulangan dampak lingkungan. Adapun diagram untuk kerangka penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3. 1.



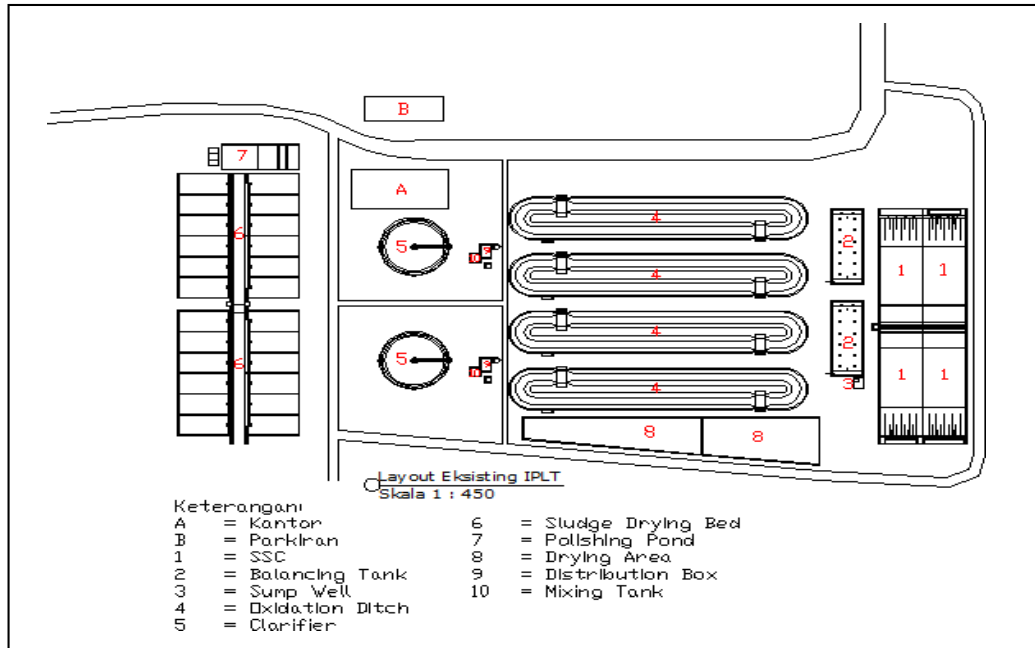
Gambar 3. 1 Diagram Alir Kerangka Penelitian

Sumber: Diagram Alir Arya Darmana 2024

3.2 Wilayah Penelitian

IPLT Keputih adalah bagian dari Dinas Sumber Daya Air dan Bina Marga Kota Surabaya. Berdiri sejak tahun 1991, fasilitas ini mencakup area seluas 1,86 hektar. Metode utama yang digunakan dalam sistem pengolahannya adalah kombinasi antara pengolahan fisik dan biologis menggunakan kolam oksidasi. IPLT mampu mengolah

hingga 400 meter kubik lumpur tinja setiap harinya. Baik sistem sanitasi on-site maupun off-site memerlukan layanan IPLT karena keduanya menghasilkan lumpur tinja yang tidak dapat langsung dibuang ke lingkungan karena masih mengandung konsentrasi tinggi zat organik, nutrisi, serta bakteri berbahaya. Untuk mengelola limbah dari gedung-gedung pemerintah Kota Surabaya, IPLT dilengkapi dengan 4 mobil khusus yang bertugas untuk menyedot tinja dari IPAL atau tangki septik. Untuk gambar layout IPLT Keputih tercantum dibawah (Nadhifatin, 2019):



Gambar 3. 2 Layout IPLT Keputih yang Menjadi Wilayah Penelitian

Sumber: IPLT Keputih

Luas area IPLT ini sekitar 2,1 hektar, dengan kapasitas penampungan limbah tinja mencapai 400 m³/hari. Saat ini, kemampuan pengolahan berkisar antara 100 hingga 150 m³/hari. Hasil dari proses pengolahan lumpur tinja adalah air terolah, di mana sebagian diresirkulasi dan sisanya dilepaskan ke lingkungan. IPLT tidak menyediakan kendaraan pengangkut tinja secara internal, melainkan menjalin kemitraan dengan perusahaan

penyedotan WC dari berbagai lokasi di Surabaya.

IPLT Keputih beroperasi 24 jam setiap hari, tetapi untuk penyetoran tinja dibatasi dari pukul 08.00 hingga 15.00 WIB. Sesuai dengan Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 01 Tahun 2016 mengenai Retribusi Pengolahan Limbah Cair dalam Bentuk Tinja, pasal 14 ayat 2, retribusi yang dikenakan untuk setiap layanan pengolahan limbah cair tinja di instalasi tersebut adalah sebesar Rp 15.000,00 per 1 m³ limbah yang dibuang.

3.3 Tahap Pendahuluan

Tahapan pendahuluan merupakan tahapan yang dilakukan sebagai persiapan sebelum penelitian dilakukan. Tahapan ini dilakukan untuk menunjang kesiapan materi sebelum penelitian dilakukan. Luaran dari tahapan ini dapat menjadi fundamental dalam penelitian yang akan dilakukan. Adapun yang termasuk dalam tahapan pendahuluan pada penelitian ini diantaranya meliputi:

3.3.1 Perumusan Ide Penelitian

Ide penelitian diperoleh melalui analisis perbandingan antara situasi yang ada saat ini dengan situasi yang dianggap ideal, dengan dukungan teori yang relevan. Langkah selanjutnya melibatkan sesi brainstorming bersama pihak terkait, seperti akademisi dan perwakilan perusahaan, untuk mengonfirmasi hasil analisis yang telah dilakukan. Ide-ide penelitian yang tercipta kemudian diuraikan dalam bagian pengantar penelitian dan perumusan masalah yang akan menjadi fokus utama dalam penelitian ini.

3.3.2 Penyusunan Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dipilih merupakan hasil dari pengembangan ide penelitian yang telah dijabarkan dalam latar belakang penelitian. Berdasarkan konsep dan konteks yang telah disusun, fokus permasalahan dalam penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dampak lingkungan dari proses pengolahan lumpur tinja di IPLT. Melalui pengukuran dampak lingkungan tersebut, tujuannya adalah untuk menyarankan strategi mitigasi yang dapat mengurangi efek lingkungan dari proses pengolahan lumpur tinja yang terjadi di IPLT.

3.3.3 Penentuan Lokasi Penelitian

Setelah rumusan masalah ditentukan, selanjutnya perlu dilakukan penentuan lokasi penelitian sebagai objek dari kerangka penelitian yang telah disusun. Penelitian ini akan dilakukan di Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja pada IPLT Keputih. Penelitian ini akan mengkaji dampak lingkungan yang berpotensi dihasilkan dari operasional di Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja pada IPLT Keputih.

3.3.4 Perancangan Tujuan dan Ruang Lingkup Penelitian

Tujuan penelitian yang disusun merupakan implementasi atas latar belakang permasalahan penelitian yang telah disusun. Tujuan penelitian disusun untuk dapat menjawab rumusan masalah yang disusun secara terarah. Sehingga luaran dari penelitian yang dilakukan memiliki hasil yang baik secara ilmiah. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kategori dampak lingkungan yang relevan dalam proses pengolahan lumpur tinja menggunakan perangkat lunak Simapro, dan menghitung seberapa besar dampak yang dihasilkan pada setiap unit proses pengolahan lumpur tinja

Sedangkan ruang lingkup penelitian merupakan batasan dari penelitian yang akan dilakukan. Pembatasan tersebut dilakukan untuk membuat penelitian ini terfokus

pada suatu permasalahan tertentu. Ruang lingkup penelitian ini adalah analisis dampak lingkungan dari Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja di IPLT Keputih dengan menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA). Kategori dampak yang akan dianalisis meliputi pemanasan global, eutrofikasi perairan, dan konsumsi energi non-terbarukan.

3.4 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan bertujuan sebagai penunjang penelitian. Hasil dari studi literatur dapat dimanfaatkan untuk memperdalam wawasan terkait hal-hal yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur disusun berdasarkan hasil penelitian terdahulu serta referensi-referensi lainnya yang berkaitan dengan penelitian ini. Adapun tinjauan pustaka dari studi literatur yang akan dilakukan pada penelitian ini meliputi pengolahan lumpur tinja, metode LCA, dan IMPACT 2002+.

3.5 Tahap Pengumpulan Data

Setelah tahap awal penelitian selesai, langkah berikutnya adalah mengumpulkan data. Data yang akan dikumpulkan terdiri dari data data sekunder seperti data lab, hasil debit, dll. Dalam penelitian ini, data sekunder akan diperoleh dari berbagai sumber termasuk buku, jurnal, catatan perusahaan, dan sumber lainnya. Khusus untuk data sekunder dari IPLT Keputih:

- a. diagram alir proses pengolahan lumpur tinja,
- b. karakteristik lumpur tinja pada influen dan efluen,
- c. konsumsi energi dan bahan kimia proses pengolahan lumpur tinja, dan
- d. emisi yang dihasilkan dari proses pengolahan lumpur tinja pada IPLT Keputih.

3.6 Tahap Analisis Data

Setelah mengumpulkan informasi, langkah berikutnya adalah mengevaluasi dampak lingkungan dari proses pengolahan lumpur tinja. Ini melibatkan analisis menggunakan metode LCA (Life Cycle Assessment) yang terdiri dari langkah-langkah penentuan tujuan, penjelasan ruang lingkup, analisis inventaris, evaluasi dampak, dan interpretasi hasil. Hasil dari analisis ini akan menjadi dasar utama untuk menyusun rekomendasi guna meningkatkan manajemen lingkungan dalam proses pengolahan lumpur tinja pada di IPLT Keputih. Oleh karena itu, rekomendasi yang diusulkan akan didasarkan pada pemahaman yang mendalam terhadap dampak lingkungan yang dihasilkan oleh proses tersebut.

3.6.1 Analisis Dampak Lingkungan Dengan Metode LCA

Setelah mengumpulkan data yang diperlukan, langkah berikutnya adalah mengidentifikasi serta menghitung dampak lingkungan dari proses pengolahan lumpur tinja di IPLT Keputih. Analisis ini menggunakan metode LCA (Life Cycle Assessment). Metode LCA memungkinkan pengenalan dampak lingkungan yang timbul dari produk atau proses dalam siklus hidupnya dengan memperhatikan batasan yang telah ditentukan dalam lingkup yang dipilih. Berikut adalah langkah-langkah dalam menganalisis dampak lingkungan menggunakan metode LCA:

- a. Pendefinisian Tujuan dan Ruang Lingkup

Langkah awal dalam menganalisis LCA adalah menetapkan tujuan dan cakupan penelitian. Dalam konteks penelitian ini, LCA digunakan untuk mengenali serta mengukur dampak lingkungan yang timbul dari pengolahan lumpur tinja di IPLT Keputih. Lingkup penelitian ini dibatasi pada proses pengolahan lumpur tinja di IPLT Keputih dengan konsep gate to gate.

b. Analisis Inventori

Langkah berikutnya adalah mengidentifikasi bahan baku dan energi yang diperlukan serta emisi yang dihasilkan dari setiap tahap proses pengolahan lumpur tinja di IPLT Keputih. Data inventarisasi yang diperlukan mencakup penggunaan energi, volume air yang diolah, dan parameter kualitas air olahan seperti TSS, TDS, dan kandungan sisa klorin.

c. Analisis Dampak

Setelah analisis inventori dilakukan, maka selanjutnya dilakukan analisis dampak yang berpotensi ditimbulkan dari proses pengolahan lumpur tinja di IPLT Keputih berdasarkan kategori dampak yang akan dianalisis. Kategori dampak yang akan dianalisis terdiri atas *global warming*, *aquatic eutrophication*, dan *non-renewable energy*.

Alasan pemilihan dampak untuk *aquatic eutrophication* adalah apabila pengolahan lumpur tinja tidak dilakukan dengan benar, limbah yang dihasilkan dari proses tersebut dapat mencemari sungai, danau, atau laut, memberikan tambahan nutrisi yang menyebabkan eutrofikasi. Lalu untuk pemilihan dampak *global warming* adalah karena proses pengolahan lumpur tinja dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca dan polusi udara lainnya seperti gas metana (CH₄), karbon dioksida (CO₂), dll yang bisa berkontribusi melalui efek negatif pada kualitas udara dan iklim, lalu untuk dampak *non-renewable energy* adalah karena proses pengolahan lumpur tinja memerlukan energi untuk penggunaan alat-alat lainnya. Jumlah energi yang digunakan akan tergantung pada jenis dan kompleksitas proses pengolahan, sistem pemanas dalam fasilitas pengolahan dapat menyebabkan emisi gas rumah kaca dan dampak negatif lainnya pada lingkungan. Untuk tahapan analisis dampak terdiri atas:

1. Klasifikasi

Tahapan ini dilakukan untuk mengumpulkan data masukan pada analisis data dan diklasifikasi berdasarkan emisi atau kategori dampak tertentu. Hasil tahapan klasifikasi dapat dilanjutkan dengan tahapan karakterisasi

2. Karakterisasi

Dalam tahapan ini dilakukan perhitungan data yang diperoleh dari analisis inventori dan mengalikannya dengan faktor karakterisasi untuk menggambarkan kontribusi pada kategori dampak.

3. Normalisasi

Merupakan tahapan yang dilakukan dengan cara menyetarakan satuan dari nilai kategori dampak yang diperoleh untuk mempermudah dalam perbandingan nilai setiap kategori dampak lingkungan.

4. Pembobotan

Merupakan tahapan pembobotan dengan cara mengalikan kategori dampak dengan faktor pembobotan dan kemudian diakumulasi untuk mendapatkan nilai total. Hasil perhitungan dalam tahapan pembobotan selanjutnya dapat dijadikan diagram penilaian tunggal atau *single score*. Hasil penilaian tunggal dapat menunjukkan faktor yang berkontribusi pada dampak lingkungan.

d. Interpretasi

Setelah hasil analisis dampak diketahui, maka selanjutnya dilakukan kajian untuk merencanakan skenario penanggulangan dampak lingkungan yang berkaitan dengan kategori dampak yang telah dipilih. Skenario dipilih berdasarkan referensi dari studi literatur serta diskusi dengan pihak terkait guna merumuskan solusi skenario yang

tepat sasaran.

3.7 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan yang dirumuskan merupakan bentuk jawaban atas pertanyaan yang dirumuskan dalam tujuan penelitian. Sedangkan perumusan saran merupakan bentuk rekomendasi terhadap pengembangan penelitian sejenis yang akan dilakukan di masa depan. Rekomendasi tersebut diharapkan mampu menyempurnakan penelitian sejenis yang akan dilakukan di masa depan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data Sekunder IPLT Keputih

4.1.1 Pengumpulan Data Sekunder IPLT Keputih

Informasi sekunder yang dikumpulkan dari IPLT Keputih mencakup debit pengolahan yang diolah, hasil analisis lab dan konsumsi energi selama proses pengolahan limbah padat. Proses pengolahan limbah padat dilakukan secara aerobik di IPLT. Detail mengenai volume air yang diolah dapat dirujuk dari Tabel 4.1, sementara informasi tentang konsumsi energi selama proses pengolahan dapat ditemukan pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.1 Debit Pengolahan pada Lumpur Tinja.

Tabel 4.1 Debit Pengolahan pada Lumpur Tinja IPLT Keputih

Unit Pengolahan	m ³ /jam	L/jam	L/hari
<i>Solid Separation Chamber</i>	3,07	3,070	73,680
<i>Balancing Tank</i>	2,49	2,490	59,760
<i>Sump Well</i>	0,58	580	13,920
<i>Oxidation Ditch</i>	6,973	6,972.57	167,341.71
<i>Distribution Box i</i>	6,973	6,972.57	167,341.71
<i>Clarifier</i>	6,973	6,972.57	167,341.71
<i>Distribution Box ii</i>	2,789	2,789.03	66,936.68
<i>Sludge Drying Bed</i>	1,397	1,396.58	33,517.986
ke <i>Mixing Tank</i>	1,392	1,392.44	33,418.694
<i>Polishing Pond</i>	4,183	4,183.54	100,405.026
ke Badan Air	1,673	1,673.417	40,162.01
Resirkulasi ke <i>Mixing Tank</i>	2,502	2,501.79	60,243.016
<i>Mixing Tank</i>	3,903	3,902.57	93,661.71

Sumber: Buku Audit Pada IPLT Keputih

Tabel 4.2 Jumlah Energi yang ada pada Proses Pengolahan

Analisa Energi		
	Unit	Energi (kWh/hari)
1	Pompa BT	25,23
2	Pompa Sumpwell	24
3	Rotor pada (OD)	45
4	Scraper Clarifier	20,05
5	Pompa DB 2	23,04
6	Pompa P Pond	22,56

Sumber: IPLT Keputih 2023

Selain informasi yang diperoleh dari IPLT, data sekunder juga disediakan melalui tinjauan literatur yang mencakup beragam sumber seperti jurnal penelitian dari dalam dan luar negeri, buku teks, laporan kerja praktik, tugas akhir, disertasi, peraturan pemerintah, makalah seminar, serta situs web yang relevan.

Waktu detensi yang telah diperoleh dari kriteria desain ini. Nilai waktu detensi ini dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Waktu Detensi Pada Unit Pengolahan

Unit Pengolahan	Waktu Detensi	Satuan
<i>Solid Separation Chamber</i>	5	Hari
<i>Balancing Tank</i>	2	Jam
<i>Oxidation Ditch</i>	7	Hari
<i>Clarifier</i>	2	Jam
<i>Polishing Pond</i>	1	Hari

Sumber: Herumurti, W dan Dian G. 2016. Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Keputih, Surabaya. 5 (1), hal D13-D18.

MetCalf dan Eddy. 2003. Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse”, 4th edition. New York : McGraw Hill Book Co.

Dari data analisis pada laboratorium yang telah dilakukan pada IPLT Keputih akan terungkap nilai effluen pada setiap titik input dan output dari unit pengolahan. Dari informasi ini, kita dapat menghitung beban massa yang masuk ke setiap unit pengolahan berdasarkan debit yang tercatat dari sumber data sekunder. Rincian hasil analisis laboratorium IPLT Keputih terkait effluen pada lumpur tinja dapat dilihat dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Analisis Laboratorium Pada IPLT Keputih (mg/L)

Parameter	<i>Solid Separation Chamber</i>		<i>Sump Well</i>	<i>Balancing Tank</i>	
	Inlet	Outlet	Inlet/Outlet	Inlet	Outlet
BOD	23,032	14,97	230	14,97	12,09
COD	22,216	8,455	390	8,455	2,049.74
TSS	80,03	18,23	170	18,23	10,13
TN	2,901.55	2,712.5	95,67	2,712.5	2,712.45
P	1,212.5	944,94	22,05	944,94	700,74
pH	7,9	7,7	6,4	7,7	7,5
Minyak Lemak	6,32	3,26	32	3,26	3,43

Sumber: IPLT Keputih 2023

Lanjutan dari Tabel 4.4 Hasil Analisis Laboratorium Pada IPLT Keputih

Parameter	<i>Oxidation Ditch</i>		<i>Clarifier</i>		<i>Polishing Pond</i>		<i>Mixing T.</i>
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet/Outlet
BOD	4,596.57	4,03	4,03	130	130	97,64	107,08
COD	7,367.5	6,832	6,832	210	210	168	185,73
TSS	3,286.55	610	610	98	98	46	67,95
N	988,65	35,68	35,68	30,02	30,02	15,25	21,48
P	256,7	96,7	96,7	8,25	8,25	7,5	7,82
pH	6,65	6,7	6,7	6,65	6,65	6,2	6,39
Minyak Lemak	177,32	112	112	16	16	18	10,42

Sumber: IPLT Keputih 2023

Setelah mengetahui hasil analisis di laboratorium, ditemukan bahwa nilai konsentrasi dari COD dan BOD yang cukup tinggi. Ketinggian nilai konsentrasi BOD dan COD ini menyebabkan penurunan konsentrasi oksigen yang dapat larut, dan ini terkait dengan meningkatnya kebutuhan oksigen untuk memecah bahan pencemar yang ada dalam effluen secara biologis.

Mikroorganisme sangat bergantung pada ketersediaan oksigen yang larut dalam jumlah yang cukup. Ketidakcukupan oksigen dapat mengakibatkan kesulitan bernapas bagi organisme tersebut. Hal ini akan sangat mempengaruhi kemampuan mereka dalam melakukan aktivitas menyaring makanan, karena proses penyaringan makanan dan pengambilan oksigen berlangsung secara bersamaan (Pirow dkk., 2001).

Tingginya BOD dan COD berarti lebih banyak bahan organik dan bahan kimia yang harus diolah. Ini dapat membebani fasilitas pengolahan air limbah, sehingga memerlukan lebih banyak energi, bahan kimia, dan waktu untuk mengolah limbah.

Meskipun konsentrasi parameter BOD di unit oxidation ditch mengalami penurunan sebesar 8%, seharusnya pengurangan yang diharapkan adalah antara 80-90%. Sementara itu,

pada unit clarifier, terjadi pengendapan dengan tingkat penghilangan mencapai 97%. Selain itu, perbandingan nilai BOD dan COD menunjukkan angka antara 0,57 hingga 0,58.

Ketika rasio BOD/COD rendah, ini menunjukkan bahwa effluen mengandung bahan organik dan anorganik yang sulit diurai oleh mikroorganismenya. Selain itu, kemungkinan bahan tersebut juga bersifat toksik bagi mikroorganismenya pengurai senyawa atau unsur kimia yang terdapat dalam effluen IPAL (Roosmini dan Womsiwor, 2009).

Dengan menggunakan nilai konsentrasi tersebut, perhitungan beban massa dapat dilakukan untuk setiap unit pengolahan di IPLT Keputih. Berikut ini adalah rincian perhitungan beban massa untuk masing-masing unit:

1. **SSChamber**

a. **BOD**

$$\begin{aligned} [\text{BODinfluen}] &= 23,032 \text{ mg/L} \\ \text{Debit L/hari} &= 73.68 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 73,680 \text{ L/hari} \\ \text{Massa BOD Influen} &= Q \times [\text{BOD}] \\ &= 73,680 \text{ L/hari} \times 23,032 \text{ mg/L} \\ &= 1696997760 \text{ mg/hari} \\ &= 1696,997 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{BOD effluen}] &= 14,970 \text{ mg/L} \\ \text{Massa BOD Efluens} &= Q \times [\text{BOD}] \\ &= 73,680 \text{ L/hari} \times 14,970 \text{ mg/L} \\ &= 1102989600 \text{ mg/hari} \\ &= 1102,9896 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

b. **bCOD**

Untuk kriteria desain untuk air limbah domestik dengan nilai bCOD adalah tipikal pada rasio bCOD/BOD adalah 1,64 untuk rentang sekitar 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan ini, nilai bCOD dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} [\text{bCODinfluen}] &= 1.64 \times [\text{BODi}] \\ &= 1.64 \times 23,032 \text{ mg/L} \\ &= 37,772.48 \text{ mg/L} \\ \text{Debit L/hari} &= 73.68 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 73,680 \text{ L/hari} \\ \text{Massa bCOD Influen} &= Q \times [\text{bCOD influens}] \\ &= 73,680 \text{ L/hari} \times 37,772.48 \text{ mg/L} \\ &= 2783,076.326 \text{ mg/hari} \\ &= 2,783.076 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{bCODeffluen}] &= 1.64 \times [\text{BOD effluen}] \\ &= 1.64 \times 14970,0 \text{ mg/L} \\ &= 24,550.8 \text{ mg/L} \\ \text{Massa bCOD Efluens} &= Q \times [\text{bCOD effluens}] \\ &= 73,680 \text{ L/hari} \times 24,550.8 \text{ mg/L} \\ &= 1,808.903 \text{ mg/hari} \\ &= 1,808.903 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

c. **Beban NOB**

Menurut kriteria pada desain untuk air limbah domestik, persentase N organik berkisar antara 30% hingga 40% dari Total Nitrogen (TKN). N organik ini dibagi menjadi dua kategori, yaitu Non-bio yang mencakup 94% dan N-non bio sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan informasi ini, nilai N organik biodegradable dapat ditentukan sebagai berikut:

:

$$\begin{aligned}[\text{N Organik influen}] &= 35\% \times [\text{TKNi}] \\ &= 0.35 \times 2,901.55 \text{ mg/L} \\ &= 1,015.543 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}[\text{N Organik Bio influen}] &= 94\% \times 1.015.543 \text{ mg/L} \\ &= 954.61 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Debit L/hari} &= 73.68 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 73,680 \text{ L/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa N Organik Biodegradable} &= Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\ &= 73,680 \text{ L/hari} \times 954.61 \text{ mg/L} \\ &= 7,033,664.8 \text{ mg/hari} \\ &= 7.03365 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}[\text{N Organik effluen}] &= 35\% \times [\text{TKN effluen}] \\ &= 0.35 \times 2,712.5 \text{ mg/L} \\ &= 949.375 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}[\text{N Organik Bio effluen}] &= 94\% \times 949.375 \text{ mg/L} \\ &= 892.413 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa N Organik Biodegradabledegradable} &= Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\ &= 73,680 \text{ L/hari} \times 892.413 \text{ mg/L} \\ &= 65,752,953 \text{ mg/hari} \\ &= 65.753 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

2. ***BTank***

a. ***BOD***

$$[\text{BOD influen}] = 14,970 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned}\text{Debit L/hari} &= 59.76 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 59,760 \text{ L/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa BOD Influens} &= Q \times [\text{BOD}] \\ &= 59,760 \text{ L/hari} \times 14,970 \text{ mg/L} \\ &= 894,607,200 \text{ mg/hari} \\ &= 894.607 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$[\text{BOD effluen}] = 12,090.0 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa BOD Efluens} &= Q \times [\text{BOD}] \\ &= 59,760 \text{ L/hari} \times 12,090 \text{ mg/L} \\ &= 722,498.400 \text{ mg/hari} \\ &= 722.4984 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

b. ***bCOD***

Untuk kriteria desain untuk air limbah domestik dengan nilai bCOD adalah tipikal pada rasio bCOD/BOD adalah 1,64 untuk rentang sekitar 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003).

Berdasarkan ini, nilai bCOD dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}[\text{bCOD influens}] &= 1.64 \times [\text{BODi}] \\ &= 1.64 \times 14,970 \text{ mg/L} \\ &= 24,550.8 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Debit L/hari} &= 59.76 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 59,760 \text{ L/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa bCOD Influens} &= Q \times [\text{bCOD influens}] \\ &= 59,760 \text{ L/hari} \times 24,550.8 \text{ mg/L} \\ &= 1,467,155,808 \text{ mg/hari} \\ &= 1467.156 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}[\text{bCOD effluens}] &= 1.64 \times [\text{BOD effluen}] \\ &= 1.64 \times 12,090 \text{ mg/L} \\ &= 19,827.6 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\text{Massa bCOD Efluens} = Q \times [\text{bCOD effluens}]$$

$$\begin{aligned}
&= 59,760 \text{ L/hari} \times 19,827.6 \text{ mg/L} \\
&= 1,184,897,376 \text{ mg/hari} \\
&= 1,184.897 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

c. NOB

Menurut kriteria pada desain untuk air limbah domestik, persentase N organik berkisar antara 30% hingga 40% dari Total Nitrogen (TKN). N organik ini dibagi menjadi dua kategori, yaitu Non-bio yang mencakup 94% dan N-non bio sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan informasi ini, nilai N organik biodegradable dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
[\text{N Organik influen}] &= 35\% \times [\text{TKNi}] \\
&= 0.35 \times 2,712.5 \text{ mg/L} \\
&= 949.375 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[\text{N Organik Bio influen}] &= 94\% \times 949.375 \text{ mg/L} \\
&= 892.413 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Debit L/hari} &= 59.76 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 59,760 \text{ L/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Massa N Organik Biodegradable} &= Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\
&= 59,760 \text{ L/hari} \times 892.413 \text{ mg/L} \\
&= 53,330.571 \text{ mg/hari} \\
&= 53.331 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[\text{N Organik effluen}] &= 35\% \times [\text{TKN effluen}] \\
&= 0.35 \times 2,712.45 \text{ mg/L} \\
&= 949.3575 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[\text{N Organik Biodegradable}] \text{ Effluen} &= 94\% \times 949.3575 \text{ mg/L} \\
&= 892.396 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Massa N Organik Biodegradable} &= Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\
&= 59,760 \text{ L/hari} \times 892.396 \text{ mg/L} \\
&= 53,329.587.95 \text{ mg/hari} \\
&= 533.30 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

3. SWell

a. BOD

$$\begin{aligned}
[\text{BOD influen}] &= 230 \text{ mg/L} \\
\text{Debit L/hari} &= 13.92 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 13,920 \text{ L/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Massa BOD Influen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
&= 13,920 \text{ L/hari} \times 230 \text{ mg/L} \\
&= 3,201.600 \text{ mg/hari} \\
&= 3.202 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$[\text{BOD effluen}] = 230.00 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned}
\text{Massa BOD Efluen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
&= 13,920 \text{ L/hari} \times 230 \text{ mg/L} \\
&= 3,201,600 \text{ mg/hari} \\
&= 3.202 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

b. bCOD

Untuk kriteria desain untuk air limbah domestik dengan nilai bCOD adalah tipikal pada rasio bCOD/BOD adalah 1,64 untuk rentang sekitar 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan ini, nilai bCOD dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
[\text{bCOD influens}] &= 1.64 \times [\text{BODi}] \\
&= 1.64 \times 230 \text{ mg/L} \\
&= 377.2 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Debit L/hari} &= 13.92 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 13,920 \text{ L/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Massa bCOD Influen} &= Q \times [\text{bCOD influens}] \\
&= 13,920 \text{ L/hari} \times 377.2 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 5,250.624 \text{ mg/hari} \\
&= 5.251 \text{ kg/hari} \\
[\text{bCOD effluens}] &= 1.64 \times [\text{BOD effluen}] \\
&= 1.64 \times 230 \text{ mg/L} \\
&= 377.2 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Massa bCOD Effluens} &= Q \times [\text{bCOD effluens}] \\
&= 13,920 \text{ L/hari} \times 377.2 \text{ mg/L} \\
&= 5,250.624 \text{ mg/hari} \\
&= 5.251 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

c. NOB

Menurut kriteria pada desain untuk air limbah domestik, persentase N organik berkisar antara 30% hingga 40% dari Total Nitrogen (TKN). N organik ini dibagi menjadi dua kategori, yaitu Non-bio yang mencakup 94% dan N-non bio sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan informasi ini, nilai N organik biodegradable dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
[\text{N Organik influen}] &= 35\% \times [\text{TKNi}] \\
&= 0.35 \times 95.67 \text{ mg/L} \\
&= 33.4845 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[\text{N Organik Bio influen}] &= 94\% \times 33.4845 \text{ mg/L} \\
&= 31.475 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Debit L/hari} &= 13.92 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 13,920 \text{ L/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Massa N Organik Biodegradable} &= Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\
&= 13,920 \text{ L/hari} \times 31.475 \text{ mg/L} \\
&= 438,137.99 \text{ mg/hari} \\
&= 0.438 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[\text{N Organik effluen}] &= 35\% \times [\text{TKN effluen}] \\
&= 0.35 \times 95.67 \text{ mg/L} \\
&= 33.485 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[\text{N Organik Biodegradable}] \text{ Effluen} &= 94\% \times 33.485 \text{ mg/L} \\
&= 31.47543 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Massa N Organik Biodegradable} &= Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\
&= 13,920 \text{ L/hari} \times 31.475 \text{ mg/L} \\
&= 438,137.99 \text{ mg/hari} \\
&= 0.438 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

4. ODitch

a. BOD

$$[\text{BOD}]1 \text{ Influen dari Sump well} = 230 \text{ mg/L}$$

$$[\text{BOD}]2 \text{ Influen dari B.Tank} = 14,970 \text{ mg/L}$$

$$[\text{BOD}]3 \text{ Influen dari M.Tank} = 128.85 \text{ mg/L}$$

$$\text{Debit (Q1) dari Sump well} = 13,920 \text{ L/hari}$$

$$\text{Debit (Q2) dari Balancing tank} = 59,760 \text{ L/hari}$$

$$\text{Debit (Q3) dari Mixing tank} = 89,263.394 \text{ L/hari}$$

$$\begin{aligned}
[\text{BOD influen}] &= (Q1 \times [\text{BOD}]1 + Q2 \times [\text{BOD}]2 + Q3 \times [\text{BOD}]3) : \\
&\quad (Q1 + Q2 + Q3) \\
&= (13,920 \text{ L/hari} \times 230 \text{ mg/L} + 59,760 \text{ L/hari} \times 14,970 \\
&\quad \text{mg/L} + 89,263.394 \text{ L/hari} \times 128.85 \text{ mg/L}) : (13,920 \\
&\quad \text{L/hari} + 59,760 \text{ L/hari} + 89,263.394 \text{ L/hari}) \\
&= 0.0055805 \text{ kg/L}
\end{aligned}$$

$$[\text{BOD influen}] = 5,580.529 \text{ mg/L}$$

$$\text{Debit L/hari} = 167.34171 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 167,341.71 \text{ L/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa BOD Influen} &= Q \times [\text{BOD}] \\ &= 167,341.71 \text{ L/hari} \times 5,580.529 \text{ mg/L} \\ &= 933,855.319.7 \text{ mg/hari} \\ &= 933.855 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$[\text{BOD effluen}] = 4030,0 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa BOD Efluens} &= Q \times [\text{BOD}] \\ &= 167,341.71 \text{ L/hari} \times 4,030 \text{ mg/L} \\ &= 674,387.091.3 \text{ mg/hari} \\ &= 674.387 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

b. bCOD

Untuk kriteria desain untuk air limbah domestik dengan nilai bCOD adalah tipikal pada rasio bCOD/BOD adalah 1,64 untuk rentang sekitar 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003).

Berdasarkan ini, nilai bCOD dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} [\text{bCOD influens}] &= 1.64 \times [\text{BOD}_i] \\ &= 1.64 \times 5,580.529 \text{ mg/L} \\ &= 9,152.068 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit L/hari} &= 167.34171 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 167,341.71 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa bCOD Influen} &= Q \times [\text{bCOD influens}] \\ &= 167,341.71 \text{ L/hari} \times 9,152.068 \text{ mg/L} \\ &= 1,531,522.636 \text{ mg/hari} \\ &= 1,531.153 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{bCOD effluens}] &= 1.64 \times [\text{BOD effluen}] \\ &= 1.64 \times 4030,0 \text{ mg/L} \\ &= 6,609.2 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa bCOD Efluens} &= Q \times [\text{bCOD effluens}] \\ &= 167,341.71 \text{ L/hari} \times 6,609.2 \text{ mg/L} \\ &= 1,105,994,830 \text{ mg/hari} \\ &= 1,105.995 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

c. NOB

Menurut kriteria pada desain untuk air limbah domestik, persentase N organik berkisar antara 30% hingga 40% dari Total Nitrogen (TKN). N organik ini dibagi menjadi dua kategori, yaitu Non-bio yang mencakup 94% dan N-non bio sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan informasi ini, nilai N organik biodegradable dapat ditentukan sebagai berikut:

$$[\text{NOB}]_1 \text{ Influen dari S.Well} = 31.48 \text{ mg/L}$$

$$[\text{NOB}]_2 \text{ Influen dari B.Tank} = 892.41 \text{ mg/L}$$

$$[\text{NOB}]_3 \text{ Influen dari M. Tank} = 7.063 \text{ mg/L}$$

$$\text{Debit (Q1) dari S.Well} = 13,920 \text{ L/hari}$$

$$\text{Debit (Q2) dari B.Tank} = 59,760 \text{ L/hari}$$

$$\text{Debit (Q3) dari M.Tank} = 89,263.394 \text{ L/hari}$$

$$\begin{aligned} [\text{NOB}] \text{ Influen} &= (Q_1 \times [\text{NOB}]_1 + Q_2 \times [\text{NOB}]_2 + Q_3 \times \\ &\quad [\text{NOB}]_3) : (Q_1 + Q_2 + Q_3) \\ &= (13,920 \text{ L/hari} \times 31.48 \text{ mg/L} + 59,760 \\ &\quad \text{L/hari} \times 892.41 \text{ mg/L} + 93,661.71 \text{ L/hari} \\ &\quad 7.063 \text{ mg/L}) : (13,920 \text{ L/hari} + 59,760 \\ &\quad \text{L/hari} + 89,263.394 \text{ L/hari}) \\ &= 325.078 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$[\text{NOB}] \text{ Influen} = 325.078 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit L/hari} &= 167.34171 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 167,341.71 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

$$\text{Massa N Organik Biodegradable} = Q \times [\text{N Organik}]$$

$$\begin{aligned}
& \text{Biodegradable]} \\
& = 167,341.71 \text{ L/hari} \times 325.078 \text{ mg/L} \\
& = 54,399,108.4 \text{ mg/hari} \\
& = 54.399 \text{ kg/hari} \\
& [\text{N Organik effluen}] = 35\% \times [\text{TKN effluen}] \\
& = 0.35 \times 35.68 \text{ mg/L} \\
& = 12.488 \text{ mg/L} \\
& [\text{N Organik Biodegradable}] \text{ Effluen} = 94\% \times 12.488 \text{ mg/L} \\
& = 11.73872 \text{ mg/L} \\
& \text{Massa N Organik Biodegradable} = Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\
& = 167,341.71 \text{ L/hari} \times 12.488 \text{ mg/L} \\
& = 2,089,763.274 \text{ mg/hari} \\
& = 2.090 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

5. **DBox I**

a. **BOD**

$$\begin{aligned}
& [\text{BOD influen}] = 4,030 \text{ mg/L} \\
& \text{Debit L/hari} = 167.34171 \text{ m}^3/\text{hari} \\
& = 167,341.71 \text{ L/hari} \\
& \text{Massa BOD Influens} = Q \times [\text{BOD}] \\
& = 167,341.71 \text{ L/hari} \times 4,030.0 \text{ mg/L} \\
& = 674,387,091.3 \text{ mg/hari} \\
& = 674.387 \text{ kg/hari} \\
& [\text{BOD effluen}] = 4,030 \text{ mg/L} \\
& \text{Massa BOD Efluens} = Q \times [\text{BOD}] \\
& = 167,341.71 \text{ L/hari} \times 4,030.0 \text{ mg/L} \\
& = 674,387,091.3 \text{ mg/hari} \\
& = 674.387 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

b. **bCOD**

Untuk kriteria desain untuk air limbah domestik dengan nilai bCOD adalah tipikal pada rasio bCOD/BOD adalah 1,64 untuk rentang sekitar 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan ini, nilai bCOD dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
& [\text{bCOD influens}] = 1.64 \times [\text{BOD}_i] \\
& = 1.64 \times 4030 \text{ mg/L} \\
& = 6,609.2 \text{ mg/L} \\
& \text{Debit L/hari} = 167.34171 \text{ m}^3/\text{hari} \\
& = 167,341.71 \text{ L/hari} \\
& \text{Massa bCOD Influens} = Q \times [\text{bCOD influens}] \\
& = 167,341.71 \text{ L/hari} \times 6,609.2 \text{ mg/L} \\
& = 1,105,994.830 \text{ mg/hari} \\
& = 1,105.995 \text{ kg/hari} \\
& [\text{bCOD effluens}] = 1.64 \times [\text{BOD effluen}] \\
& = 1.64 \times 4,030 \text{ mg/L} \\
& = 6,609.2 \text{ mg/L} \\
& \text{Massa bCOD Efluens} = Q \times [\text{bCOD effluens}] \\
& = 167,341.71 \text{ L/hari} \times 6,609.2 \text{ mg/L} \\
& = 1,105,994.830 \text{ mg/hari} \\
& = 1,105.995 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

c. **NOB**

Menurut kriteria pada desain untuk air limbah domestik, persentase N organik berkisar antara 30% hingga 40% dari Total Nitrogen (TKN). N organik ini dibagi menjadi dua kategori, yaitu Non-bio yang mencakup 94% dan N-non bio sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan informasi ini, nilai N organik biodegradable dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
[\text{N Organik Bio influen}] &= 290.969 \text{ mg/L} \\
\text{Debit L/hari} &= 167.34171 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 167,341.71 \text{ L/hari} \\
\text{Massa N Organik Biodegradable} &= Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\
&= 167,341.71 \text{ L/hari} \times 325.078 \text{ mg/L} \\
&= 54,399,108.4 \text{ mg/hari} \\
&= 54.399 \text{ kg/hari} \\
[\text{N Organik Biodegradable}] \text{ Effluen} &= 325.078 \text{ mg/L} \\
\text{Massa N Organik Biodegradable} &= Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\
&= 167,341.71 \text{ L/hari} \times 12.844 \text{ mg/L} \\
&= 2.090 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

6. Clarifier

a. **BOD**

$$\begin{aligned}
[\text{BOD influen}] &= 4030 \text{ mg/L} \\
\text{Debit L/hari} &= 167.34171 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 167,341.71 \text{ L/hari} \\
\text{Massa BOD Influens} &= Q \times [\text{BOD}] \\
&= 167,341.71 \text{ L/hari} \times 4,030 \text{ mg/L} \\
&= 674,749,791.3 \text{ mg/hari} \\
&= 674.75 \text{ kg/hari} \\
[\text{BOD effluen}] &= 130 \text{ mg/L} \\
\text{Massa BOD Effluens} &= Q \times [\text{BOD}] \\
&= 167,341.71 \text{ L/hari} \times 130 \text{ mg/L} \\
&= 21,754,422.3 \text{ mg/hari} \\
&= 21.754 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

b. **bCOD**

Untuk kriteria desain untuk air limbah domestik dengan nilai bCOD adalah tipikal pada rasio bCOD/BOD adalah 1,64 untuk rentang sekitar 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan ini, nilai bCOD dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
[\text{bCOD influens}] &= 1.64 \times [\text{BOD}_i] \\
&= 1.64 \times 4030 \text{ mg/L} \\
&= 6,609.2 \text{ mg/L} \\
\text{Debit L/hari} &= 167.34171 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 167,341.71 \text{ L/hari} \\
\text{Massa bCOD Influens} &= Q \times [\text{bCOD influens}] \\
&= 167,341.71 \text{ L/hari} \times 6,609.2 \text{ mg/L} \\
&= 1,105,994.830 \text{ mg/hari} \\
&= 1,105.995 \text{ kg/hari} \\
[\text{bCOD effluens}] &= 1.64 \times [\text{BOD effluen}] \\
&= 1.64 \times 130 \text{ mg/L} \\
&= 213.2 \text{ mg/L} \\
\text{Massa bCOD Effluens} &= Q \times [\text{bCOD effluens}] \\
&= 167,341.71 \text{ L/hari} \times 213.2 \text{ mg/L} \\
&= 35,677,252.57 \text{ mg/hari} \\
&= 35.677 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

c. **NOB**

Menurut kriteria pada desain untuk air limbah domestik, persentase N organik berkisar antara 30% hingga 40% dari Total Nitrogen (TKN). N organik ini dibagi menjadi dua kategori, yaitu Non-bio yang mencakup 94% dan N-non bio sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan informasi ini, nilai N organik biodegradable dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
[\text{N Organik influen}] &= 35\% \times [\text{TKNi}] \\
&= 0.35 \times 35.68 \text{ mg/L} \\
&= 12.488 \text{ mg/L} \\
[\text{N Organik Bio influen}] &= 94\% \times 12.488 \text{ mg/L} \\
&= 11.739 \text{ mg/L} \\
\text{Debit L/hari} &= 167.34171 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 167,341.71 \text{ L/hari} \\
\text{Massa N Organik Biodegradable} &= Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\
&= 167,341.71 \text{ L/hari} \times 11.739 \text{ mg/L} \\
&= 1,964,377.478 \text{ mg/hari} \\
&= 1.964 \text{ kg/hari} \\
[\text{N Organik effluen}] &= 35\% \times [\text{TKN effluen}] \\
&= 0.35 \times 30.02 \text{ mg/L} \\
&= 10.057 \text{ mg/L} \\
[\text{N Organik Biodegradable}] \text{ Effluen} &= 94\% \times 10.057 \text{ mg/L} \\
&= 9.877 \text{ mg/L} \\
\text{Massa N Organik Biodegradable} &= Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\
&= 167,341.71 \text{ L/hari} \times 9.877 \text{ mg/L} \\
&= 1,652,834.07 \text{ mg/hari} \\
&= 1.653 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

7. PPond

a. BOD

$$\begin{aligned}
[\text{BOD influen}] &= 130.0 \text{ mg/L} \\
\text{Debit L/hari} &= 60\% \times Q \text{ Clarifier} \\
&= 0.6 \times 167,341.71 \text{ L/hari} \\
&= 100,405.026 \text{ L/hari} \\
\text{Massa BOD Influens} &= Q \times [\text{BOD}] \\
&= 100,405.026 \text{ L/hari} \times 130 \text{ mg/L} \\
&= 13,052,653.38 \text{ mg/hari} \\
&= 13.053 \text{ kg/hari} \\
[\text{BOD effluen}] &= 97.64 \text{ mg/L} \\
\text{Massa BOD Efluens} &= Q \times [\text{BOD}] \\
&= 100,405.026 \text{ L/hari} \times 97.64 \text{ mg/L} \\
&= 9,803,546.739 \text{ mg/hari} \\
&= 9.803 \text{ kg/hari} \\
\text{Debit L/hari ke Badan Air} &= 40\% \times Q \text{ Polishing pond} \\
&= 40\% \times 100,405.026 \text{ L/hari} \\
&= 40,162.0104 \text{ L/hari} \\
\text{Massa ke Badan Air} &= Q \times [\text{BOD}] \\
&= 40,162.0104 \text{ L/hari} \times 97.64 \text{ mg/L} \\
&= 3,921,418.695 \text{ mg/hari} \\
&= 3.921 \text{ kg/hari} \\
\text{Debit L/hari ke Mixing tank} &= 60\% \times Q \text{ Polishing pond} \\
&= 60\% \times 100,405.026 \text{ L/hari} \\
&= 60,243.0156 \text{ L/hari} \\
\text{Massa ke MT} &= Q \times [\text{BOD}] \\
&= 60,243.0156 \text{ L/hari} \times 97.64 \text{ mg/L} \\
&= 5,882,128.043 \text{ mg/hari}
\end{aligned}$$

$$= 5.882 \text{ kg/hari}$$

b. bCOD

Untuk kriteria desain untuk air limbah domestik dengan nilai bCOD adalah tipikal pada rasio bCOD/BOD adalah 1,64 untuk rentang sekitar 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan ini, nilai bCOD dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} [\text{bCOD influens}] &= 1.64 \times [\text{BOD}_i] \\ &= 1.64 \times 130 \text{ mg/L} \\ &= 213.2 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\text{Debit L/hari} = 100,405.026 \text{ L/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa bCOD Influens} &= Q \times [\text{bCOD influens}] \\ &= 100,405.026 \text{ L/hari} \times 213.2 \text{ mg/L} \\ &= 21,406,351.54 \text{ mg/hari} \end{aligned}$$

$$= 21.406 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned} [\text{bCOD effluens}] &= 1.64 \times [\text{BOD effluen}] \\ &= 1.64 \times 97.64 \text{ mg/L} \\ &= 160.130 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa bCOD Effluens} &= Q \times [\text{bCOD effluens}] \\ &= 100,405.026 \text{ L/hari} \times 160.130 \text{ mg/L} \\ &= 16,077,816.65 \text{ mg/hari} \end{aligned}$$

$$= 16.078 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Debit L/hari ke Badan Air} = 40,162.0104 \text{ L/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa bCOD B.Air} &= Q \times [\text{bCOD influens}] \\ &= 40,162.0104 \text{ L/hari} \times 213.2 \text{ mg/L} \\ &= 8,562,540.617 \text{ mg/hari} \end{aligned}$$

$$= 8.562 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Debit L/hari ke Resirkulasi} = 60,243.0156 \text{ L/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa bCOD Resirkulasi} &= Q \times [\text{bCOD influens}] \\ &= 60,243.0156 \text{ L/hari} \times 213.2 \text{ mg/L} \\ &= 12,843,810.93 \text{ mg/hari} \end{aligned}$$

$$= 12.844 \text{ kg/hari}$$

c. NOB

Menurut kriteria pada desain untuk air limbah domestik, persentase N organik berkisar antara 30% hingga 40% dari Total Nitrogen (TKN). N organik ini dibagi menjadi dua kategori, yaitu Non-bio yang mencakup 94% dan N-non bio sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan informasi ini, nilai N organik biodegradable dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} [\text{N Organik influen}] &= 35\% \times [\text{TKN}_i] \\ &= 0.35 \times 30.02 \text{ mg/L} \\ &= 10.507 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{N Organik Bio influen}] &= 94\% \times 10.507 \text{ mg/L} \\ &= 9.877 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\text{Debit L/hari} = 100,405.026 \text{ L/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa N Organik Biodegradable} &= Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\ &= 100,405.026 \text{ L/hari} \times 9.877 \text{ mg/L} \\ &= 991,658.272 \text{ mg/hari} \end{aligned}$$

$$= 0.992 \text{ kg/hari}$$

$$[\text{N Organik effluen}] = 35\% \times [\text{TKN effluen}]$$

$$\begin{aligned}
&= 0.35 \times 15.25 \text{ mg/L} \\
&= 5.338 \text{ mg/L} \\
\text{[N Organik Biodegradable] Effluen} &= 94\% \times 5.338 \text{ mg/L} \\
&= 5.01725 \text{ mg/L} \\
\text{Massa N Organik Biodegradable} &= Q \times \text{[N Organik Biodegradable]} \\
&= 100,405.026 \text{ L/hari} \times 5.01725 \text{ mg/L} \\
&= 503,757.1167 \text{ mg/hari} \\
&= 0.504 \text{ kg/hari} \\
\text{Q ke Badan Air} &= 40\% \times Q \text{ Polishing pond} \\
&= 0.40 \times 100,405.026 \text{ L/hari} \\
&= 40,162.0104 \text{ L/hari} \\
\text{Massa ke Badan Air} &= Q \times \text{[N Organik Biodegradable]} \\
&= 40,162.0104 \text{ L/hari} \times 5.01725 \text{ mg/L} \\
&= 201,502.8467 \text{ mg/hari} \\
&= 0.201 \text{ kg/hari} \\
\text{Q untuk Resirkulasi} &= 60\% \times Q \text{ Polishing pond} \\
&= 0.60 \times 100,405.026 \text{ L/hari} \\
&= 60,243.0156 \text{ L/hari} \\
\text{Massa untuk Resirkulasi} &= Q \times \text{[N Organik Biodegradable]} \\
&= 60,243.0156 \text{ L/hari} \times 5.01725 \text{ mg/L} \\
&= 302,254.27 \text{ mg/hari} \\
&= 0.302 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

8. **DBox II**

a. **BOD**

$$\begin{aligned}
\text{[BOD influen]} &= 130 \text{ mg/L} \\
\text{Debit L/hari} &= 40\% \times Q \text{ Clarifier} \\
&= 66,936.68 \text{ L/hari} \\
\text{Massa BOD Influens} &= Q \times \text{[BOD]} \\
&= 66,936.68 \text{ L/hari} \times 130 \text{ mg/L} \\
&= 8,701,768.92 \text{ mg/hari} \\
&= 8.702 \text{ kg/hari} \\
\text{[BOD effluen]} &= 130 \text{ mg/L} \\
\text{Massa BOD Efluens} &= Q \times \text{[BOD]} \\
&= 66,936.68 \text{ L/hari} \times 130 \text{ mg/L} \\
&= 8,701,768.92 \text{ mg/hari} \\
&= 8.702 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

b. **bCOD**

Untuk kriteria desain untuk air limbah domestik dengan nilai bCOD adalah tipikal pada rasio bCOD/BOD adalah 1,64 untuk rentang sekitar 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan ini, nilai bCOD dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{[bCOD influens]} &= 1.64 \times \text{[BODi]} \\
&= 1.64 \times 130 \text{ mg/L} \\
&= 213.2 \text{ mg/L} \\
\text{Debit L/hari} &= 66,936.68 \text{ L/hari} \\
\text{Massa bCOD Influens} &= Q \times \text{[bCOD influens]} \\
&= 66,936.68 \text{ L/hari} \times 213.2 \text{ mg/L} \\
&= 14,270,901.03 \text{ mg/hari} \\
&= 14.271 \text{ kg/hari} \\
\text{[bCOD effluens]} &= 1.64 \times \text{[BOD effluen]}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 1.64 \times 130 \text{ mg/L} \\
&= 213.2 \text{ mg/L} \\
\text{Massa bCOD Effluens} &= Q \times [\text{bCOD effluens}] \\
&= 66,936.68 \text{ L/hari} \times 213.2 \text{ mg/L} \\
&= 14,270,901.03 \text{ mg/hari} \\
&= 14.271 \text{ kg/hari} \\
\text{Debit L/hari ke M.Tank} &= 51\% \times Q \text{ Distribution box ii} \\
&= 51\% \times 66,936.68 \text{ L/hari} \\
&= 33,418.694 \text{ L/hari} \\
\text{Massa ke M.Tank} &= Q \times [\text{bCOD effluens}] \\
&= 33,418.694 \text{ L/hari} \times 213.2 \text{ mg/L} \\
&= 7,124,865.561 \text{ mg/hari} \\
&= 7.125 \text{ kg/hari} \\
\text{Debit L/hari ke SDB} &= 49\% \times Q \text{ Distribution box ii} \\
&= 49\% \times 66,936.68 \text{ L/hari} \\
&= 33,517.986 \text{ L/hari} \\
\text{Massa ke SDB} &= Q \times [\text{bCOD effluens}] \\
&= 33,517.986 \text{ L/hari} \times 213.2 \text{ mg/L} \\
&= 7,146,034.615 \text{ mg/hari} \\
&= 7.146 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

c. NOB

Menurut kriteria pada desain untuk air limbah domestik, persentase N organik berkisar antara 30% hingga 40% dari Total Nitrogen (TKN). N organik ini dibagi menjadi dua kategori, yaitu Non-bio yang mencakup 94% dan N-non bio sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan informasi ini, nilai N organik biodegradable dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
[\text{N Organik influen}] &= 35\% \times [\text{TKNi}] \\
&= 0.35 \times 30.02 \text{ mg/L} \\
&= 10.507 \text{ mg/L} \\
[\text{N Organik Bio influen}] &= 94\% \times 10.507 \text{ mg/L} \\
&= 9.877 \text{ mg/L} \\
\text{Debit L/hari} &= 66,936.68 \text{ L/hari} \\
\text{Massa N Organik Biodegradable In} &= Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\
&= 66,936.68 \text{ L/hari} \times 9.877 \text{ mg/L} \\
&= 661,105.514 \text{ mg/hari} \\
&= 0.661 \text{ kg/hari} \\
[\text{N Organik effluen}] &= 35\% \times [\text{TKN effluen}] \\
&= 0.35 \times 30.02 \text{ mg/L} \\
&= 10.507 \text{ mg/L} \\
[\text{N Organik Biodegradable}] \text{ Effluen} &= 94\% \times 10.507 \text{ mg/L} \\
&= 9.877 \text{ mg/L} \\
\text{Debit L/hari} &= 66,936.68 \text{ L/hari} \\
\text{Massa N Organik Biodegradable Eff} &= Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\
&= 66,936.68 \text{ L/hari} \times 9.877 \text{ mg/L} \\
&= 661,105.5145 \text{ mg/hari} \\
&= 0.661 \text{ kg/hari} \\
\text{Debit L/hari ke M.Tank} &= 51\% \times Q \text{ Distribution box ii} \\
&= 51\% \times 66,936.68 \text{ L/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 33,418.694 \text{ L/hari} \\
\text{Massa ke M.Tank} &= Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\
&= 33,418.694 \text{ L/hari} \times 9.877 \text{ mg/L} \\
&= 330,062.4048 \text{ mg/hari} \\
&= 0.330 \text{ kg/hari} \\
\text{Debit L/hari ke SDB} &= 49\% \times Q \text{ Distribution box ii} \\
&= 49\% \times 66,936.68 \text{ L/hari} \\
&= 33,517.986 \text{ L/hari} \\
\text{Massa ke SDB} &= Q \times [\text{bCOD effluens}] \\
&= 33,517.986 \text{ L/hari} \times 9.877 \text{ mg/L} \\
&= 0.331 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

9. MTank

a. BOD

$$\begin{aligned}
\text{Debit L/hari} &= 49.8\% \text{ dari DB II} + 60\% \text{ dari PP} \\
&= 49.8\% \times 66,936.68 \text{ L/hari} + 60\% \times 100,405.026 \text{ L/hari} \\
&= 93,661.71 \text{ L/hari} \\
[\text{BOD influen}] &= [(Q \text{ DB II} \times [\text{BOD}] \text{ DB II}) + (Q \\
&\text{ ke MT} \times [\text{BOD}] \text{ ke MT})] : (Q \text{ DB II} + \\
&Q \text{ ke MT}) \\
&= [(66,936.68 \text{ L/hari} \times 130 \text{ mg/L}) + (100,405.026 \text{ L/hari} \times \\
&97.64 \text{ mg/L})] : (66,936.68 \text{ L/hari} + 100,405.026 \text{ L/hari}) \\
&= 110.584 \text{ mg/L} \\
\text{Massa Influen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
&= 93,661.71 \text{ L/hari} \times 110.584 \text{ mg/L} \\
&= 10.352 \text{ kg/hari} \\
[\text{BOD effluen}] &= 1,207.079 \text{ mg/L} \\
\text{Massa Effluen} &= Q \times [\text{BOD}] \\
&= 93,661.71 \text{ L/hari} \times 110.584 \text{ mg/L} \\
&= 10.352 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

b. bCOD

Untuk kriteria desain untuk air limbah domestik dengan nilai bCOD adalah tipikal pada rasio bCOD/BOD adalah 1,64 untuk rentang sekitar 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan ini, nilai bCOD dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
[\text{bCOD influens}] &= 1.64 \times [\text{BODi}] \\
&= 1.64 \times 110.584 \text{ mg/L} \\
&= 181.358 \text{ mg/L} \\
\text{Debit L/hari} &= 93,661.71 \text{ L/hari} \\
\text{Massa bCOD Influen} &= Q \times [\text{bCOD influens}] \\
&= 93,661.71 \text{ L/hari} \times 181.358 \text{ mg/L} \\
&= 16,986,278 \text{ mg/hari} \\
&= 16.986 \text{ kg/hari} \\
[\text{bCOD effluens}] &= 1.64 \times [\text{BOD effluen}] \\
&= 1.64 \times 110,584 \text{ mg/L} \\
&= 181.358 \text{ mg/L} \\
\text{Massa bCOD Effluens} &= Q \times [\text{bCOD influens}] \\
&= 93,661.71 \text{ L/hari} \times 181.358 \text{ mg/L} \\
&= 16,986,278 \text{ mg/hari} \\
&= 16.986 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

c. NOB

Menurut kriteria pada desain untuk air limbah domestik, persentase N organik

berkisar antara 30% hingga 40% dari Total Nitrogen (TKN). N organik ini dibagi menjadi dua kategori, yaitu Non-bio yang mencakup 94% dan N-non bio sebesar 6% (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan informasi ini, nilai N organik biodegradable dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Debit L/hari} &= 49.8\% \text{ dari DB II} + 60\% \text{ dari PP} \\ &= 49.8\% \times 66,936.68 \text{ L/hari} + 60\% \times 100,405.026 \text{ L/hari} \\ &= 93,661.710 \text{ L/hari} \\ [\text{N Organik Bio influen}] &= [(Q \text{ DB II} \times [\text{NOB}] \text{ DB II}) + (Q \\ &\text{ke MT} \times [\text{NOB}] \text{ ke MT})] : (Q \text{ DB II} + Q \\ &\text{ke MT}) \\ &= [(66,936.68 \text{ L/hari} \times 9.877 \text{ mg/L}) + (100,405.026 \text{ L/hari} \times \\ &5.017 \text{ mg/L})] : (66,936.68 \text{ L/hari} + 100,405.026 \text{ L/hari}) \\ &= 6.961 \text{ mg/L} \\ \text{Massa Influen} &= Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\ &= 93,661.71 \text{ L/hari} \times 6.961 \text{ mg/L} \\ &= 651,979.2 \text{ mg/hari} \\ &= 0.652 \text{ kg/hari} \\ [\text{N Organik Biodegradable}] \text{ Effluen} &= 6.961 \text{ mg/L} \\ \text{Massa Effluen} &= Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\ &= 93,661.71 \text{ L/hari} \times 6.961 \text{ mg/L} \\ &= 651,979.2 \text{ mg/hari} \\ &= 0.652 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

10. SDBed

a. **BOD**

$$\begin{aligned} \text{Debit L/hari} &= 51\% \times Q \text{ Distribution box ii} \\ &= 51\% \times 66,936.68 \text{ L/hari} \\ &= 33,517.986 \text{ L/hari} \\ [\text{BOD influen}] &= 130 \text{ mg/L} \\ \text{Massa BOD ke SDB} &= Q \times [\text{BOD}] \\ &= 33,517.986 \text{ L/hari} \times 130 \text{ mg/L} \\ &= 4,357,338 \text{ mg/hari} \\ &= 4.357 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

b. **bCOD**

Untuk kriteria desain untuk air limbah domestik dengan nilai bCOD adalah tipikal pada rasio bCOD/BOD adalah 1,64 untuk rentang sekitar 1,6-1,7 (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan ini, nilai bCOD dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} [\text{bCOD influens}] &= 1.64 \times [\text{BOD}_i] \\ &= 1.64 \times 130 \text{ mg/L} \\ &= 213.2 \text{ mg/L} \\ \text{Debit L/hari} &= 33,517.986 \text{ L/hari} \\ \text{Massa bCOD ke SDB} &= Q \times [\text{bCOD influens}] \\ &= 33,517.986 \text{ L/hari} \times 213.2 \text{ mg/L} \\ &= 7,146,035 \text{ mg/hari} \\ &= 7.146 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

c. **NOB**

Menurut kriteria pada desain untuk air limbah domestik, persentase N organik berkisar antara 30% hingga 40% dari Total Nitrogen (TKN). N organik ini dibagi menjadi dua kategori, yaitu Non-bio yang mencakup 94% dan N-non bio sebesar

6% (Metcalf and Eddy, 2003). Berdasarkan informasi ini, nilai N organik biodegradable dapat ditentukan sebagai berikut:

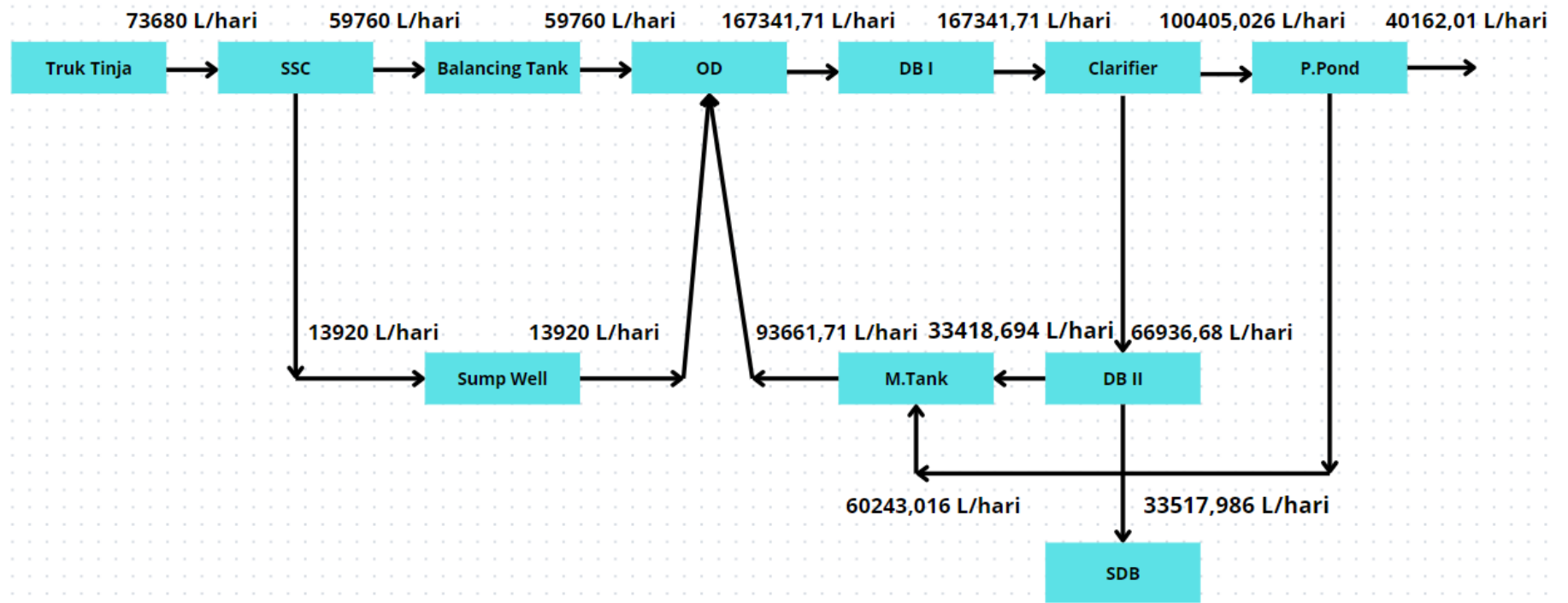
$$[\text{N Organik Biodegradable}] = 9.877 \text{ mg/L}$$

$$\text{Debit L/hari} = 33,517.986 \text{ L/hari}$$

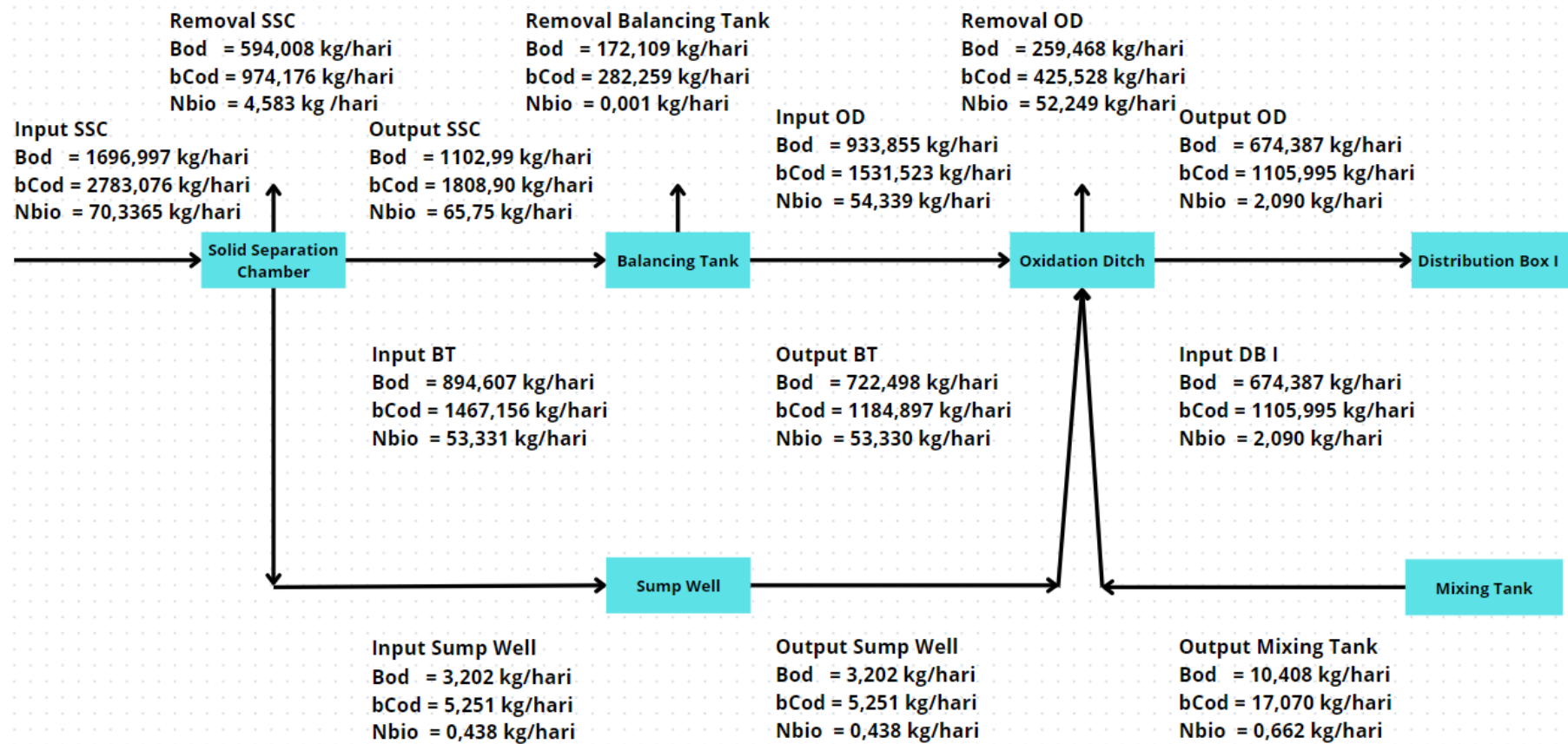
$$\begin{aligned} \text{Massa N Organik ke SDB} &= Q \times [\text{N Organik Biodegradable}] \\ &= 33,517.986 \text{ L/hari} \times 9.877 \text{ mg/L} \\ &= 331,057.1 \text{ mg/hari} \end{aligned}$$

$$= 0.331 \text{ kg/hari}$$

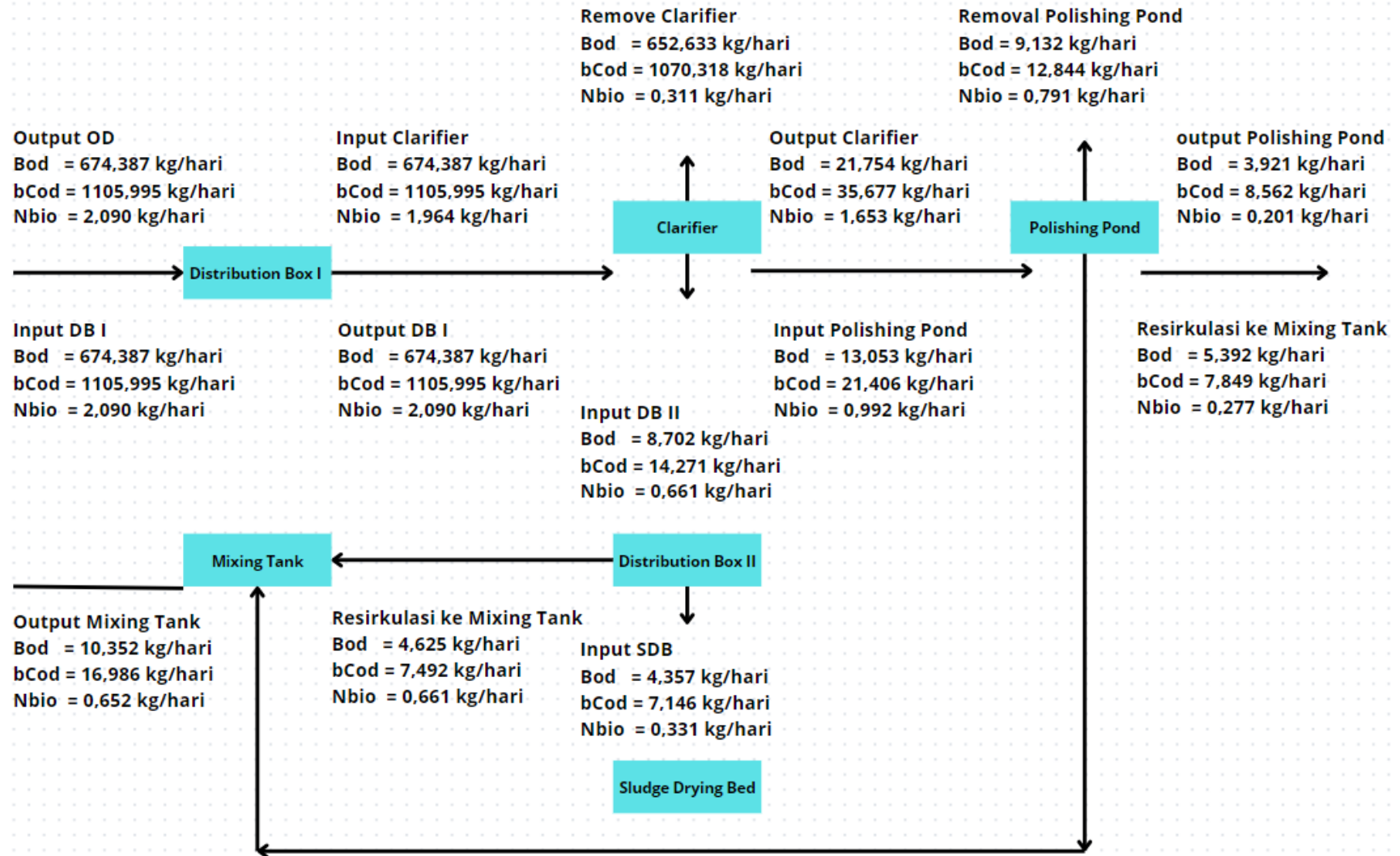
Setelah didapat hasil perhitungan dibuat gambar untuk debit pengolahan pada Gambar 4.1 dan gambar unit *mass balance* pada proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Mass Balance Pengolahan IPLT Keputih



Gambar 4.2 Mass Balance Konversi pada Pengolahan IPLT Keputih



Lanjutan Gambar 4.2 *Mass Balance* Konversi pada Pengolahan IPLT Keputih

4.2 Pengolahan LCA Memakai Software Simapro 9.5

Pentingnya penggunaan perangkat lunak SimaPro 9.5 dalam pengolahan data untuk mengevaluasi dampak lingkungan tidak dapat dipungkiri. Proses ini menggunakan beberapa langkah yang penting untuk dipakai secara cermat, termasuk penentuan tujuan dan cakupan, inventaris siklus hidup (LCI), penilaian siklus hidup (LCIA), dan interpretasi data. Fokus dari penelitian ini terbatas pada proses pengolahan limbah tinja organik yang dapat terurai secara biodegradable.

Pada tahap Life Cycle Inventory (LCI), data input yang krusial mencakup bahan baku dan energi yang digunakan dalam proses pengolahan limbah tinja. Setelah itu, pada tahap Life Cycle Impact Assessment (LCIA), dilakukan langkah-langkah karakterisasi, normalisasi, pembobotan, dan penyusunan nilai tunggal untuk mengidentifikasi dampak lingkungan dari proses tersebut. Hasil interpretasi data akan memberikan wawasan mengenai dampak keseluruhan dari suatu proses, yang selanjutnya dapat dijadikan dasar untuk melakukan perbaikan.

Namun, penting untuk dicatat bahwa salah satu kelemahan dari perangkat lunak SimaPro adalah bahwa tidak semua database tersedia secara lengkap. Oleh karena itu, seringkali diperlukan pendekatan yang lebih luas dengan menggunakan literatur dan melengkapi data secara manual untuk mendapatkan hasil yang akurat. Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari IPLT dan hasil pengambilan sampel, menunjukkan pentingnya sumber data yang andal dan berkualitas untuk analisis yang tepat.

4.3 Penentuan *Goal and Scope*

Untuk pertama yang perlu dilakukan adalah mengklarifikasi tujuan dan ruang lingkup penelitian dengan tepat. Proses ini krusial untuk memastikan konsistensi dan fokus yang diperlukan dalam analisis Life Cycle Assessment (LCA). Dalam konteks penelitian ini, tujuan yang telah ditetapkan adalah menganalisis dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh proses pengolahan untuk lumpur tinja di Instalasi Pengolahan Limbah Tinja (IPLT) Keputih dengan menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA).

Alasan untuk melakukan penelitian perlu dijelaskan secara rinci. Batasan penelitian menetapkan unit proses yang termasuk dalam analisis LCA. Tahap penentuan tujuan dapat dilihat pada Gambar 4.3.

The screenshot shows the 'LCA Explorer' application window. The left sidebar contains a navigation menu with categories: Wizards, Goal and scope, Inventory, Impact assessment, Interpretation, and General data. The 'Goal and scope' category is expanded, and the 'Description' sub-section is selected. The main area contains the following fields:

- Name:** tes terbaru iplt keputih
- Date:** 07/03/2024
- Author:** Arya Darmana Fabian
- Comment:**
 1. Apakah kontribusi dampak lingkungan akibat proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih dengan pendekatan life cycle assesment (LCA)?
 2. Bagaimana cara mengurangi kontribusi dampak lingkungan akibat proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih dengan pendekatan life cycle assesment (LCA)?
- LCA type:** Internal LCA
- ISO 14040:** Clear description of the goal and scope. ISO 14041 specifies recommended choices. ISO 14042 sets minimum standards for impact assessment. Sensitivity analysis is very important.
- Goal:**
 1. Menentukan kontribusi dampak lingkungan akibat proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih dengan pendekatan life cycle assesment (LCA)
 2. Menentukan cara mengurangi kontribusi dampak lingkungan akibat proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih dengan pendekatan life cycle assesment (LCA)

Gambar 4.3 Penentuan *Goal* pada Aplikasi *Software* SimaPro 9.5

Selanjutnya, ditentukan ruang lingkup atau scope yang akan dianalisis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Di tahap ini, ruang lingkup penelitian yang dipilih adalah basis data ecoinvents.

Ecoinvents adalah sebuah database yang terintegrasi dalam perangkat lunak SimaPro yang menonjol karena transparansi dan konsistensinya yang tinggi. Database ini komprehensif, mencakup berbagai kegiatan dalam bentuk inventarisasi data yang merinci setiap langkah proses unit. Melalui dataset ini, setiap aktivitas dapat dipahami secara mendalam dalam konteks dampak lingkungan yang dihasilkan. Ecoinvent memberikan akses ke informasi yang diperlukan selama proses untuk inventarisasi data, serta memberikan wawasan yang berharga terkait dampak lingkungan dari berbagai kegiatan. Dengan dukungan dari database ecoinvent, perusahaan dapat merancang produk yang lebih ramah lingkungan serta mendukung perencanaan dan implementasi kebijakan yang berkelanjutan. Hasil yang diperoleh dari database ecoinvents dapat digunakan untuk melakukan penilaian komparatif, yang berguna dalam menganalisa barang atau jasa yang lebih aman untuk lingkungan.

Scope ini dipilih karena akan fokus terhadap dua hal diantaranya :

1. Input

Data input terbagi menjadi dua kategori, yaitu data latar depan dan data latar belakang. Data latar depan mencakup informasi spesifik yang diperlukan untuk memodelkan sistem, termasuk deskripsi tentang sistem produksi tertentu. Di sisi lain, data latar belakang mencakup informasi tentang produksi bahan generik, energi, transportasi, dan pengelolaan limbah. Sumber-sumber data ini dapat diakses melalui basis data SimaPro atau diperoleh dari berbagai referensi terkait. Dalam pengolahan lumpur tinja, setiap unit di instalasi menangani beban organik yang bersifat biodegradable dan bergantung pada listrik sebagai sumber energinya. Sebagai contoh, mamot rotor digunakan untuk unit yang mengalir menuju oxidation ditch, sedangkan pompa resirkulasi digunakan untuk memindahkan cairan dari polishing pond ke mixing tank, dan listrik digunakan untuk menyuplai energi ke unit-unit lainnya.

2. Output

Output data yang dimaksud merujuk pada dampak lingkungan yang dihasilkan oleh proses tersebut. Dalam penelitian ini, dampak yang dianalisis mencakup eutrofikasi akuatik, pemanasan global, serta konsumsi energi non-terbarukan, dari total 14 kategori dampak yang dihasilkan dalam proses pengolahan lumpur tinja. Proses penentuan cakupan ini dapat dilihat pada Gambar 4.4.

LCA Explorer			
Wizards	Select	Name	Protection
Wizards	<input type="checkbox"/>	Agri-footprint - economic - system	
Product Systems	<input type="checkbox"/>	Agri-footprint - economic - unit	
Develop wizards	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - system	
Wizard variables	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit	
Goal and scope	<input checked="" type="checkbox"/>	EU & DK Input Output Database	
Description	<input checked="" type="checkbox"/>	Industry data 2.0	
Libraries	<input checked="" type="checkbox"/>	Methods	
	<input checked="" type="checkbox"/>	USLCI	

Gambar 4.4 Penentuan *Scope* untuk *Software SimaPro 9.5*

4.4 Penentuan LCI

Life Cycle Inventory (LCI) adalah tahap kedua dalam metodologi Life Cycle Assessment (LCA), yang digunakan untuk menilai dampak lingkungan dari suatu produk, proses, atau aktivitas sepanjang siklus hidupnya.

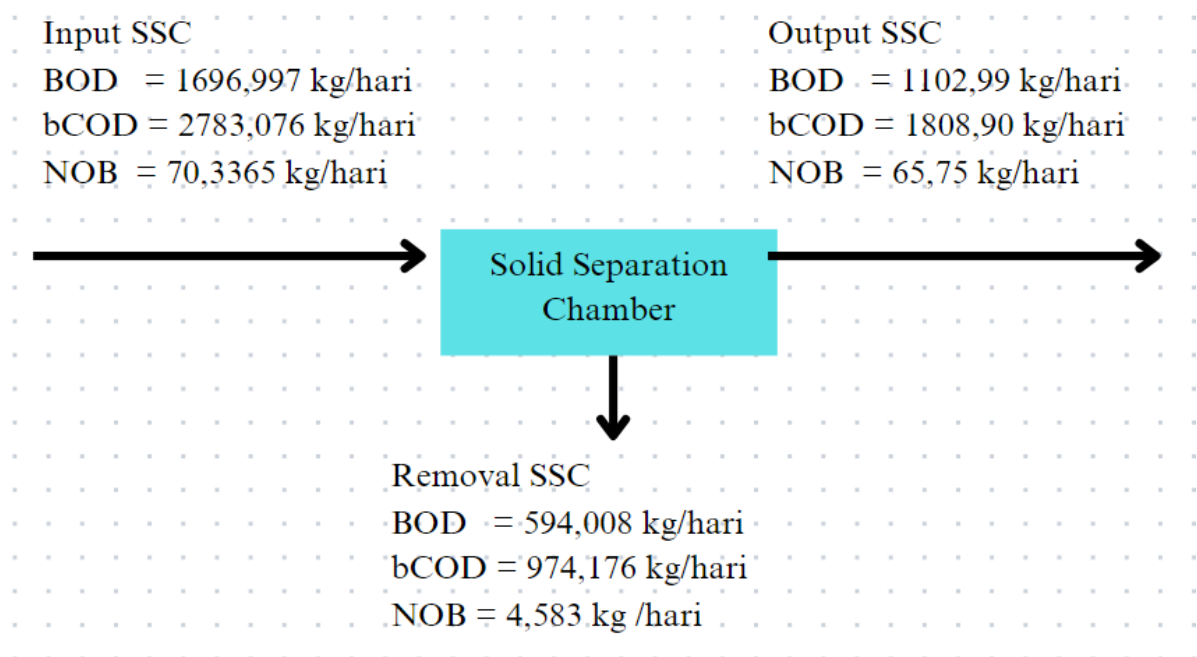
Dalam tahap ini, data dimasukkan ke dalam aplikasi, termasuk beban pengolahan dan konsumsi energi listrik pada setiap unit selama proses pengolahan. Data sekunder yang digunakan diperoleh dari IPLT Keputih, yang mencakup informasi tentang debit pengolahan serta jumlah energi listrik yang digunakan.

4.4.1 LCI pada *Solid Separation Chamber*

Life Cycle Inventory (LCI) untuk Solid Separation Chamber mencakup pengumpulan dan analisis data menyeluruh tentang semua input dan output yang terjadi sepanjang siklus hidup komponen ini. Proses ini dimulai dengan mengidentifikasi bahan mentah yang digunakan dalam pembuatan Solid Separation Chamber. Selain itu, LCI mencakup emisi yang dilepaskan ke udara, air, dan tanah selama pembuatan serta operasi Solid Separation Chamber, termasuk jenis dan jumlah limbah yang dihasilkan. Model sistem kemudian dibangun untuk mengatur dan menghitung data inventori menggunakan perangkat lunak LCA yang khusus.

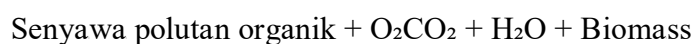
Evaluasi kualitas data dilakukan untuk memastikan keakuratannya, dan data yang dikumpulkan dikelompokkan berdasarkan kategori dampak lingkungan. Semua informasi ini didokumentasikan secara rinci untuk memfasilitasi verifikasi oleh pihak ketiga. Laporan akhir LCI menyajikan ringkasan hasil inventori dan memberikan dasar untuk penilaian dampak lingkungan lebih lanjut terkait penggunaan Solid Separation Chamber dalam berbagai aplikasi.

Berikut adalah material balance pada unit SSC, pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Material Balance untuk Solid Separation Chamber

Untuk penguraian bahan organik persamaannya adalah sebagai berikut:



Sebagian besar instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang menerapkan proses

aerobik berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca, terutama karbondioksida (Monteith, 2005). Setiap metode pada pengolahan air limbah dapat melepaskan gas rumah kaca, baik yang dihasilkan langsung dari proses pengolahan itu sendiri maupun dari peralatan pendukung yang digunakan.

Parameter Dominan yang Disisihkan:

- TSS (Total Suspended Solids): Parameter ini biasanya dominan disisihkan dalam SSC karena proses fisik pengendapan sangat efektif untuk menghilangkan padatan tersuspensi yang berat.
- BOD dan COD: Kedua parameter ini juga signifikan disisihkan karena banyak bahan organik yang mengandung BOD dan COD ikut mengendap bersama padatan.

Emisi gas yang dihasilkan oleh perangkat tambahan, seperti pembangkit listrik, dapat berkontribusi hingga dua pertiga dari total emisi yang diproduksi oleh Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) (Singh dan Kansal, 2018). Analisis menunjukkan bahwa sektor pembangkit listrik berkontribusi sekitar 39% dari total emisi CO₂ yang berpotensi menyebabkan pemanasan global di berbagai sektor ekonomi di seluruh dunia (Bennaceur, 2004).

Berikut adalah data material yang di konversikan :

- Debit pada pengolahan yaitu sebesar 3,07 m³/jam
Hasil konversi adalah 73,680 L/hari
- BOD 23,032 mg/L
- bCOD 37,772.48 mg/L
- N organik Bio 954,61 mg/L

Inventaris siklus hidup pada proses di *Solid Separation Chamber* bisa dilihat pada Tabel 4.5. Data input dalam inventaris siklus hidup ini telah disajikan dalam satuan harian.

Tabel 4.5 *Life Cycle Inventory* untuk Unit *Solid Separation Chamber*

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Debit L/hari	73,680	L/hari
BOD	23,032	mg/L
bCOD	37,772.48	mg/L
N Organik Bio	954,61	mg/L

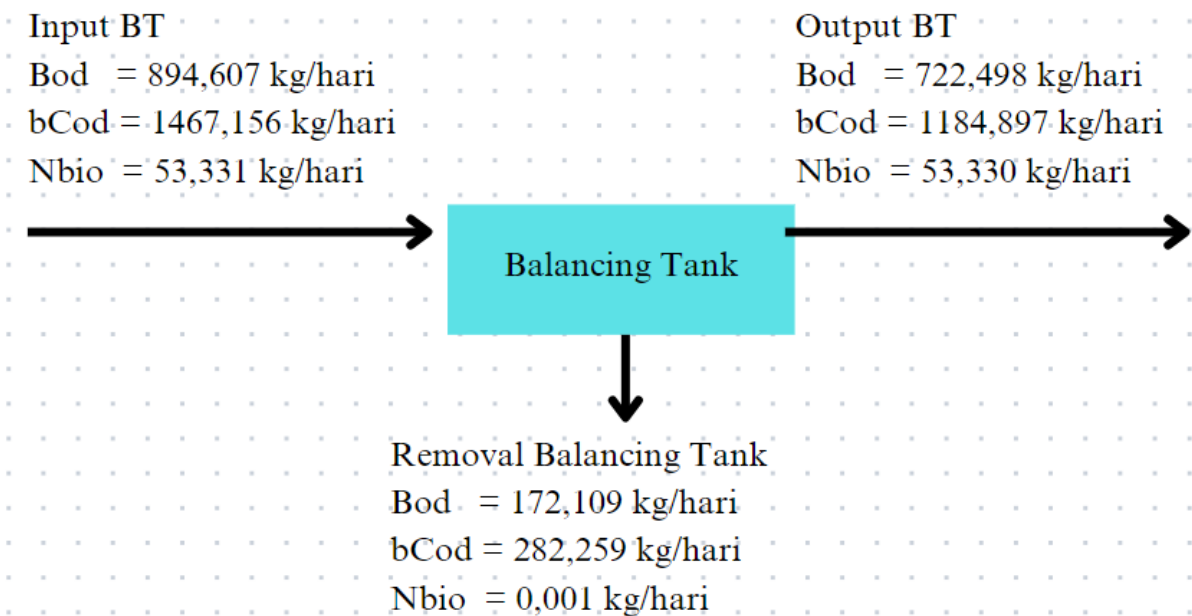
Input yang telah dilakukan pada *software* SimaPro bisa dilihat pada Gambar 4.6

Edit material process 'Output Truk Tinja Ke SSC'									
Documentation	Input/output	Parameters	System description						
Products									
Outputs to technosphere: Products and co-products		Amount	Unit	Quantity	Allocatic	Waste type	Category	Comment	
Output Truk Tinja Ke SSC		73680	l*day	Volume.Tir	100 %		Water\IPLT Analyze		
Add line									
Outputs to technosphere: Avoided products		Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max	Comment	
Add line									
Inputs									
Inputs from nature		Subcompartm	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max	Comment
Add line									
Inputs from technosphere: materials/fuels		Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max	Comment	
Air dan Lumpur dari Truk Tinja		73680	l*day	Undefined					
Add line									
Inputs from technosphere: electricity/heat		Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max	Comment	
Add line									
Outputs									
Emissions to air		Subcompartm	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max	Comment
Add line									
Emissions to water		Subcompartm	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max	Comment
Add line									

Gambar 4.6 Input Data SimaPro untuk Unit *Solid Separation Chamber*

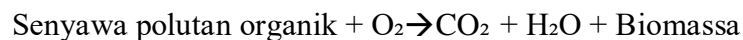
4.4.2 Life Cycle Inventory (LCI) pada Balancing Tank

Balancing tank merupakan unit kedua dalam proses pengolahan tinja, di mana limbah dari *Solid Separation Chamber* (SSC) mengalir menuju *balancing tank*. Lumpur tinja dari bak SSC mengalir secara gravitasi ke unit ini. Dalam tahap Life Cycle Inventory (LCI) untuk *balancing tank*, data serupa juga dikumpulkan, mencakup bahan yang digunakan untuk konstruksi tangki, konsumsi energi selama operasional, serta emisi dan limbah yang dihasilkan. Pengumpulan data ini melibatkan analisis aliran lumpur dan cairan yang masuk ke balancing tank, untuk memastikan sistem berfungsi secara efisien dan memenuhi standar lingkungan. Semua proses dan hasil yang diperoleh selama pengumpulan data ini didokumentasikan secara rinci, dan informasi tersebut kemudian digunakan untuk menilai dampak lingkungan secara menyeluruh dari balancing tank dalam sistem pengolahan tinja. Berikut adalah material balance pada *balancing tank*, pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Material Balance untuk Unit *Balancing Tank*

Di unit balancing tank (BT), material balance menunjukkan bahwa proses degradasi bahan organik biodegradable masih berlangsung selama oksigen bebas masih ada, meskipun tidak terlalu signifikan. Persamaan reaksi yang menggambarkan penguraian bahan organik adalah sebagai berikut:



Parameter Dominan yang Disisihkan:

- TSS (Total Suspended Solids): BT memberikan waktu pengendapan tambahan yang efektif untuk menyisihkan TSS.
- BOD dan COD: Penguraian biologis dan pengendapan lebih lanjut mengurangi BOD dan COD.

Setiap metode pengolahan limbah cair memiliki kemungkinan untuk memproduksi emisi gas rumah kaca, baik melalui proses pengolahan itu sendiri maupun dari peralatan yang mendukungnya. Emisi gas dari peralatan seperti pembangkit listrik dapat berkontribusi hingga dua pertiga dari total emisi yang dihasilkan oleh sebuah Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) (Singh dan Kansal, 2018). Menurut proyeksi, sektor pembangkit listrik berkontribusi sekitar 39% terhadap emisi CO₂ yang menyebabkan pemanasan global di berbagai sektor ekonomi di seluruh dunia (Bennaceur, 2004).

Berikut adalah data material yang di konversikan :

- Debit pada pengolahan yaitu sebesar 2,49 m³/jam
Hasil konversi adalah 59,760 L/hari
- BOD 14,970 mg/L
- bCOD 24,550.8 mg/L
- N organik Bio 892,4125 mg/L
- Pompa 15,8 kWh

Life cycle inventory untuk proses unit *balancing tank* bisa dilihat pada Tabel 4.6. Input dari *life cycle inventory* ini yaitu memakai data dalam satuan per hari.

Tabel 4.6 *Life Cycle Inventory* untuk Unit *Balancing Tank*

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Debit L/hari	59,760	L/hari
BOD	14,970	mg/L
bCOD	24,550.8	mg/L
N Organik Bio	892,4125	mg/L
Pompa	62,88	kWh

Untuk perhitungan untuk *Sump Well* sebagai berikut

Volume yang Keluar dari SSC ke *Sump Well*:

- 13,920 liter per hari

Konsentrasi TSS:

- Inlet SSC: 80,030 mg/L

Menghitung Volume Padatan dan Cairan:

1. Estimasi Volume Padatan di *Sump Well*:

Menggunakan Konsentrasi TSS:

- Diasumsikan bahwa sebagian besar padatan yang dipisahkan di SSC menuju ke *Sump Well*, kita bisa menggunakan nilai TSS inlet SSC untuk memperkirakan padatan yang masuk ke *Sump Well*.

Konsentrasi TSS Inlet SSC:

- 80,030 mg/L

Total Padatan (TSS) di *Sump Well*:

Total TSS di *Sump Well* = 13,920 × 80,030 mg/L

Total TSS di *Sump Well* = 1,113,417,600 mg

Total TSS di *Sump Well* = 1,113.42 kg

2. Volume Lumpur di *Sump Well*:

Dengan asumsi densitas lumpur (TSS) adalah sekitar 1.2 kg/L

Volume Lumpur di *Sump Well* = Densitas Total TSS

Volume Lumpur di *Sump Well* = 1.2 kg/L / 1,113.42 kg

Volume Lumpur di *Sump Well* = 927.85 liter

3. Volume Cairan di *Sump Well*:

Volume Cairan = Total Volume – Volume Lumpur

Volume Cairan = 13,920 liter – 927.85 liter

Volume Cairan = 12,992.15 liter

Volume Lumpur: 927.85 liter per hari

Volume Cairan: 12,992.15 liter per hari

Asumsi densitas lumpur sebesar 1,2 kg/L didasarkan pada referensi umum dari literatur ilmiah dan praktis di bidang pengolahan air limbah dan lumpur. Densitas ini sering digunakan sebagai pendekatan untuk lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah domestik atau industri. Namun, densitas lumpur sebenarnya bisa bervariasi tergantung pada jenis dan komposisi lumpur, serta proses pengolahan yang digunakan. Mengapa 1,2 kg/L?

- **Konsistensi Praktis:** Densitas 1,2 kg/L sering digunakan dalam banyak literatur teknis sebagai nilai rata-rata untuk lumpur yang mengandung sekitar 20-30% bahan padat.
- **Kesederhanaan Penghitungan:** Memilih angka ini memberikan kesederhanaan dalam perhitungan dan sering cukup akurat untuk estimasi awal.

Input yang sudah dilakukan pada *software* SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.8.

Products						
Outputs to technosphere: Products and co-products	Amount	Unit	Quantity	Allocatic	Waste type	Category
Output SSC ke Balancing Tank	59760	l*day	Volume.Tir	100 %		Water\IPLT Analyze
Volume Cairan SSC ke Balancing Tank	58851,68	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze
Volume Lumpur SSC ke Balancing Tank	908,32	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze
Add line						
Outputs to technosphere. Avoided products	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max
Add line						
Inputs						
Inputs from nature	Subcompartm	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min
Add line						
Inputs from technosphere: materials/fuels	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max
Air dan Lumpur dari SSC	59760	l*day	Undefined			
Add line						
Inputs from technosphere: electricity/heat	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max
	0		Undefined			
Add line						

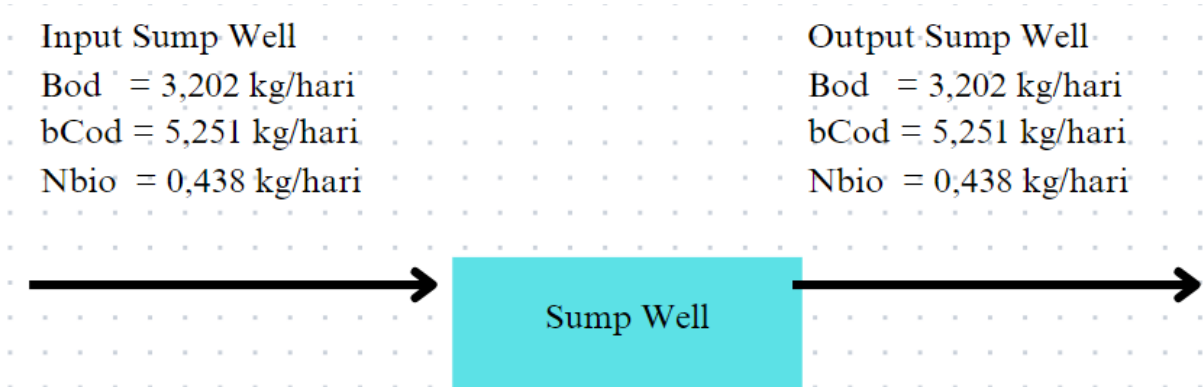
Gambar 4.8 Input Data SimaPro untuk Unit *Balancing Tank*

4.4.3 Life Cycle Inventory (LCI) pada *Sump Well*

Sump well adalah sumur yang berfungsi untuk menampung filtrat yang dihasilkan dari proses penyaringan di unit *Solid Separation Chamber (SSC)* melalui *pipa underdrain*. Dalam tahap Life Cycle Inventory (LCI) untuk *sump well*, data dikumpulkan mengenai bahan konstruksi yang digunakan, seperti beton atau plastik, serta energi yang dikonsumsi selama proses pembuatannya. Selain itu, perlu dianalisis juga konsumsi energi dan emisi yang terkait dengan operasi *sump well*, termasuk pemompaan dan pemeliharaan rutin.

Data mengenai limbah dan emisi yang dihasilkan dari *sump well* juga dicatat, seperti air limpasan yang mungkin terkontaminasi atau limbah padat dari proses penyaringan. Model sistem dibuat untuk mengorganisir dan menghitung semua data ini dengan perangkat lunak LCA, memastikan bahwa data yang dikumpulkan akurat dan representatif. Dokumentasi rinci disusun untuk memungkinkan verifikasi oleh pihak

ketiga, dan laporan akhir LCI menyajikan ringkasan hasil inventori serta memberikan dasar untuk penilaian dampak lingkungan lebih lanjut dari penggunaan *sump well* dalam sistem pengolahan tinja. Berikut adalah material balance pada unit *sump well*, pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Material Balance untuk Unit Sump Well

Parameter Dominan yang Disisihkan:

- TSS (Total Suspended Solids): Pengendapan lanjutan di sumpwell efektif untuk menyisihkan padatan tersuspensi yang belum sepenuhnya dihilangkan di SSC.

Berikut adalah data material yang di konversikan :

- Debit pada pengolahan yaitu sebesar 0,58 m³/jam
Hasil konversi adalah 13,920 L/hari
- BOD 230 mg/L
- bCOD 377,2 mg/L
- N organik Bio 31,47543 mg/L
- Pompa 15 kWh

Life cycle inventory dari proses di *sump well* dapat dilihat pada Tabel 4.7. Inputan dari *life cycle inventory* ini menggunakan data dalam satuan per hari.

Tabel 4.7 Life Cycle Inventory untuk Unit Sump Well

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Debit L/hari	13,920	L/hari
BOD	230	mg/L
bCOD	377.2	mg/L
N Organik Bio	31,475.43	mg/L
Pompa	41,52	kWh

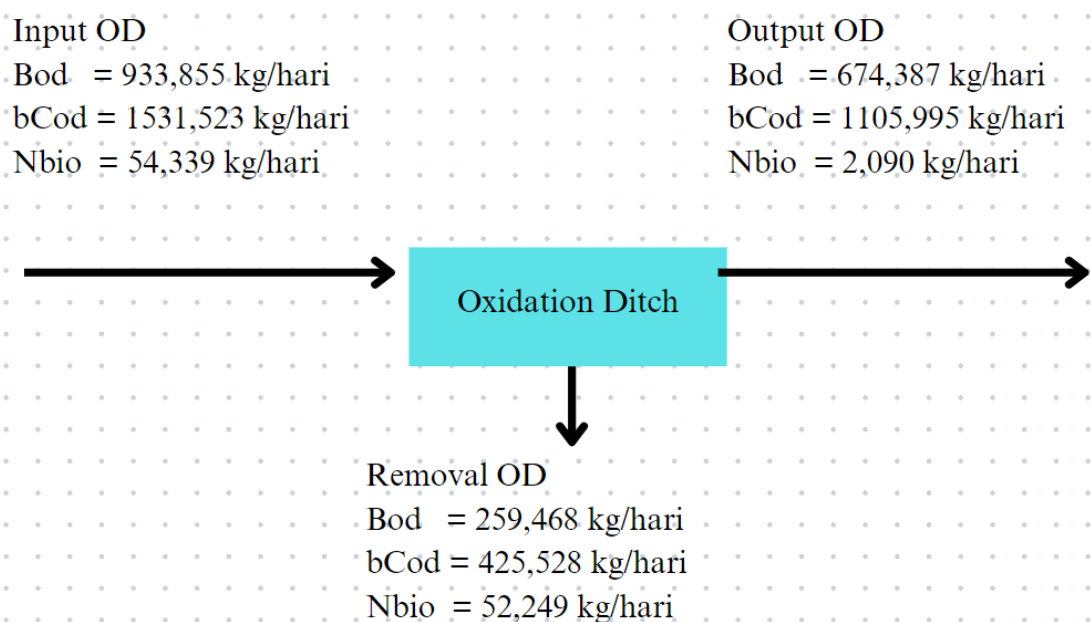
Inputan yang dilakukan pada *software* SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.10 dibawah ini.

Edit material process 'Output SSC ke Sump Well'							
Documentation	Input/output	Parameters	System description				
Products							
Outputs to technosphere: Products and co-products							
	Amount	Unit	Quantity	Allocatic	Waste type	Category	
Output SSC ke Sump Well	13920	l*day	Volume.Tir	100 %		Water\IPLT Analyze	
Volume Cairan SSC ke Sump Well	12992,15	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze	
Volume Lumpur SSC ke Sump Well	927,85	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze	
Add line							
Outputs to technosphere. Avoided products							
	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 25	Min	Max	Comment
Add line							
Inputs							
Inputs from nature							
	Subcompartment	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 25	Min	Max
Add line							
Inputs from technosphere: materials/fuels							
	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 25	Min	Max	Comment
Air dan Lumpur dari SSC	73680	l*day	Undefined				
Add line							
Inputs from technosphere: electricity/heat							
	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 25	Min	Max	Comment
	0		Undefined				

Gambar 4.10 Input Data SimaPro untuk Unit Sump Well

4.4.4 Life Cycle Inventory (LCI) pada Oxidation Ditch

Oxidation ditch adalah salah satu metode pengolahan air limbah yang menggunakan proses biologis untuk menguraikan bahan organik. Proses ini sering digunakan dalam instalasi pengolahan air limbah (IPAL) untuk mengolah air limbah domestik maupun industri. Secara umum, oxidation ditch terdiri dari saluran berbentuk elips atau lingkaran yang berfungsi sebagai tempat reaksi biologi terjadi. Air limbah dipompa ke dalam saluran ini dan dialirkan secara terus-menerus dengan menggunakan pengaduk mekanis atau aerator. Pengaduk ini juga berfungsi untuk menyediakan oksigen yang diperlukan mikroorganisme aerobik dalam menguraikan bahan organik. Berikut adalah material balance pada unit *oxidation ditch*, pada Gambar 4.11.

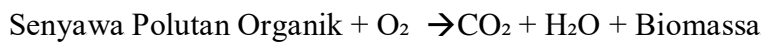


Gambar 4.11 Material Balance untuk Unit Oxidation Ditch

Parameter Dominan yang Disisihkan:

- BOD dan COD: Proses aerasi sangat efektif menguraikan bahan organik, sehingga mengurangi BOD dan COD secara signifikan.
- Nitrogen dan Phosphorus: Proses biologis dalam OD juga mengurangi nitrogen dan phosphorus secara efektif.

Pada *material balance* untuk unit *oxidation ditch* terjadi suatu proses degradasi bahan organik *biodegradable*. Persamaan reaksi penguraian bahan organiknya adalah sebagai berikut



Proses pengolahan dalam *oxidation ditch* biasanya melibatkan beberapa tahap, yaitu tahap aerasi dan tahap sedimentasi. Pada tahap aerasi, oksigen dilarutkan ke dalam air limbah untuk mendukung aktivitas mikroorganisme yang menguraikan bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Mikroorganisme ini membentuk flok-flok yang mengendap di dasar saluran selama tahap sedimentasi. Hasil akhirnya adalah air yang telah diolah dengan kadar bahan organik yang jauh lebih rendah dan lumpur yang mengandung mikroorganisme dan bahan padat yang terakumulasi. Lumpur ini kemudian dipisahkan dan bisa diproses lebih lanjut atau dibuang. Keuntungan dari sistem *oxidation ditch* termasuk desain yang sederhana, kebutuhan lahan yang relatif kecil, dan kemampuan untuk menangani fluktuasi beban organik yang cukup tinggi. Namun, kelemahan utamanya adalah kebutuhan energi yang tinggi untuk pengadukan dan aerasi.

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) berkontribusi secara signifikan terhadap emisi gas rumah kaca, termasuk karbon dioksida, metana, dan nitrogen oksida (Chang, Kyung, dan Lee, 2014). Sebuah penelitian di Kanada (Monteith, Sahely, MacLean, dan Bagley, 2005) menunjukkan bahwa mayoritas IPAL yang diteliti menggunakan metode aerobik, yang menyebabkan emisi gas rumah kaca terutama terdiri dari karbon dioksida, dengan proporsi sekitar 20% dari total emisi atmosfer (Siska, 2010).

Berikut adalah data material yang di konversikan :

- Debit pada pengolahan yaitu sebesar 6,973 m³/jam
Hasil konversi adalah 167,341.71 /hari
- BOD 5,580.529 mg/L
- bCOD 9152,068 mg/L
- N organik Bio 325,078 mg/L
- Mamot Rotor 45 kWh

Life cycle inventory untuk proses pada unit *oxidation ditch* bisa dilihat pada Tabel 4.8. Input dari *life cycle inventory* ini yang menggunakan data dalam satuan per hari.

Tabel 4.8 *Life Cycle Inventory* untuk Unit *Oxidation Ditch*

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Debit L/hari	16,7341.71	L/hari
BOD	5,580.529	mg/L
bCOD	9,152.068	mg/L
N Organik Bio	325,078	mg/L
Mamot Rotor	45	kWh

Input yang sudah dilakukan pada *software* SimaPro bisa dilihat pada Gambar 4.12,4.13.

Edit material process 'Output Balancing Tank Ke OD'							
Documentation	Input/output	Parameters	System description				
Products							
Outputs to technosphere: Products and co-products		Amount	Unit	Quantity	Allocatic	Waste type	Category
Output Balancing Tank Ke OD		59760	l*day	Volume.Tir	100 %		Water\IPLT Analyze
Volume Cairan BT Ke OD		58851,68	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze
Volume Lumpur BT Ke OD		908,32	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze
Add line							
Outputs to technosphere. Avoided products		Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max
Add line							
Inputs							
Inputs from nature		Subcompartm	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min
Add line							
Inputs from technosphere: materials/fuels		Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max
Air dan Lumpur dari BT		59760	l*day	Undefined			
Add line							
Inputs from technosphere: electricity/heat		Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max
Electricity, low voltage (ID) electricity voltage transformation from		25,23	kWh	Undefined			Pompa
Add line							

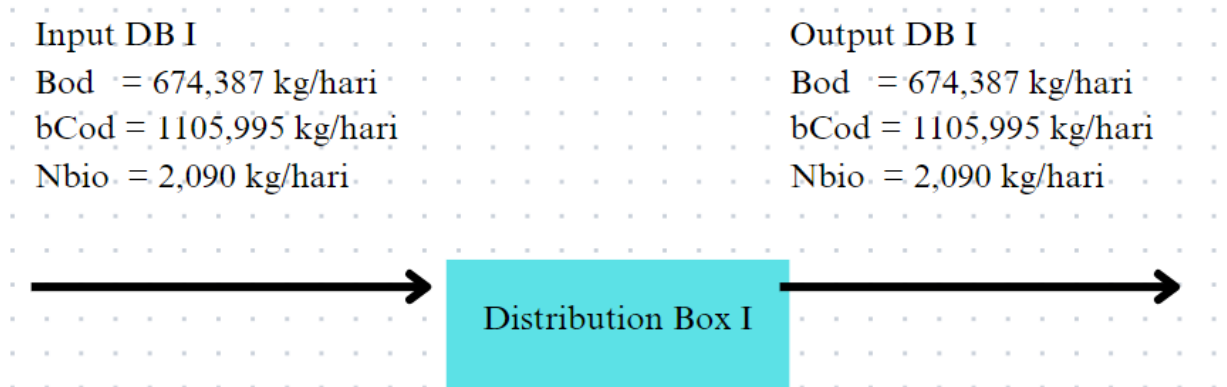
Gambar 4.12 Input Data SimaPro untuk Unit *Oxidation Ditch*

Edit material process 'Output Sump Well Ke OD'							
Documentation	Input/output	Parameters	System description				
Products							
Outputs to technosphere: Products and co-products		Amount	Unit	Quantity	Allocatic	Waste type	Category
Output Sump Well Ke OD		13920	l*day	Volume.Tir	100 %		Water\IPLT Analyze
Volume Cairan Sump Well Ke OD		12992,15	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze
Volume Lumpur Sump Well Ke OD		927,85	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze
Add line							
Outputs to technosphere. Avoided products		Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max
Add line							
Inputs							
Inputs from nature		Subcompartm	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min
Add line							
Inputs from technosphere: materials/fuels		Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max
Air dan Lumpur dari Sumpwell		13920	l*day	Undefined			
Add line							
Inputs from technosphere: electricity/heat		Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max
Electricity, low voltage (ID) electricity voltage transformation from		24	kWh	Undefined			Pompa
Add line							

Gambar 4.13 Input Data SimaPro untuk Unit *Oxidation Ditch*

4.4.5 Life Cycle Inventory (LCI) pada Distribution Box I

Distribution box i komponen dalam sistem pengolahan air limbah yang dirancang untuk mengalirkan air limbah yang sudah diolah dari satu titik ke clarifier. Dalam konteks ini, *distribution box* berfungsi sebagai penghubung antara tahap awal pengolahan (seperti aerasi atau sedimentasi awal) dan clarifier, yang merupakan tahap berikutnya dalam proses pengolahan. Berikut adalah material balance pada unit *distribution box i*, pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Material Balance untuk Unit Distribution Box I

Distribution box i ditempatkan setelah tahap pengolahan *oxidation ditch*, dan sebelum *clarifier*. Penempatan ini memastikan bahwa hanya air limbah yang telah melalui proses awal yang mengalir ke clarifier. Kotak distribusi harus dipasang dengan kemiringan dan level yang tepat untuk memastikan aliran gravitasi yang lancar menuju clarifier.

TSS (Total Suspended Solids): Pengendapan lanjutan di DB1 efektif untuk menyisihkan padatan tersuspensi yang belum sepenuhnya dihilangkan di unit sebelumnya.

Berikut adalah data material yang di konversikan :

- Debit pada pengolahan yaitu sebesar 6,973 m³/jam
Hasil konversi adalah 167,341.71 /hari
- BOD 4030 mg/L
- bCOD 6609,2 mg/L
- N organik Bio 12,488 mg/L

Life cycle inventory dari proses di *distribution box i* dapat dilihat pada Tabel 4.9. Inputan dari *life cycle inventory* ini menggunakan data dalam satuan per hari.

Tabel 4.9 Life Cycle Inventory untuk Unit Distribution Box I

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Debit L/hari	167,341.71	L/hari
BOD	4,030	mg/L
bCOD	6,609.2	mg/L
N Organik Bio	12,488	mg/L

Input yang dilakukan pada *software* SimaPro bisa dilihat pada Gambar 4.15.

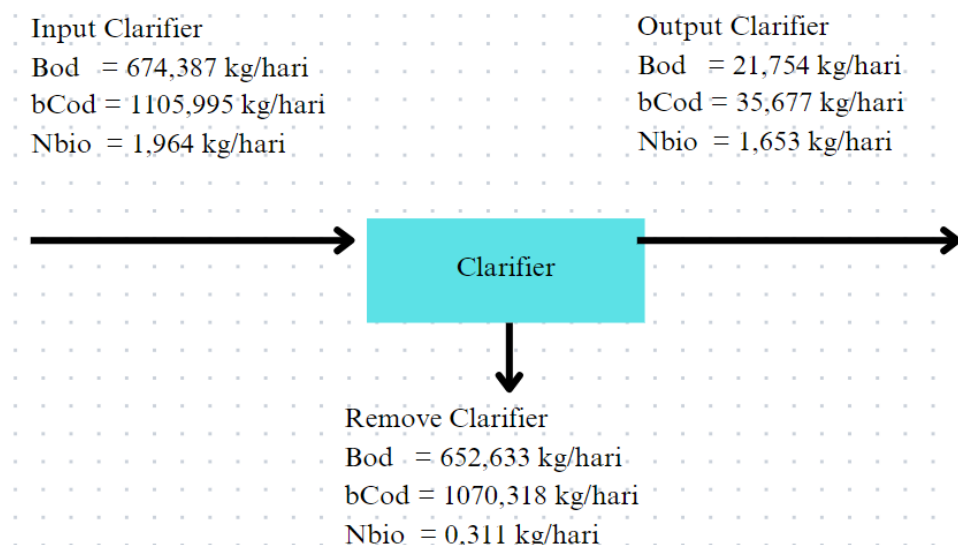
Edit material process 'Output OD Ke Distribution Box 1'							
Documentation	Input/output	Parameters	System description				
Products							
Outputs to technosphere: Products and co-products		Amount	Unit	Quantity	Allocatic	Waste type	Category
Output OD Ke Distribution Box 1		167341,71	l*day	Volume.Tir	100 %		Water\IPLT Analyze
Volume Cairan OD Ke DB 1		166968,61	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze
Volume Lumpur OD Ke DB 1		373,1	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze
Add line							
Outputs to technosphere. Avoided products		Amount	Unit	Distributio	SD2 or 2S	Min	Max
Add line							
Inputs							
Inputs from nature		Subcompartm	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 2S	Min
Add line							
Inputs from technosphere: materials/fuels		Amount	Unit	Distributio	SD2 or 2S	Min	Max
Air dan Lumpur dari BT		59760	l*day	Undefined			
Air dan Lumpur dari Sumpwell		13920	l*day	Undefined			
Air dan Lumpur Dari M Tank		93661,71	l*day	Undefined			

Gambar 4.15 Input Data SimaPro untuk *Distribution Box I*

4.4.6 Life Cycle Inventory (LCI) pada Clarifier

Clarifier adalah unit penting dalam sistem pengolahan air limbah yang digunakan untuk memisahkan padatan tersuspensi dari air setelah tahap pengolahan biologis atau kimia. Proses ini biasanya melibatkan pengendapan di mana padatan mengendap ke dasar tangki clarifier, sementara air bersih mengalir keluar dari bagian atas tangki.

Ketika clarifier memiliki output ke distribution box 2, artinya air yang sudah diolah di clarifier tersebut akan dialirkan ke distribution box 2 untuk tahap pengolahan selanjutnya. Berikut adalah material balance pada unit *clarifier*, pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Material Balance untuk Unit *Clarifier*

Parameter Dominan yang Disisihkan:

- TSS (Total Suspended Solids): Clarifier sangat efektif dalam menyisihkan TSS melalui proses sedimentasi.

Setelah keluar dari clarifier, air dialirkan ke distribution box 2 yang berfungsi mengatur aliran air ke berbagai jalur pengolahan berikutnya. Distribution box 2 memastikan air didistribusikan secara merata ke unit-unit filtrasi, unit disinfeksi, atau bidang resapan, tergantung pada desain sistem pengolahan air limbah. Dengan menggunakan distribution box 2, aliran air dapat dikontrol dan disesuaikan, memastikan setiap bagian dari sistem pengolahan mendapatkan beban yang seimbang dan tidak berlebihan.

Konstruksi clarifier biasanya berbentuk tangki besar dengan struktur konis di dasar untuk mengumpulkan lumpur. Material tangki umumnya terbuat dari beton atau baja tahan korosi. Sementara itu, distribution box 2 terbuat dari bahan tahan korosi seperti beton atau plastik dan memiliki beberapa saluran keluaran untuk mendistribusikan air ke unit pengolahan berikutnya. Perawatan rutin diperlukan untuk clarifier, yang mencakup penghilangan lumpur yang terkumpul dan memastikan tidak ada penyumbatan, serta inspeksi dan pembersihan periodik pada distribution box 2 untuk memastikan aliran tidak terganggu dan distribusi tetap merata.

Berikut adalah data material yang di konversikan :

- Debit pada pengolahan yaitu sebesar 6,973 m³/jam
Hasil konversi adalah 167,341.71 /hari
- BOD 4030 mg/L
- bCOD 6609,2 mg/L
- N organik Bio 12,488 mg/L
- Scrapper 12,5 kWh

Life cycle inventory pada proses di *clarifier* bisa dilihat pada Tabel 4.10. Input dari *life cycle inventory* ini yaitu menggunakan data dalam satuan per hari.

Tabel 4.10 *Life Cycle Inventory* untuk Unit *Clarifier*

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Debit L/hari	16,7341.71	L/hari
BOD	4,030	mg/L
bCOD	6,609.2	mg/L
N Organik Bio	12,488	mg/L
Mesin Crane	20,05	kWh

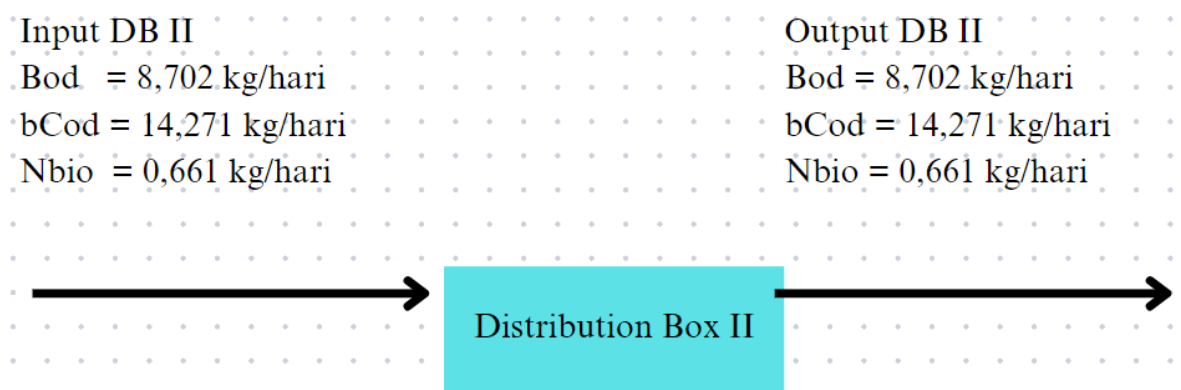
Input yang telah dilakukan pada perangkat lunak SimaPro bisa dilihat dalam Gambar 4.17.

Products						
Outputs to technosphere: Products and co-products	Amount	Unit	Quantity	Allocatic	Waste type	Category
Output DB1 Ke Clarifier	167341,71	l*day	Volume.Tir	100 %		Water\IPLT Analyze
Volume Cairan DB1 Ke Clarifier	167256,64	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze
Volume Lumpur DB1 Ke Clarifier	85,07	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze
Add line						
Outputs to technosphere. Avoided products	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 2S	Min	Max
Add line						
Inputs						
Inputs from nature	Subcompartm	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 2S	Min
Add line						
Inputs from technosphere: materials/fuels	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 2S	Min	Max
Air dan Lumpur dari DB 1	167341,71	l*day	Undefined			

Gambar 4.17 Input Data SimaPro untuk Unit *Clarifier*

4.4.7 Life Cycle Inventory (LCI) pada *Distribution Box II*

Distribution box ii adalah komponen penting dalam sistem pengolahan air limbah yang mendistribusikan air limbah yang telah diolah dari *clarifier* ke dua unit pengolahan lanjutan *mixing tank* (M Tank) dan *sludge drying bed* (SDB). Fungsi DB 2 sangat krusial untuk memastikan aliran air limbah yang merata dan terkontrol, sehingga proses pengolahan berikutnya dapat berlangsung dengan optimal. Berikut adalah material balance pada unit *distribution box ii*, pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 *Material Balance* untuk Unit *Distribution Box II*

Parameter Dominan yang Disisihkan:

- TSS (Total Suspended Solids): Pengendapan lanjutan di DB2 efektif untuk menyisihkan padatan tersuspensi yang belum sepenuhnya dihilangkan di unit sebelumnya.

Berikut adalah data material yang di konversikan :

- Debit pada pengolahan yaitu sebesar 2,789 m³/jam
Hasil konversi adalah 66,936.68 /hari
- BOD 130 mg/L
- bCOD 213.2 mg/L
- N organik Bio 9,877 mg/L

- Pompa 14,4 kWh

Life cycle inventory pada proses *distribution box* ini bisa dilihat pada Tabel 4.11. Input dari *life cycle inventory* ini yaitu menggunakan data dalam satuan per hari.

Tabel 4.11 *Life Cycle Inventory* untuk Unit *Distribution Box II*

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Debit L/hari	66,936.68	L/hari
BOD	130	mg/L
bCOD	213.2	mg/L
N Organik Bio	9,877	mg/L
Pompa	23,04	kWh

Input yang telah dilakukan pada *software* SimaPro ini dapat dilihat pada Gambar 4.19.

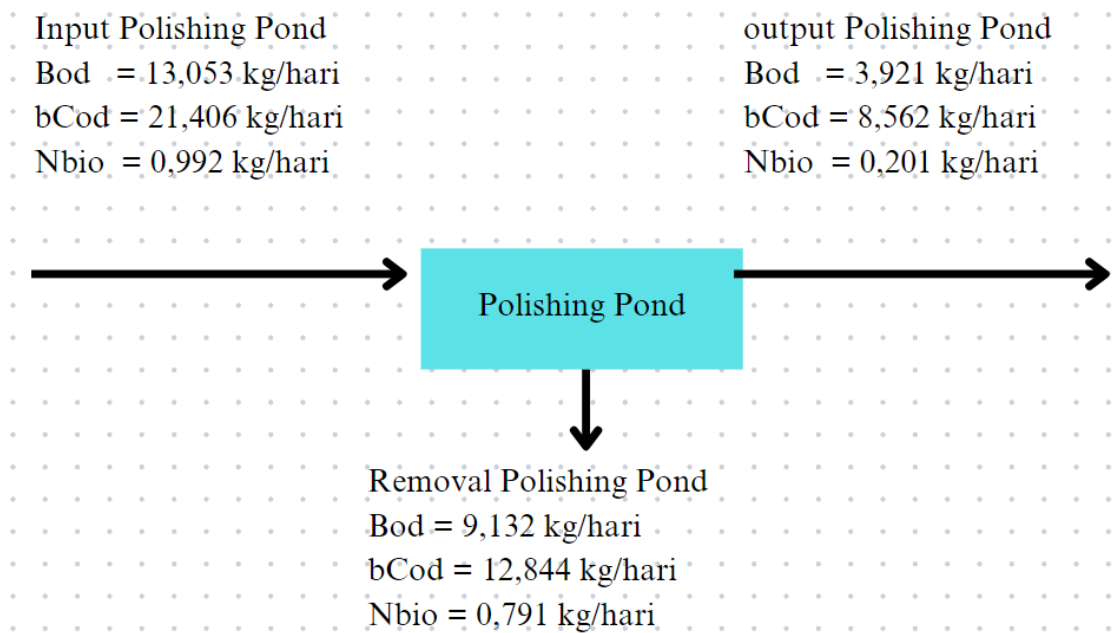
Products							
Outputs to technosphere: Products and co-products	Amount	Unit	Quantity	Allocatic	Waste type	Category	
Output Clarifier ke DB 2	66936,68	l*day	Volume.Tir	100 %		Water\IPLT Analyze	
Volume Cairan Clarifier ke DB2	66,931,21	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze	
Volume Lumpur Clarifier ke DB2	5,47	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze	
Add line							
Outputs to technosphere. Avoided products	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2S Min	Max	Comment	
Add line							
Inputs							
Inputs from nature	Subcompartment	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2S Min	Max	Comment
Add line							
Inputs from technosphere: materials/fuels	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2S Min	Max	Comment	
Air dan Lumpur dari Clarifier	66936,68	l*day	Undefined				
Add line							
Inputs from technosphere: electricity/heat	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2S Min	Max	Comment	
Electricity, low voltage (ID) electricity voltage transformation from	20,05	kWh	Undefined			Scrapper	
Add line							

Gambar 4.19 Input Data SimaPro untuk Unit *Distribution Box II*

4.4.8 Life Cycle Inventory (LCI) pada Polishing Pond

Polishing pond adalah komponen akhir dalam sistem pengolahan air limbah yang berfungsi untuk memberikan tahap penyaringan tambahan dan meningkatkan kualitas air limbah sebelum dilepaskan ke lingkungan atau digunakan kembali. Polishing pond biasanya berupa kolam besar yang dirancang untuk memungkinkan proses alami seperti sedimentasi, filtrasi, dan aktivitas biologis untuk menyelesaikan pengolahan air limbah.

Berikut adalah material balance pada unit *polishing pond*, pada Gambar 4.20.

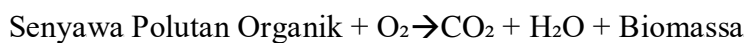


Gambar 4.20 Material Balance untuk Unit Polishing Pond

Parameter Dominan yang Disisihkan:

- BOD dan COD: Polishing Pond efektif dalam menguraikan bahan organik melalui proses alami.
- TSS: Pengendapan akhir membantu menyisihkan partikel padat.

Air limbah yang masuk ke polishing pond telah melewati beberapa tahap pengolahan sebelumnya, seperti klarifikasi dan aerasi, sehingga polishing pond berfungsi sebagai tahap akhir untuk menghilangkan sisa-sisa padatan tersuspensi, bahan organik, dan patogen. Di dalam kolam ini, air mengalir dengan lambat, memungkinkan partikel yang lebih kecil untuk mengendap ke dasar kolam. Selain itu, aktivitas mikroorganisme dalam polishing pond membantu menguraikan bahan organik yang tersisa, meningkatkan kualitas air. Persamaan pada reaksi penguraian bahan organik ini adalah sebagai berikut:



Berikut adalah data material yang di konversikan :

- Debit pada pengolahan yaitu sebesar 4,183 m³/jam
Hasil konversi adalah 100,405.026 /hari
- BOD 130 mg/L
- bCOD 213.2 mg/L
- N organik Bio 9,877 mg/L
- Pompa 14,1 kWh

Life cycle inventory pada proses di *polishing pond* bisa dilihat pada Tabel 4.12. Input dari *life cycle inventory* ini yaitu menggunakan data dalam satuan per hari.

Tabel 4.12 *Life Cycle Inventory* untuk Unit *Polishing Pond*

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Debit L/hari	100,405.026	L/hari
BOD	130	mg/L
bCOD	213.2	mg/L
N Organik Bio	9,877	mg/L
Pompa Resirkulasi	22,56	kWh

Inputan yang telah dilakukan pada *software* SimaPro bisa dilihat pada Gambar 4.21,4.22.

The screenshot shows the 'Edit material process' window for 'Output Clarifier Ke Polishing Pond'. It features a navigation bar with 'Documentation', 'Input/output', 'Parameters', and 'System description'. The main area is divided into 'Products' and 'Inputs' sections. The 'Products' section lists outputs to the technosphere, including 'Output Clarifier Ke Polishing Pond' (100405,02 l*day), 'Volume Cairan Clarifier Ke Polishing Pond' (100396,82 l*day), and 'Volume Lumpur Clarifier Ke Polishing Pond' (8,2 l*day). The 'Inputs' section lists inputs from nature and the technosphere, including 'Air dan Lumpur dari Clarifier' (100405,02 l*day) and 'Electricity, low voltage' (20,05 kWh).

Products								
Outputs to technosphere: Products and co-products	Amount	Unit	Quantity	Allocatic	Waste type	Category		
Output Clarifier Ke Polishing Pond	100405,02	l*day	Volume.Tir	100 %		Water\IPLT Analyze		
Volume Cairan Clarifier Ke Polishing Pond	100396,82	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze		
Volume Lumpur Clarifier Ke Polishing Pond	8,2	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze		
Add line								
Outputs to technosphere. Avoided products	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max	Comment	
Add line								
Inputs								
Inputs from nature	Subcompartm	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max	Comment
Add line								
Inputs from technosphere: materials/fuels	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max	Comment	
Air dan Lumpur dari Clarifier	100405,02	l*day	Undefined					
Add line								
Inputs from technosphere: electricity/heat	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max	Comment	
Electricity, low voltage (ID) electricity voltage transformation from	20,05	kWh	Undefined					
Add line								

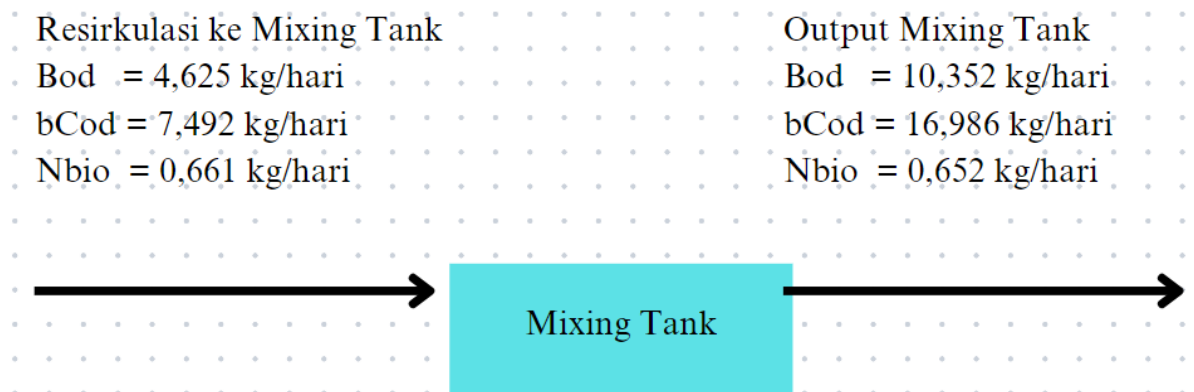
Gambar 4.21 Input Data SimaPro untuk Unit *Polishing Pond*

Edit material process: 'Polishing Pond Ke Hasil Akhir Air Terolah'									
Documentation	Input/output	Parameters	System description						
Products									
Outputs to technosphere: Products and co-products		Amount	Unit	Quantity	Allocatic	Waste type	Category	Comment	
Polishing Pond Ke Hasil Akhir Air Terolah		40162,01	l*day	Volume.Tir	100 %		Water\IPLT Analyze		
Add line									
Outputs to technosphere. Avoided products		Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max	Comment	
Add line									
Inputs									
Inputs from nature		Subcompartm	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max	Comment
Add line									
Inputs from technosphere: materials/fuels		Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max	Comment	
Air dan Lumpur dari Polishing Pond		100405,02	l*day	Undefined					
Add line									
Inputs from technosphere: electricity/heat		Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max	Comment	
Electricity, low voltage (ID) electricity voltage transformation from		22,56	kWh	Undefined				Pompa	
Add line									
Outputs									
Emissions to air		Subcompartm	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max	Comment
CO2			147,09	kg*day	Undefined				Dari Konsumsi NRE CO2/hari
CH4			3,7625	kg*day	Undefined				Konversi Emisi CH4 ke CO2 ekuivalen CH4/hari
Add line									
Emissions to water		Subcompartm	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 25	Min	Max	Comment
TN			0,402	kg*day	Undefined				
Phosphorus pentoxide			0,201	kg	Undefined				
Add line									

Gambar 4.22 Input Data SimaPro untuk Unit *Polishing Pond*

4.4.9 Life Cycle Inventory (LCI) untuk Mixing Tank

Mixing tank adalah komponen penting dalam sistem pengolahan air limbah yang digunakan untuk mencampur air limbah dengan bahan kimia atau udara untuk meningkatkan efisiensi proses pengolahan. Fungsi utama dari *mixing tank* adalah memastikan bahwa bahan kimia atau oksigen yang ditambahkan tercampur secara merata dengan air limbah, sehingga reaksi kimia atau proses biologis dapat berlangsung dengan optimal. Berikut adalah material balance pada unit *mixing tank*, pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Material Balance untuk *Mixing Tank*

Parameter Dominan yang Disisihkan:

- TSS (Total Suspended Solids): Proses pencampuran dapat membantu menyisihkan padatan tersuspensi yang belum sepenuhnya dihilangkan di unit sebelumnya.
- BOD dan COD: Penguraian dan oksidasi bahan organik terjadi selama proses pencampuran.
- Berikut adalah data material yang di konversikan :
 - Debit pada pengolahan yaitu sebesar 3,903 m³/jam
Hasil konversi adalah 93,661.71 /hari
 - BOD 110,584 mg/L
 - bCOD 181,358 mg/L
 - N organik Bio 6,961 mg/L

Life cycle inventory pada proses di *mixing tank* bisa dilihat pada Tabel 4.13. Input dari *life cycle inventory* ini yaitu menggunakan data dalam satuan per hari.

Tabel 4.13 *Life Cycle Inventory* untuk Unit *Mixing Tank*

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Debit L/hari	93,661.71	L/hari
BOD	110,584	mg/L
bCOD	181,358	mg/L
N Organik Bio	6,961	mg/L

Input yang telah dilakukan pada *software* SimaPro bisa dilihat pada Gambar 4.24,4.25.

Products						
Outputs to technosphere: Products and co-products	Amount	Unit	Quantity	Allocatic	Waste type	Category
Output DB2 Ke M Tank	33418,694	l*day	Volume.Tir	100 %		Water\IPLT Analyze
Volume Cairan DB2 Ke M Tank	33415,964	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze
Volume Lumpur DB2 Ke M Tank	2,73	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze
Add line						
Outputs to technosphere. Avoided products	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2S	Min	Max
Add line						
Inputs						
Inputs from nature	Subcompartment	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2S	Min
Add line						
Inputs from technosphere: materials/fuels	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2S	Min	Max
Air dan Lumpur dari DB 2	66936,68	l*day	Undefined			
Add line						
Inputs from technosphere: electricity/heat	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2S	Min	Max
Electricity, low voltage (ID) electricity voltage transformation from	23,04	kWh	Undefined			Pompa
Add line						

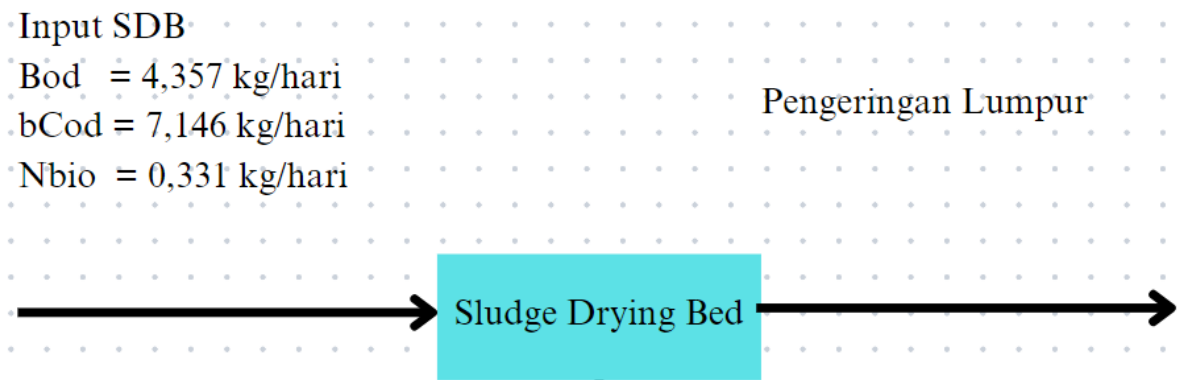
Gambar 4.24 Input Data SimaPro untuk Unit *Mixing Tank*

Products								
Outputs to technosphere: Products and co-products	Amount	Unit	Quantity	Allocatic	Waste type	Category		
Output M Tank Ke OD	93661,71	l*day	Volume.Tir	100 %		Water\IPLT Analyze		
Volume Cairan M Tank Ke OD	93654,06	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze		
Volume Lumpur M Tank Ke OD	7,65	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze		
Add line								
Outputs to technosphere. Avoided products	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 2S	Min	Max	Comment	
Add line								
Inputs								
Inputs from nature	Subcompartm	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 2S	Min	Max	Comment
Add line								
Inputs from technosphere: materials/fuels	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 2S	Min	Max	Comment	
Air dan Lumpur Dari M Tank	93661,71	l*day	Undefined					
Add line								
Inputs from technosphere: electricity/heat	Amount	Unit	Distributio	SD2 or 2S	Min	Max	Comment	
Add line								

Gambar 4.25 Input Data SimaPro untuk Unit *Mixing Tank*

4.4.10 Life Cycle Inventory (LCI) pada Sludge Drying Bed

Sludge drying bed (SDB) adalah unit penting dalam sistem pengolahan air limbah yang digunakan untuk mengeringkan lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan. Lumpur yang dihasilkan dari clarifier atau tangki pengendapan dikumpulkan di sludge drying bed untuk dikeringkan melalui proses alami seperti penguapan dan drainase. SDB dirancang untuk mengurangi volume lumpur dengan menghilangkan kandungan airnya, sehingga lumpur yang dihasilkan menjadi lebih padat dan lebih mudah untuk ditangani atau dibuang. Berikut adalah material balance pada unit *sludge drying bed*, pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26 Material Balance untuk *Sludge Drying Bed*

Parameter Dominan yang Disisihkan:

- TSS (Total Suspended Solids): SDB sangat efektif dalam mengeringkan lumpur dan menghilangkan TSS yang ada dalam lumpur.

Berikut adalah data material yang di konversikan :

- Debit pada pengolahan yaitu sebesar 1,397 m³/jam
Hasil konversi adalah 33,517.986/hari

- BOD 130 mg/L
- bCOD 213.2 mg/L
- N organik Bio 9,877 mg/L

Input yang telah dilakukan pada *software* SimaPro bisa dilihat pada Gambar 4.27

The screenshot shows the 'Edit material process' window for 'Output DB2 Ke SDB'. It is divided into 'Products' and 'Inputs' sections. The 'Products' section lists three outputs: 'Output DB2 Ke SDB' (33517,986 l*day), 'Volume Cairan DB2 Ke SDB' (33515,256 l*day), and 'Volume Lumpur DB2 Ke SDB' (2,73 l*day). The 'Inputs' section lists three inputs: 'Air dan Lumpur dari DB 2' (66936,68 l*day), 'Electricity, low voltage (ID)' (23,04 kWh), and 'Pompa'.

Products								
Outputs to technosphere: Products and co-products	Amount	Unit	Quantity	Allocatic	Waste type	Category		
Output DB2 Ke SDB	33517,986	l*day	Volume.Tir	100 %		Water\IPLT Analyze		
Volume Cairan DB2 Ke SDB	33515,256	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze		
Volume Lumpur DB2 Ke SDB	2,73	l*day	Volume.Tir	0 %		Water\IPLT Analyze		
Add line								
Outputs to technosphere. Avoided products	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2S	Min	Max	Comment	
Add line								
Inputs								
Inputs from nature	Subcompartment	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2S	Min	Max	Comment
Add line								
Inputs from technosphere: materials/fuels	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2S	Min	Max	Comment	
Air dan Lumpur dari DB 2	66936,68	l*day	Undefined					
Add line								
Inputs from technosphere: electricity/heat	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2S	Min	Max	Comment	
Electricity, low voltage (ID) electricity voltage transformation from	23,04	kWh	Undefined				Pompa	
Add line								

Gambar 4.27 Input Data SimaPro untuk Unit *Sludge Drying Bed*

Life cycle inventory pada proses di *sludge drying bed* bisa dilihat pada Tabel 4.14. Input dari *life cycle inventory* ini yaitu menggunakan data dalam satuan per hari.

Tabel 4.14 *Life Cycle Inventory* untuk Unit *Sludge Drying Bed*

Input		
Material	Kuantitas	Satuan
Debit L/hari	33,517.986	L/hari
BOD	130	mg/L
bCOD	213.2	mg/L
N Organik Bio	9,877	mg/L
Pompa	141,16	kWh

Perhitungan Dampak :

Emisi Gas Rumah Kaca:

1. Emisi CO₂ dari Konsumsi Energi Non-Renewable:

- Total konsumsi energi: 159.88 kWh/hari
- Faktor emisi CO₂: 0.92 kg CO₂/kWh
- Emisi CO₂ = 159.88kWh/hari×0.92kg CO₂/kWh
- Emisi CO₂: 147.09 kg CO₂ per hari

2. Emisi CH₄ dari BOD:

- Mengasumsikan 50% BOD terkonversi menjadi CH₄
- Faktor emisi: 0.25 kg CH₄/kg BOD
- Emisi CH₄ = 1.204 × 0.5 × 0.25 = 0.1505 kg/hari

3. Konversi Emisi CH₄ ke CO₂-ekuivalen:

- 1 kg CH₄ = 25 kg CO₂-ekuivalen
- Emisi CO₂-ekuivalen = 0.1505 × 25 = 3.7625 kg CO₂-ekuivalen/hari

Kesimpulan:

- Emisi CO₂ dari Energi: 147.09 kg CO₂ per hari
- Emisi CH₄ (dalam CO₂-ekuivalen): 3.7625 kg CO₂-ekuivalen per hari

Dampak total dari emisi gas rumah kaca (CO₂ dan CH₄) untuk pemanasan global dari proses pengolahan lumpur di IPLT Keputih adalah 150.8525 kg CO₂-ekuivalen per hari.

Lalu dilakukan perhitungan total emisi CO₂ yang dihasilkan dari penggunaan energi non-renewable di IPLT Keputih :

1. Total Konsumsi Energi :

$$\text{Total Energi} = 25.23 + 24 + 45 + 20.05 + 23.04 + 22.56 = 159.88 \text{ kWh/hari}$$

2. Faktor Emisi CO₂:

Asumsi faktor emisi CO₂: 0.92 kg CO₂/kWh (rata-rata untuk Indonesia).

3. Menghitung Emisi CO₂:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Total Energi} \times \text{Faktor Emisi}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 159.88 \text{ kWh/hari} \times 0.92 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 147.09 \text{ kg CO}_2/\text{hari}$$

1. Emisi CO₂ dari Konsumsi Energi Non-Renewable

Nilai yang Digunakan:

1. Faktor Emisi CO₂: 0.92 kg CO₂/kWh

Sumber Nilai: Faktor emisi CO₂ sebesar 0.92 kg CO₂/kWh adalah nilai yang umum digunakan untuk listrik yang dihasilkan dari sumber energi fosil di Indonesia. Angka ini mencakup emisi dari pembakaran batu bara, minyak, dan gas alam yang sering digunakan di pembangkit listrik konvensional.

2. Emisi CH₄ dari BOD

Konversi BOD ke CH₄: 50% dari BOD dikonversi menjadi CH₄

Faktor Emisi: 0.25 kg CH₄ per kg BOD

Sumber Nilai: Faktor emisi ini berasal dari pedoman Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) yang menjelaskan konversi BOD ke metana dalam kondisi anaerobik. Setiap kilogram BOD yang terurai anaerobik bisa menghasilkan sekitar 0.25 kg metana.

Asumsi 50% konversi BOD ke CH₄ digunakan sebagai nilai rata-rata yang mewakili efisiensi umum dalam proses dekomposisi anaerobik berdasarkan kajian ilmiah dan panduan dari IPCC. Nilai ini memberikan dasar yang masuk akal untuk estimasi emisi metana dari BOD dalam pengolahan air limbah. Studi empiris menunjukkan bahwa dalam kondisi optimal, sekitar 50% dari BOD dalam limbah organik dapat diubah menjadi metana.

3. Konversi Emisi CH₄ ke CO₂-ekuivalen

Global Warming Potential (GWP) CH₄: 25 kg CO₂-ekuivalen per kg CH₄

Sumber Nilai: GWP adalah faktor konversi yang digunakan untuk mengonversi emisi berbagai gas rumah kaca ke dalam ekuivalen CO₂ berdasarkan potensi pemanasan global mereka selama 100 tahun. Nilai ini juga berasal dari IPCC.

Menghitung Beban Parameter yang Dibuang ke Badan Air

Beban Parameter:

1. BOD:

$$\text{Beban BOD} = 40,162.01 \times 30 = 1,204,860.3 \text{ mg/hari} = 1.204 \text{ kg/hari}$$

2. COD:

$$\text{Beban COD} = 40,162.01 \times 50 = 2,008,100.5 \text{ mg/hari} = 2.008 \text{ kg/hari}$$

3. TSS:

$$\text{Beban TSS} = 40,162.01 \times 20 = 803,240.2 \text{ mg/hari} = 0.803 \text{ kg/hari}$$

4. Nitrogen:

$$\text{Beban N} = 40,162.01 \times 10 = 401,620.1 \text{ mg/hari} = 0.402 \text{ kg/hari}$$

5. Phosphorus:

$$\text{Beban P} = 40,162.01 \times 5 = 200,810.05 \text{ mg/hari} = 0.201 \text{ kg/hari}$$

6. Minyak Lemak:

$$\text{Beban Minyak Lemak} = 40,162.01 \times 2 = 80,324.02 \text{ mg/hari} = 0.080 \text{ kg/hari}$$

Dampak Aquatic Eutrophication

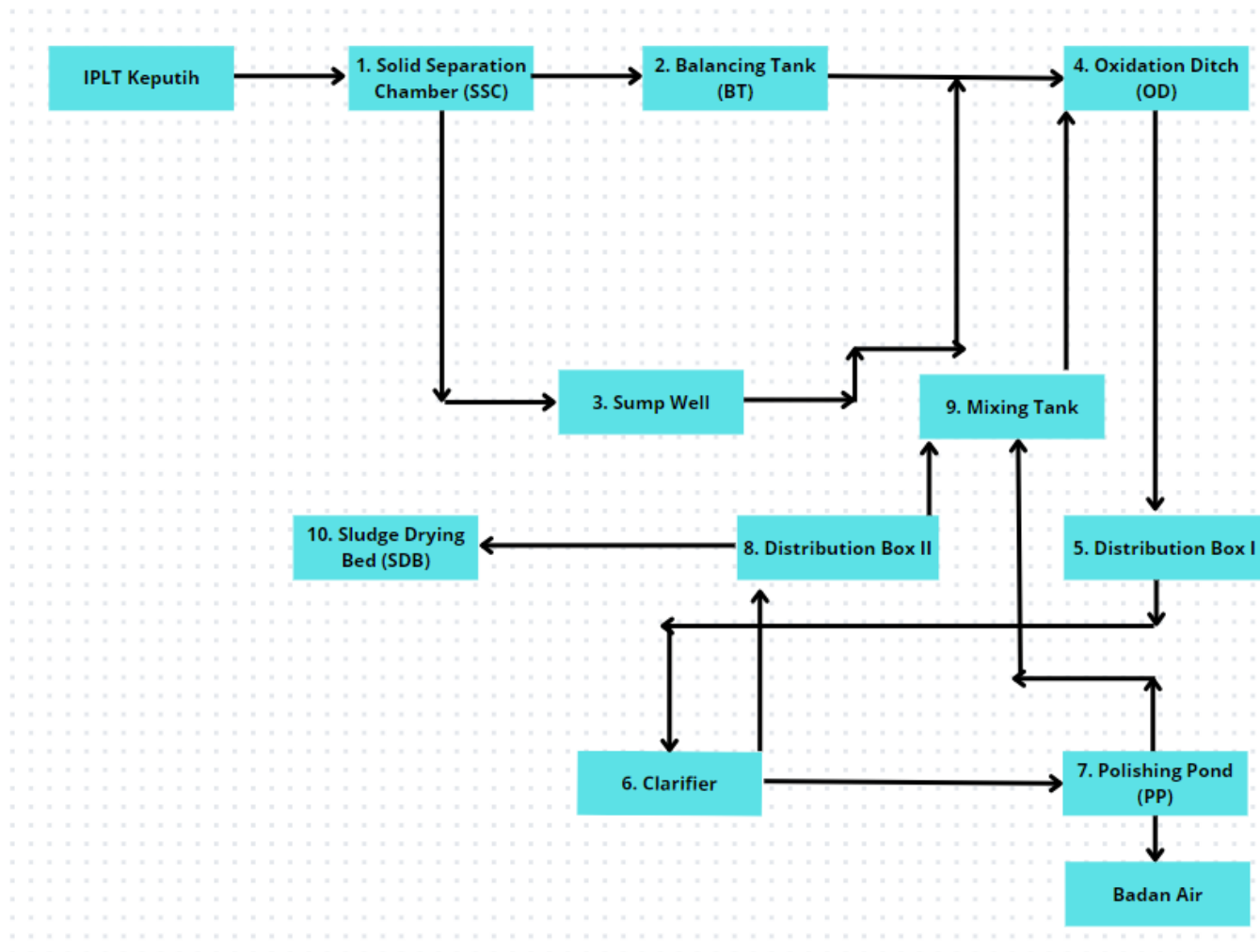
Aquatic eutrophication terutama disebabkan oleh beban nitrogen dan phosphorus yang tinggi.

Nitrogen: 0.402 kg/hari

Phosphorus: 0.201 kg/hari

4.4.4 Hasil *Life Cycle Inventory* (LCI) Keseluruhan

Setelah pengumpulan data, dilakukan proses identifikasi dengan goal dan scope serta perhitungan Life Cycle Inventory (LCI). Hasil dari pengolahan jaringan ini memberikan informasi tentang hubungan antar setiap proses yang memiliki pengaruh terhadap kontribusi dampak lingkungan. Seluruh jaringan proses pengolahan lumpur tinja dapat dilihat pada Gambar 4.25. Garis hitam menunjukkan beban lingkungan yang terjadi pada semua proses pengolahan yang berkontribusi terhadap dampak lingkungan.



Gambar 4.28 *Network* Proses Pengolahan Lumpur Tinja IPLT

4.5 Penilaian Dampak atau Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Hasil dari LCI (Life Cycle Inventory) dipergunakan dalam tahap penilaian dampak untuk mengetahui bagaimana proyek akan mempengaruhi lingkungan. Ketika memperkirakan besarnya pengaruh, perangkat lunak SimaPro mempergunakan pendekatan influence 2002+. Karena statusnya sebagai metode modern yang menggabungkan empat pendekatan sebelumnya metode Impact 2002+ dipilih.

Hasil dari LCI (Life Cycle Inventory) dibandingkan secara langsung di dalam setiap kategori sebagai bagian dari evaluasi dampak perangkat lunak SimaPro. Dari empat belas dampak utama yang ada, terdapat tiga dampak utama - eutrofikasi air, perubahan iklim, dan energi tak terbarukan - yang menjadi bagian dari teknik Impact 2002+. Rincian Penilaian Dampak Siklus Hidup LCIA untuk setiap prosedur pengolahan adalah sebagai berikut:

1. *Solid Separation Chamber (SSC)*

Setelah truk penyedotan membuang lumpur tinja mereka, peralatan pertama yang mengumpulkannya adalah ruang pemisah padat. Ruang ini memiliki tangki pengukur yang menghitung jumlah lumpur tinja yang masuk dari setiap kendaraan. Tujuannya adalah untuk menurunkan beban pengolahan yang diterima oleh selokan oksidasi dengan memisahkan air (supernatan) dari kandungan padatan yang tinggi dalam lumpur tinja. Analisis data yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SimaPro menghasilkan dua jenis evaluasi yang berbeda: jaringan dan karakterisasi. Faktor-faktor yang menambah efek polusi dapat ditemukan melalui evaluasi berbasis jaringan.

Dampak lingkungan dari prosedur ini terungkap selama karakterisasi, yaitu: Pertama, truk tinja, yang membawa konsentrasi tinja tertentu, mengosongkan limbahnya ke dalam unit ruang pemisah padat. Unit ini menganalisis beban pengolahan dengan menggunakan perangkat lunak SimaPro 9.5, termasuk nitrogen organik yang dapat terurai secara hayati, kebutuhan oksigen biokimiawi, dan kebutuhan oksigen biokimiawi (bCOD). Tabel selanjutnya menampilkan nilai dampak lingkungan dan berisi hasil analisis.

Tabel 4.15 *Impact Assessment Solid Separation Chamber*

Impact Category	Unit	Total
<i>Aquatic eutrophication</i>	kg PO4 P-lim	0
<i>Global warming</i>	kg CO ₂ eq	5,315.31
<i>Non-renewable energy</i>	MJ primary	32,428.9

2. *Balancing Tank*

Unit tangki penyeimbang mencoba menjaga beban lumpur tinja tetap stabil sehingga dapat menangani perubahan jumlah lumpur yang keluar dan berapa banyak yang ada di dalamnya. Ini sangat membantu selama musim kemarau untuk menurunkan debit dan beban lumpur tinja puncak. Selama musim hujan, alat ini dapat dipergunakan untuk memprediksi debit yang lebih tinggi karena lebih banyak resapan dan aliran masuk.

Gravitasi akan membawa kelebihan cairan dari Ruang Pemisahan Padat ke tangki penyeimbang. Jumlah energi listrik yang dibutuhkan untuk memompa lumpur tinja ke unit parit oksidasi dihitung oleh unit ini, yang menerima beban pengolahan seperti nitrogen organik yang dapat terurai secara hayati, padatan yang dapat terurai secara hayati, dan kebutuhan oksigen biokimia. Selanjutnya, perangkat lunak SimaPro 9.5 digunakan untuk menganalisis data masukan. Tabel 4.16 menampilkan temuan-temuan dari analisis ini.

Tabel 4.16 Impact Assessment Balancing Tank

Impact Category	Unit	Total
<i>Aquatic eutrophication</i>	kg PO4 P-lim	0.04467
<i>Global warming</i>	kg CO ₂ eq	2,898.61
<i>Non-renewable energy</i>	MJ primary	18,097.8

3. Sump Well

Pipa saluran bawah membawa produk penyaringan dari ruang pemisah padat ke sumur pengumpul, yang berfungsi sebagai reservoir. Baik dampak proses terhadap lingkungan maupun dampak yang menyebabkan polusi saat ini dapat ditentukan melalui evaluasi dan karakterisasi berbasis jaringan.

Unit sumur penampung menerima air yang telah disaring dari unit Ruang Pemisahan Padat dengan menggunakan gravitasi. Selain menerima beban pengolahan seperti nitrogen organik yang dapat terurai secara hayati (BON), kebutuhan oksigen biokimiawi (bCOD), dan kebutuhan oksigen biologis (BOD), unit ini juga menentukan jumlah energi listrik yang dibutuhkan untuk memompa lumpur tinja ke unit parit oksidasi. Selanjutnya, perangkat lunak SimaPro 9.5 digunakan untuk menganalisis data masukan. Hasil analisis ditampilkan pada Tabel dibawah:

Tabel 4.17 Impact Assessment Sump Well

Impact Category	Unit	Total
<i>Aquatic eutrophication</i>	kg PO4 P-lim	0.029494
<i>Global warming</i>	kg CO ₂ eq	61,593.54
<i>Non-renewable energy</i>	MJ primary	648,701.8

4. Oxidation Ditch

Reaksi biologis dapat terjadi di lingkungan aerobik dan anoksik dalam oxidation ditch. Di sini, sebuah rotor raksasa besar memasok oksigen ke mikroorganisme yang mengurai lumpur sebagai bagian dari proses pengolahan lumpur. Karakterisasi akan mengungkapkan pengaruh proses tersebut terhadap lingkungan, sedangkan penilaian berbasis jaringan akan menemukan dampak yang menambah dampak polusi saat ini.

Lumpur dipindahkan ke unit oxidation ditch dari balancing tank serta sump well dengan mempergunakan pompa, dan dari unit tangki pencampuran dengan aliran gravitasi. Unit parit oksidasi memproses beban pengolahan termasuk BOD, bCOD, dan N organik yang dapat terurai secara hayati, sekaligus mengukur berapa banyak listrik yang diperlukan rotor Mamot untuk aerasi. Data yang diberikan kemudian diperiksa mempergunakan perangkat lunak.

Tabel 4.18 Impact Assessment Oxidation Ditch

Impact Category	Unit	Total
<i>Aquatic eutrophication</i>	kg PO4 P-lim	0.098541
<i>Global warming</i>	kg CO ₂ eq	2,523.489
<i>Non-renewable energy</i>	MJ primary	16,307.73

5. Distribution Box I

Tujuan dari Kotak Distribusi I adalah untuk memanfaatkan gaya gravitasi guna memindahkan lumpur dari unit parit oksidasi ke unit clarifier terakhir di mana lumpur tersebut

akan disebarakan secara merata. Untuk menentukan faktor-faktor apa saja yang berkontribusi terhadap dampak polusi saat ini, diperlukan evaluasi berbasis jaringan.

Pengaruh proses terhadap lingkungan dapat ditentukan melalui karakterisasi. Gambar 4.30 memperlihatkan hasil dari jaringan proses pada distribution box I.

Lumpur tinja dari unit parit oksidasi akan ditransfer ke unit penjernih untuk diendapkan. Nilai beban pengolahan yang dimasukkan ke dalam SimaPro 9.5 untuk analisis sama dengan nilai beban pengolahan untuk unit parit oksidasi. Nilai-nilai yang berpengaruh bagi lingkungan diperlihatkan pada Tabel berikut ini, bersama dengan hasil analisis.

Tabel 4.19 *Impact Assessment Distribution Box I*

Impact Category	Unit	Total
<i>Aquatic eutrophication</i>	kg PO4 P-lim	0.069709
<i>Global warming</i>	kg CO ₂ eq	1,785.14
<i>Non-renewable energy</i>	MJ primary	11,536.24

6. Clarifier

Pengendapan, atau sedimentasi, partikel padat adalah proses fisik yang terjadi di unit penjernih terakhir, yang merupakan unit pengolahan biologis. Penjernih terakhir bekerja dengan memisahkan komponen-komponen suspensi ke dalam bentuk padat (lumpur) dan cair (cairan). Dampak yang memperkuat dampak pencemaran yang sudah ada sebelumnya dapat ditemukan melalui penilaian berbasis jaringan. Pada saat yang sama, pengaruh proses terhadap lingkungan akan terungkap melalui karakterisasi. Pada Gambar 4.31, terlihat hasil dari jaringan proses penjernih.

Lumpur dari tinja diangkut ke unit clarifier melalui gravitasi dari kotak distribusi i. Seiring dengan jumlah energi listrik yang dikonsumsi oleh mesin derek, beban pengolahan input terdiri dari nitrogen organik yang dapat terurai secara hayati, padatan yang dapat terurai secara hayati, dan kebutuhan oksigen biokimia. Analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SimaPro 9.5 terhadap data masukan. Nilai perubahan yang terjadi pada lingkungan karena analisis tersebut ditampilkan pada Tabel berikut ini.

Tabel 4.20 *Impact Assessment Clarifier*

Impact Category	Unit	Total
<i>Aquatic eutrophication</i>	kg PO4 P-lim	0,083951
<i>Global warming</i>	kg CO ₂ eq	1809,869
<i>Non-renewable energy</i>	MJ primary	11818,9

7. Distribution Box II

Lumpur ditampung secara gravitasi di Kotak Distribusi II setelah dipompa dari unit clarifier ke dalam unit sludge drying bed dari oxidation ditch. Dampak lingkungan dari proses tersebut dapat dipahami dengan lebih baik melalui karakterisasi, dan dampak tambahan yang berkontribusi terhadap polusi dapat dipahami dengan lebih baik melalui evaluasi berbasis jaringan.

Efluen dari penjernih pertama-tama akan disirkulasi ulang di unit tangki pencampuran sebelum masuk ke unit parit oksidasi. Dengan mempergunakan konsumsi energi listrik pompa resirkulasi lumpur dan nilai beban pengolahan yang sesuai dengan unit penjernih, data diolah

dan dianalisis mempergunakan perangkat lunak SimaPro 9.5. Pada Tabel 4.21, terlihat hasil analisis yang menampilkan berapa besar biaya yang harus dikeluarkan untuk mengatasi dampak lingkungan.

Tabel 4.21 *Impact Assessment Distribution Box II*

Impact Category	Unit	Total
<i>Aquatic eutrophication</i>	kg PO4 P-lim	0.0176
<i>Global warming</i>	kg CO ₂ eq	52,938
<i>Non-renewable energy</i>	MJ primary	486,195

8. *Polishing Pond*

Kolam pemolesan dipergunakan guna melepaskan nutrien. Tujuannya adalah untuk membuat limbah yang diolah menjadi lebih ramah lingkungan dan berkualitas tinggi sehingga dapat dilepaskan dengan aman ke lingkungan. Dampak yang memperkuat dampak polusi yang sudah ada sebelumnya dapat ditemukan melalui penilaian berbasis jaringan. Pada saat yang sama, pengaruh proses terhadap lingkungan akan terungkap melalui karakterisasi.

Apabila terjadi limpahan dari clarifier, maka akan masuk ke tangki pencampuran dan kemudian kembali ke parit oksidasi untuk resirkulasi. Nilai beban pengolahan input unit penjernih - nitrogen organik yang dapat terurai secara hayati, padatan yang dapat terurai secara hayati, dan kebutuhan oksigen biokimia - serta konsumsi energi listrik pompa resirkulasi air - identik. Perangkat lunak SimaPro 9.5 digunakan untuk menganalisis data masukan ini. Tabel 4.22 menampilkan hasil analisis dan nilai dampak lingkungan.

Tabel 4.22 *Impact Assessment Polishing Pond*

Impact Category	Unit	Total
<i>Aquatic eutrophication</i>	kg PO4 P-lim	0.01793
<i>Global warming</i>	kg CO ₂ eq	64,607.5
<i>Non-renewable energy</i>	MJ primary	533,534

9. *Mixing Tank*

Tangki pencampur menampung lumpur aktif dari kotak distribusi II dan air yang disirkulasi ulang dari kolam pemolesan. Kemudian mengirimkan campuran tersebut ke unit parit oksidasi sebagai lumpur aktif yang disirkulasi ulang. Dampak yang memperkuat dampak polusi yang sudah ada sebelumnya dapat ditemukan melalui penilaian berbasis jaringan. Pada saat yang sama, pengaruh proses terhadap lingkungan akan terungkap melalui karakterisasi.

Unit mixing tank akan dipasok dengan air yang telah diolah dan lumpur dari kolam pemolesan dan unit kotak distribusi ii, masing-masing melalui pemompaan. Setelah menggabungkan konsentrasi lumpur dan air olahan, nilai beban pengolahan dievaluasi dalam SimaPro 9.5. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 *Impact Assessment Mixing Tank*

Impact Category	Unit	Total
<i>Aquatic eutrophication</i>	kg PO4 P-lim	0.03557
<i>Global warming</i>	kg CO ₂ eq	117,546
<i>Non-renewable energy</i>	MJ primary	1,046.31

10. Sludge Drying Bed

Sinar matahari dimanfaatkan dalam sludge drying bed, sebuah proses pengeringan alami, untuk menurunkan kadar air lumpur. Karakterisasi akan mengungkapkan pengaruh proses tersebut terhadap lingkungan, sementara evaluasi berbasis jaringan akan menemukan dampak yang menambah dampak polusi saat ini.

Lumpur akan dipindahkan dari unit kotak distribusi II ke unit pengurasan lumpur dengan pompa. Nilai beban pengolahan dan jumlah listrik yang dipergunakan kemudian dianalisis dengan perangkat lunak SimaPro 9.5. Nilai-nilai yang berpengaruh bagi lingkungan ditampilkan pada Tabel berikut ini, beserta hasil analisisnya.

Tabel 4.24 *Impact Assessment Sludge Drying Bed*

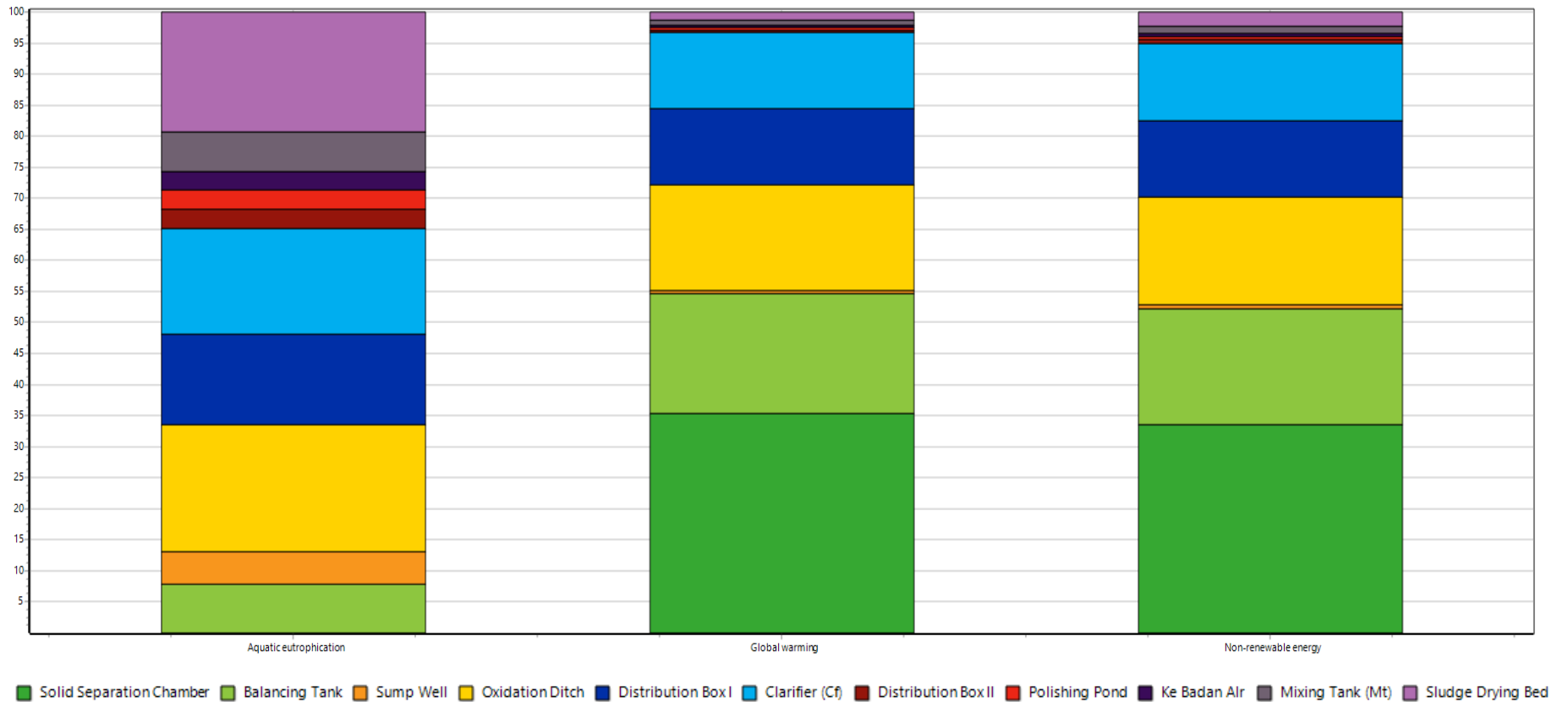
Impact Category	Unit	Total
<i>Aquatic eutrophication</i>	kg PO4 P-lim	0.1091
<i>Global warming</i>	kg CO ₂ eq	200,605
<i>Non-renewable energy</i>	MJ primary	2,233.49

4.5 Penilaian Dampak Keseluruhan Proses Pengolahan Lumpur Tinja

Dalam studi ini, analisis dampak lingkungan dibuat dengan mempergunakan perangkat lunak SimaPro. Perangkat lunak ini menganut metodologi cradle-to-gate, yang berarti mencakup keseluruhan proses, dimulai dari proses bahan baku hingga pembuangan limbah. Berdasarkan fitur-fiturnya, hasil LCIA mengungkapkan tahap penilaian proses pengolahan limbah tinja.

4.6.1 Analisis Karakterisasi/Characterization

Pada tahap ini, kategori dampak dapat diklasifikasikan dengan mengalikan nilai karakterisasi dengan substansinya. Faktor kesetaraan adalah istilah umum yang digunakan untuk merujuk pada faktor karakterisasi. Gambar 4.36 mengilustrasikan nilai karakterisasi



Gambar 4.36 Diagram *Characterization Impact Assessment* IPLT Keputih

Hasil dari proses pengolahan lumpur tinja di IPLT Keputih ditampilkan pada Gambar 4.36. Persentase dipergunakan untuk menunjukkan hasil. Metode Impact 2002+ digunakan dalam studi ini. Metode tersebut merupakan cara pandang baru yang mengaitkan 14 jenis inventarisasi siklus hidup yang berbeda (Impact 2002+ A New Life Impact Assessment Methodology, 2003).

Unit ruang pemisah padat menghasilkan tingkat eutrofikasi air sebesar 0,0%, berkontribusi terhadap pemanasan global 35,4%, dan menggunakan energi tak terbarukan 33,5%. Unit tangki penyeimbang menghasilkan eutrofikasi air 7,92%, pemanasan global 19,3%, dan energi tak terbarukan 18,7%. Unit sump well menghasilkan tingkat eutrofikasi air 5,23%, pemanasan global 0,41%, dan energi tak terbarukan 0,67%. Unit parit oksidasi menghasilkan eutrofikasi air 20,5%, berkontribusi terhadap pemanasan global 17,2%, dan mengkonsumsi energi tak terbarukan 17,3%. Unit kotak distribusi berkontribusi terhadap 14,5% eutrofikasi perairan, 12,1% pemanasan global, dan 12,3% energi tak terbarukan. Unit penjernih berkontribusi terhadap 17% eutrofikasi perairan, 12,3% pemanasan global, dan 12,6% energi tak terbarukan. Unit distribution box ii menghasilkan 3,13% eutrofikasi air, 0,352% pemanasan global, dan 0,502% energi tidak terbarukan. Air di unit kolam pemolesan mengalami peningkatan eutrofikasi 3,18%, pemanasan global 0,43%, dan energi tak terbarukan 0,578%. Unit tangki pencampuran mengandung 6,31% eutrofikasi air, 0,782% pemanasan global, dan 1,08% energi tak terbarukan. Unit sludge drying bed memiliki tingkat eutrofikasi air sebesar 19,3%, tingkat pemanasan global sebesar 1,34%, dan tingkat energi tak terbarukan sebesar 2,31%. Pembuangan zat-zat ini ke dalam badan air mengakibatkan peningkatan eutrofikasi air sebesar 2,92% dalam eutrofikasi air, peningkatan 0,394% dalam pemanasan global, dan peningkatan 0,53% dalam konsumsi energi tak terbarukan.

1. Global Warming

Ketika gas-gas seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan nitrogen oksida (NO_x) dilepaskan ke atmosfer dalam jumlah yang besar, gas-gas tersebut menyebabkan pemanasan global. Sebagian besar radiasi ultraviolet dan inframerah gelombang panjang yang dipantulkan kembali ke Bumi sebenarnya disebabkan oleh gas-gas ini, bukan dikirim ke luar angkasa. Akibatnya, pemanasan global menjadi lebih nyata. Disebut gas rumah kaca karena, mirip dengan kaca rumah kaca, gas-gas ini memungkinkan cahaya masuk ke dalam rumah kaca sambil menahan panas di dalamnya. Menurut Lautuconsina (2010), Jumlah energi panas yang tetap berada di permukaan bumi meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah GRK di udara.

Peningkatan konsentrasi gas-gas di atmosfer, termasuk karbon dioksida (CO_2), menyebabkan efek rumah kaca. Meningkatnya pembakaran bahan bakar minyak, batu bara, dan bahan bakar organik lainnya telah menyebabkan peningkatan konsentrasi gas CO_2 yang melebihi kemampuan tanaman dan lautan untuk menyerapnya. Menurut Wahyuni dan Suarsana (2011), dari seluruh energi yang masuk ke bumi, 25% dipantulkan oleh partikel-partikel di udara, 25% diserap oleh awan, 45% diserap oleh permukaan bumi, dan 5% dipantulkan kembali oleh permukaan bumi.

Gas rumah kaca (GRK) didefinisikan oleh Surmaini (2011) sebagai enam jenis gas berikut ini: CO_2 , CH_4 , N_2O , SF_6 , PFC, dan HFC. Pembangunan manusia yang berhubungan dengan pertanian, industri, dan perkebunan, serta bencana alam, merupakan pendorong utama peningkatan emisi gas rumah kaca baru-baru ini (Lailaty, 2017).

Ketika emisi GRK terus meningkat, hasilnya adalah peningkatan suhu rerata bumi secara perlahan namun pasti. Fenomena ini dikenal sebagai pemanasan global. Bentuk radiasi gelombang pendek yang digunakan matahari untuk mencapai Bumi dikenal sebagai sinar matahari. Radiasi inframerah gelombang panjang dipancarkan kembali ke angkasa oleh penyerapan cahaya ini di permukaan Bumi. Udara bertindak sebagai penyerap panas untuk sebagian radiasi yang dipantulkan. Pemanasan global terjadi ketika konsentrasi GRK di atmosfer meningkatkan jumlah panas yang tertahan di permukaan bumi, yang menyebabkan

peningkatan suhu rerata tahunan planet ini (UNFCCC, 2006). Sehingga, mengurangi emisi gas rumah kaca telah naik ke urutan teratas dalam daftar inisiatif pemanasan global.

2. Aquatic Eutrophication

Ketika tingkat nutrisi dan bahan organik dalam sumber air berlebihan, proses yang dikenal sebagai eutrofikasi terjadi. Ciri khas dari proses ini adalah ledakan jumlah populasi ganggang yang berkembang biak dan fitoplankton lainnya. Beberapa pihak mengkhawatirkan bahwa eutrofikasi akan menurunkan kadar oksigen terlarut dalam air dan meningkatkan konsentrasi amonia, yang keduanya berbahaya bagi kehidupan air (Simbolon, 2016).

Nutrien seperti nitrat dan ortofosfat ditemukan dalam limbah dari berbagai aktivitas. Eutrofikasi dan ledakan populasi fitoplankton dapat dipicu oleh tingginya konsentrasi kedua nutrisi ini (Tungka et al., 2016). Penguraian limbah organik di air waduk dan sedimen meningkatkan konsentrasi N dan P, yang pada gilirannya mendorong pertumbuhan fitoplankton. Populasi ikan waduk dapat ditingkatkan dengan memastikan pasokan nutrisi nitrogen dan fosfor yang memadai, yang, ketika digunakan pada konsentrasi yang tepat, mendorong pertumbuhan fitoplankton. Air waduk dapat menjadi tercemar karena eutrofikasi, yang terjadi ketika ada jumlah nutrisi yang berlebihan (Rustadi, 2009).

Badan air menjadi terlalu subur, atau eutrofik, ketika konsentrasi nutrisi meningkat secara terus menerus dari waktu ke waktu, yang mana hal ini berdampak buruk bagi badan air. Ketika nutrisi, terutama fosfat, dimasukkan ke dalam badan air, sebuah proses yang dikenal sebagai eutrofikasi terjadi, yang mengarah pada peningkatan kesuburan air (Garno, 2012).

3. Non Renewable Energy

Membangun pembangkit listrik tambahan untuk memenuhi permintaan energi listrik yang terus meningkat akan menyebabkan penipisan SDA yang lebih besar. Sisa pasokan SDA yang ada akan berkurang sebagai akibatnya. Batu bara, minyak, dan gas adalah contoh sumber daya energi tak terbarukan yang akan terus menipis seiring dengan meningkatnya konsumsi. Generasi mendatang mungkin akan menghadapi kekurangan energi yang parah sebagai akibatnya. Apabila cadangan energi terbukti Indonesia tetap konstan dan tingkat produksi tidak berubah, maka energi yang dihasilkan dari minyak bumi hanya akan bertahan selama sepuluh tahun, gas selama tiga puluh tahun, dan batu bara selama empat ratus empat puluh enam tahun (Harjanto, 2008).

Emisi seperti partikulat, sulfur monoksida, nitrogen oksida, dan karbon monoksida dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil. Polutan yang berdampak langsung pada kesehatan manusia termasuk emisi partikel, SO₂, dan NO_x. Selain itu, pemanasan global dan krisis lingkungan lainnya telah menjadi perhatian dunia internasional (Sugiyono, 2002). Secara keseluruhan, emisi dari penggunaan energi mencakup emisi dari semua impor dan ekspor bahan bakar, serta emisi dari konsumsi minyak mentah, minyak, produksi dan gas alam, konsumsi dan produksi batu bara, energi listrik, intensitas energi, dan energi secara keseluruhan (Putri, 2016).

Sejauh ini, para ilmuwan telah mengukur tingkat CO₂ yang tertinggi dalam 125.000 tahun. Hampir semua orang setuju bahwa CO₂ berkontribusi terhadap pemanasan global, meskipun para ilmuwan berbeda pendapat mengenai berapa banyak minyak yang masih dapat dimanfaatkan. Hal ini sangat berbahaya bagi semua bentuk kehidupan di Bumi (Robert, 2005).

Penggunaan bahan bakar fosil dikaitkan dengan tiga risiko utama: pertama, habisnya cadangan minyak bumi yang ada (dengan tidak adanya sumur minyak baru), kedua, lonjakan harga atau volatilitas yang disebabkan oleh ketidaksesuaian antara permintaan dan produksi minyak bumi, dan ketiga, pencemaran atmosfer dengan GRK (terutama CO₂) sebagai akibat dari pembakaran bahan bakar fosil (Lubis, 2007).

Setidaknya ada dua bahaya utama yang mungkin timbul dari ketergantungan kita pada bahan bakar fosil. Kekhawatiran ekonomi yang pertama adalah pasokan bahan bakar fosil yang

stabil selama beberapa dekade ke depan, yang terancam karena cadangan yang menurun dan perubahan harga yang tidak dapat diprediksi. Bahaya kedua adalah pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh pembakaran bahan bakar fosil, yang akan berdampak langsung dan tidak langsung terhadap kesehatan manusia (Indartono, 2005).

Mengalikan potensi karakterisasi titik tengah saat ini dengan faktor karakterisasi kerusakan zat menghasilkan faktor karakterisasi kerusakan zat. Berbagai faktor karakterisasi zat ditampilkan pada Tabel 4.25.

Tabel 4. 25 Faktor Kerusakan Karakterisasi

Midpoint Category	Damage Factors	Unit
<i>Aquatic eutrophication</i>	11,4	PDF-m ² .y
<i>Global warming</i>	1	kg CO ₂ /tahun
<i>Non renewable energy</i>	45,6	MJ

Sumber: IMPACT 2002+ A New *Life Cycle Impact Assessment Methodology*, 2003

Nilai-nilai LCIA diketahui untuk setiap penilaian dampak dari Tabel 4.25. Perhitungan LCIA dalam studi ini terlihat seperti ini:

a. Unit *Solid Separation Chamber*

Hasil LCI *aquatic eutrophication* = 0.0 PDF-m².y

LCIA = Damage Factor × Hasil LCI

$$= 11.4 \times 0 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$$

$$= 0 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$$

Hasil LCI *global warming* = 5,315.31 kg CO₂/tahun

LCIA = Damage Factor × Hasil LCI

$$= 1 \times 5,315.31 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

$$= 5,315.31 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

Hasil LCI *non renewable energy* = 711,159 MJ

LCIA = Damage Factor × Hasil LCI

$$= 45.6 \times 711,159 \text{ MJ}$$

$$= 32,428.85 \text{ MJ}$$

b. Unit *Balancing Tank*

Hasil LCI *aquatic eutrophication* = 3,918E-03 PDF-m².y

LCIA = Damage Factor × Hasil LCI

$$= 11.4 \times 3,918\text{E}-03 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$$

$$= 0.044666477 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$$

Hasil LCI *global warming* = 2,898.609 kg CO₂/tahun

LCIA = Damage Factor × Hasil LCI

$$= 1 \times 2,898.609 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

$$= 2,898.609 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

Hasil LCI *non renewable energy* = 396.45 MJL

CIA = Damage Factor × Hasil LCI

$$= 45.6 \times 396.45 \text{ MJ}$$

$$= 18,097.822 \text{ MJ}$$

c. Unit *Sump Well*

Hasil LCI *aquatic eutrophication*

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= 2,5860\text{E-}3 \text{ PDF-m}^2\cdot\text{y} \\ &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\ &= 11,4 \times 2,5860\text{E-}3 \text{ PDF-m}^2\cdot\text{y} \\ &= 0,029493513 \text{ PDF-m}^2\cdot\text{y} \end{aligned}$$

Hasil LCI *global warming* = 61,593541 kg CO₂/tahun

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\ &= 1 \times 61,593541 \text{ kg CO}_2/\text{tahun} \\ &= 61,593541 \text{ kg CO}_2/\text{tahun} \end{aligned}$$

Hasil LCI *non renewable energy* = 14,225 MJ

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\ &= 45,6 \times 14,225 \text{ MJ} \\ &= 648,70177 \text{ MJ} \end{aligned}$$

d. Unit *Oxidation Ditch*

Hasil LCI *aquatic eutrophication*

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= 8,649\text{E-}3 \text{ PDF-m}^2\cdot\text{y} \\ &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\ &= 11,4 \times 8,649\text{E-}3 \text{ PDF-m}^2\cdot\text{y} \\ &= 0,098540672 \text{ PDF-m}^2\cdot\text{y} \end{aligned}$$

Hasil LCI *global warming* = 2,523.4887 kg CO₂/tahun

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\ &= 1 \times 2,523.4887 \text{ kg CO}_2/\text{tahun} \\ &= 2,523.4887 \text{ kg CO}_2/\text{tahun} \end{aligned}$$

Hasil LCI *non renewable energy* = 357.765 MJ

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\ &= 45,6 \times 357,765 \text{ MJ} \\ &= 16,307.726 \text{ MJ} \end{aligned}$$

e. Unit *Distribution Box I*

Hasil LCI *aquatic eutrophication*

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= 6,11\text{E-}03 \text{ PDF-m}^2\cdot\text{y} \\ &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\ &= 11,4 \times 6,11\text{E-}03 \text{ PDF-m}^2\cdot\text{y} \\ &= 0,069708617 \text{ PDF-m}^2\cdot\text{y} \end{aligned}$$

Hasil LCI *global warming* = 1,785.1402 kg CO₂/tahun

$$\text{LCIA} = \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI}$$

$$= 1 \times 1,785.1402 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

$$= 1,785.1402 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

$$\text{Hasil LCI } \textit{non renewable energy} = 252 \text{ MJ}$$

$$\text{LCIA} = \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI}$$

$$= 45.6 \times 252 \text{ MJ}$$

$$= 11,536.242 \text{ MJ}$$

f. Unit Clarifier

$$\text{Hasil LCI } \textit{aquatic eutrophication}$$

$$= 7.36\text{E}-03 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$$

$$\text{LCIA} = \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI}$$

$$= 11.4 \times 7.36\text{E}-03 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$$

$$= 0.083951029 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$$

$$\text{Hasil LCI } \textit{global warming} = 1,809.8685 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

$$\text{LCIA} = \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI}$$

$$= 1 \times 1,809.8685 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

$$= 1,809.8685 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

$$\text{Hasil LCI } \textit{non renewable energy} = 259,175 \text{ MJ}$$

$$\text{LCIA} = \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI}$$

$$= 45.6 \times 259,175 \text{ MJ}$$

$$= 11,818.902 \text{ MJ}$$

g. Unit Distributin Box II

$$\text{Hasil LCI } \textit{aquatic eutrophication} = 1.5439\text{E}-03 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$$

$$\text{LCIA} = \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI}$$

$$= 11.4 \times 1.5439\text{E}-03 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$$

$$= 0.0176 \text{ PDF-m}^2.\text{y}$$

$$\text{Hasil LCI } \textit{global warming} = 52,938 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

$$\text{LCIA} = \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI}$$

$$= 1 \times 52,938 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

$$= 52,938 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

$$\text{Hasil LCI } \textit{non renewable energy} = 10,656 \text{ MJ}$$

$$\text{LCIA} = \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI}$$

$$= 45.6 \times 10,65.6 \text{ MJ}$$

$$= 486,19 \text{ MJ}$$

h. Unit Polishing Pond

$$\text{Hasil LCI } \textit{aquatic eutrophication}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.57\text{E-}03 \text{ PDF-m}^2.\text{y} \\
 \text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\
 &= 11.4 \times 1.57\text{E-}03 \text{ PDF-m}^2.\text{y} \\
 &= 0.017933409 \text{ PDF-m}^2.\text{y}
 \end{aligned}$$

$$\text{Hasil LCI } \textit{global warming} = 64,607534 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

$$\begin{aligned}
 \text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\
 &= 1 \times 64,607.534 \text{ kg CO}_2/\text{tahun} \\
 &= 64,607.534 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

$$\text{Hasil LCI } \textit{non renewable energy} = 12,271 \text{ MJ}$$

$$\begin{aligned}
 \text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\
 &= 45.6 \times 12,271 \text{ MJ} \\
 &= 560,119.01 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

i. Unit *Mixing Tank*

Hasil LCI *aquatic eutrophication*

$$\begin{aligned}
 &= 3.12\text{E-}03 \text{ PDF-m}^2.\text{y} \\
 \text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\
 &= 11.4 \times 3.12\text{E-}03 \text{ PDF-m}^2.\text{y} \\
 &= 0.035571773 \text{ PDF-m}^2.\text{y}
 \end{aligned}$$

$$\text{Hasil LCI } \textit{global warming} = 117,545.89 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

$$\begin{aligned}
 \text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\
 &= 1 \times 117,545.89 \text{ kg CO}_2/\text{tahun} \\
 &= 117,545.89 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

$$\text{Hasil LCI } \textit{non renewable energy} = 22,957 \text{ MJ}$$

$$\begin{aligned}
 \text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\
 &= 45.6 \times 22,957 \text{ MJ} \\
 &= 1,046.3138 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

j. Unit *Sludge Drying Bed*

Hasil LCI *aquatic eutrophication*

$$\begin{aligned}
 &= 9.56\text{E-}03 \text{ PDF-m}^2.\text{y} \\
 \text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\
 &= 11.4 \times 9.56\text{E-}03 \text{ PDF-m}^2.\text{y} \\
 &= 0.10910413 \text{ PDF-m}^2.\text{y}
 \end{aligned}$$

$$\text{Hasil LCI } \textit{global warming} = 200,604.65 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

$$\begin{aligned}
 \text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\
 &= 1 \times 200,604.65 \text{ kg CO}_2/\text{tahun} \\
 &= 200,604.65 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

$$\text{Hasil LCI } \textit{non renewable energy} = 48,954 \text{ MJ}$$

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\ &= 45.6 \times 48,954 \text{ MJ} \\ &= 2,233.4882 \text{ MJ} \end{aligned}$$

k. Ke Badan Air

Hasil LCI *aquatic eutrophication*

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= 1.443\text{E}-03 \text{ PDF-m}^2.\text{y} \\ &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\ &= 11.4 \times 1.443\text{E}-03 \text{ PDF-m}^2.\text{y} \\ &= 0.016440096 \text{ PDF-m}^2.\text{y} \end{aligned}$$

Hasil LCI *global warming* = 59,227673 kg CO₂/tahun

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\ &= 1 \times 59,227.673 \text{ kg CO}_2/\text{tahun} \\ &= 59,227.673 \text{ kg CO}_2/\text{tahun} \end{aligned}$$

Hasil LCI *non renewable energy* = 11.260 MJ

$$\begin{aligned} \text{LCIA} &= \text{Damage Factor} \times \text{Hasil LCI} \\ &= 45.6 \times 11.260 \text{ MJ} \\ &= 513,477.98 \text{ MJ} \end{aligned}$$

Dengan bantuan perangkat lunak SimaPro, studi ini mencoba mengevaluasi dampak lingkungan dari pengolahan lumpur tinja di Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Keputih dengan menerapkan metode Life Cycle Assessment (LCA). Berbagai unit pengolahan dan dampak lingkungan yang ditimbulkan - seperti eutrofikasi perairan, pemanasan global, dan penggunaan energi tak terbarukan - dimasukkan dalam hasil analisis.

Studi ini menganalisis dampak lingkungan dari pengolahan lumpur tinja di IPLT dengan menggunakan perangkat lunak SimaPro dan metode LCA.

Kategori Dampak Lingkungan yang Relevan:

- Pemanasan Global (Global Warming):
- Dampak pemanasan global diukur berdasarkan emisi gas rumah kaca seperti CO₂ dan metana (CH₄) yang dihasilkan dari proses pengolahan lumpur. Unit solid separation chamber menunjukkan kontribusi terbesar terhadap kategori ini dengan skor analisis 35,4%. Hal ini disebabkan oleh emisi gas rumah kaca yang tinggi selama proses pemisahan padatan.
- Eutrofikasi Akuatik (Aquatic Eutrophication):
- Dampak eutrofikasi akuatik diukur berdasarkan kontribusi nutrisi seperti nitrogen dan fosfor yang dilepaskan ke badan air. Unit balancing tank memberikan kontribusi terbesar terhadap kategori ini dengan skor analisis 20,5%, menunjukkan bahwa proses penyeimbangan lumpur memiliki dampak signifikan terhadap peningkatan nutrisi di badan air yang dapat menyebabkan eutrofikasi.
- Penggunaan Energi Non-Terbarukan (Non-Renewable Energy):
- Dampak penggunaan energi non-terbarukan diukur berdasarkan konsumsi energi dari sumber daya yang tidak dapat diperbarui. Unit sludge drying bed menunjukkan kontribusi terbesar dengan skor 33,5%, menunjukkan bahwa proses pengeringan lumpur memerlukan konsumsi energi yang tinggi.

Pengukuran Dampak Lingkungan pada Setiap Unit Proses:

- Solid Separation Chamber: Menyumbang 35,4% terhadap pemanasan global, menunjukkan bahwa proses ini merupakan sumber utama emisi gas rumah kaca di IPLT Keputih.
- Balancing Tank: Menyumbang 20,5% terhadap eutrofikasi akuatik, mengindikasikan bahwa unit ini berkontribusi signifikan terhadap peningkatan nutrisi di badan air.
- Sludge Drying Bed: Menyumbang 33,5% terhadap penggunaan energi non-terbarukan, menandakan bahwa proses pengeringan lumpur sangat bergantung pada konsumsi energi yang tinggi.
- Clarifier dan Polishing Pond: Kedua unit ini juga memberikan kontribusi terhadap dampak lingkungan lainnya, seperti peningkatan kandungan bahan organik dan penurunan kualitas air, yang mempengaruhi ekosistem perairan secara keseluruhan.

Berdasarkan hasil analisis di atas, penelitian ini mengidentifikasi bahwa proses pengolahan lumpur tinja di IPLT Keputih memiliki dampak lingkungan yang signifikan dalam tiga kategori utama: pemanasan global, eutrofikasi akuatik, dan penggunaan energi non-terbarukan. Setiap unit proses memberikan kontribusi yang berbeda terhadap dampak ini, dengan solid separation chamber, balancing tank, dan sludge drying bed menjadi unit dengan dampak paling signifikan. Penelitian ini memberikan landasan ilmiah untuk merumuskan strategi mitigasi yang lebih efektif guna mengurangi dampak lingkungan dari pengolahan lumpur tinja di masa depan

4.7 Diagram Energi

Pada penelitian ini juga dilakukan perhitungan diagram energi untuk memberikan gambaran visual tentang seberapa besar energi yang digunakan oleh masing-masing unit pengolahan di IPLT Keputih. Diagram ini dapat membantu dalam mengidentifikasi unit mana yang paling banyak menggunakan energi dan yang paling efisien :

$$\text{Total Energi} = 25,23 + 24 + 45 + 20,05 + 23,04 + 22,56 = 159,88 \text{ kWh/hari}$$

Persentase Energi :

$$\text{Persentase Energi} = \left(\frac{\text{Energi Unit}}{\text{Total Energi}} \right) \times 100 \%$$

Perhitungan:

1. Pompa BT:

$$\text{Persentase Energi} = \left(\frac{25,23}{159,88} \right) \times 100 \%$$

2. Pompa Sumpwell:

$$\text{Persentase Energi} = \left(\frac{24}{159,88} \right) \times 100 \%$$

3. Mamot Rotor (OD):

$$\text{Persentase Energi} = \left(\frac{45}{159,88} \right) \times 100 \%$$

4. Scrapper Clarifier:

$$\text{Persentase Energi} = \left(\frac{20,05}{159,88} \right) \times 100 \%$$

5. Pompa DB 2:

$$\text{Persentase Energi} = \left(\frac{23,04}{159,88} \right) \times 100 \%$$

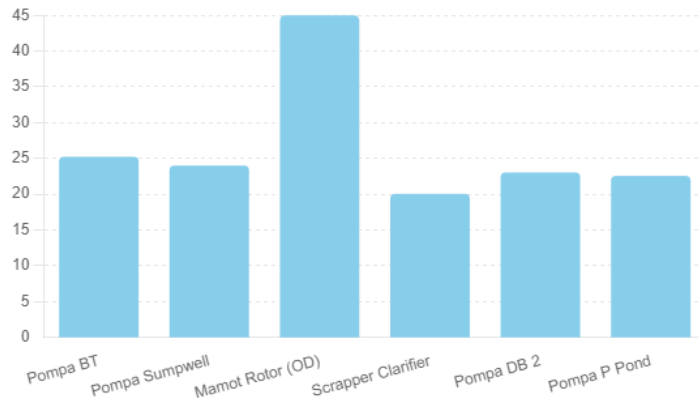
6. Pompa Polishing Pond:

$$\text{Persentase Energi} = \left(\frac{22,56}{159,88} \right) \times 100 \%$$

Berdasarkan perhitungan persentase energi yang digunakan oleh masing-masing unit pengolahan di IPLT Keputih, diperoleh hasil sebagai berikut:

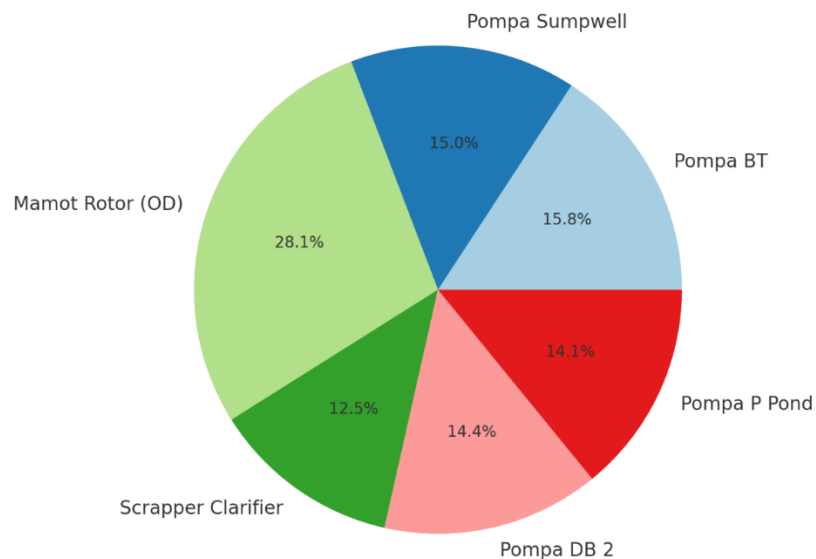
1. Pompa BT: Menggunakan 15.8% dari total energi. Ini menunjukkan bahwa Pompa BT adalah salah satu unit yang signifikan dalam konsumsi energi.
2. Pompa Sumpwell: Menggunakan 15.0% dari total energi, sedikit lebih rendah dari Pompa BT, tetapi masih merupakan salah satu pengguna energi utama.
3. Mamot Rotor (OD): Menggunakan 28.1% dari total energi, menjadikannya unit dengan konsumsi energi terbesar. Ini menunjukkan bahwa proses pada unit ini sangat intensif energi.
4. Scrapper Clarifier: Menggunakan 12.5% dari total energi, menunjukkan bahwa meskipun penting, unit ini relatif lebih efisien dibandingkan dengan unit lain.
5. Pompa DB 2: Menggunakan 14.4% dari total energi, yang menunjukkan konsumsi energi yang signifikan tetapi tidak sebesar Mamot Rotor.
6. Pompa P Pond: Menggunakan 14.1% dari total energi, hampir sebanding dengan Pompa DB 2.

Dari hasil di atas, dapat disimpulkan bahwa Mamot Rotor (OD) adalah unit dengan konsumsi energi terbesar, yang berarti bahwa perbaikan efisiensi energi pada unit ini dapat memberikan dampak yang signifikan pada keseluruhan konsumsi energi di IPLT Keputih. Pompa BT dan Pompa Sumpwell juga merupakan unit-unit penting yang membutuhkan perhatian dalam pengelolaan energi. Secara keseluruhan, distribusi penggunaan energi menunjukkan bahwa beberapa unit memiliki konsumsi energi yang relatif tinggi, yang dapat menjadi fokus utama untuk upaya peningkatan efisiensi energi.



Gambar 4.37 Diagram Energi Unit IPLT Keputih

Persentase Kontribusi Energi per Unit (Data Baru)



Gambar 4.38 Persentase Kontribusi Energi per Unit

Berikut adalah diagram energi data persentase energi yang digunakan oleh masing-masing unit pengolahan di IPLT Keputih berdasarkan data terkoreksi:

Total Energy 159.88 kWh/hari.

- Pompa BT: 15,8%
- Pompa Sumpwell: 15%
- Mamot Rotor (OD): 28,1%
- Scrapper Clarifier: 12,5%
- Pompa DB 2: 14,4%
- Pompa Polishing Pond 14.1%

4.8 Perbandingan Hasil

Setelah dilakukan perhitungan maka sekarang dilakukan perbandingan pada data yang telah dihitung dengan data penelitian terdahulu, Berikut adalah perbandingan dan penjelasan antara hasil penelitian ini dengan penelitian sebelumnya:

Total Aquatic Eutrophication (PDF-m².y)

- Penelitian sbelumnya: 0.003409 PDF-m².y
- Penelitian ini: 0.523010 PDF-m².y

Perbandingan:

Penelitian ini menunjukkan peningkatan signifikan dalam dampak eutrofikasi akuatik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Angka total eutrofikasi akuatik meningkat dari 0.003409 PDF-m².y menjadi 0.523010 PDF-m².y, yang menunjukkan adanya peningkatan nutrisi anorganik seperti nitrogen dan fosfor dalam limbah yang dapat menyebabkan gangguan ekosistem air.

Total Global Warming (kg CO₂/year)

- Penelitian sebelumnya: 15,947.847749 kg CO₂/year
- Penelitian ini: 14,888.933688 kg CO₂/year

Perbandingan:

Penelitian ini menunjukkan penurunan total emisi gas rumah kaca. Penurunan ini dari 15,947.847749 kg CO₂/year menjadi 14,888.933688 kg CO₂/year, yang menunjukkan bahwa ada peningkatan efisiensi atau perubahan dalam proses yang mengurangi emisi karbon dioksida dan gas rumah kaca lainnya.

Total Non-Renewable Energy (MJ)

- Penelitian sebelumnya: 103,431.0035 MJ
- Penelitian ini: 95,677.83276 MJ

Perbandingan:

Penelitian ini juga menunjukkan penurunan dalam penggunaan energi non-terbarukan. Penggunaan total energi non-terbarukan menurun dari 103,431.0035 MJ menjadi 95,677.83276 MJ. Hal ini bisa menunjukkan bahwa proses pengolahan limbah telah mengalami optimasi atau ada peningkatan dalam penggunaan sumber energi yang lebih efisien.

Tabel 4. 26 Tabel Perbandingan Hasil Penelitian

Parameter	Penelitian Sebelumnya	Penelitian Ini
Aquatic Eutrophication (PDF-m².y)	0.003409	0.523010
Global Warming (kg CO₂/year)	15,947.847749	14,888.933688
Non-Renewable Energy (MJ)	103,431.0035	95,677.83276

Penjelasan Detail

1. Aquatic Eutrophication:
 - Peningkatan dalam dampak eutrofikasi akuatik menunjukkan adanya lebih banyak nutrisi anorganik yang masuk ke dalam sistem perairan, yang dapat disebabkan oleh peningkatan jumlah limbah yang diolah atau perubahan dalam proses pengolahan yang memungkinkan lebih banyak nutrisi lolos ke lingkungan.
2. Global Warming:

- Penurunan emisi gas rumah kaca dapat menunjukkan adanya perbaikan dalam proses pengolahan limbah yang lebih efisien dalam penggunaan energi atau adanya teknologi yang lebih baik dalam menangkap dan mengolah emisi.
3. Non-Renewable Energy:
- Penurunan penggunaan energi non-terbarukan menunjukkan adanya peningkatan efisiensi dalam penggunaan energi atau perubahan ke sumber energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Hasil penelitian ini menunjukkan adanya perbaikan dalam beberapa aspek dampak lingkungan, terutama dalam hal pengurangan emisi gas rumah kaca dan penggunaan energi non-terbarukan. Namun, ada peningkatan dalam dampak eutrofikasi akuatik yang perlu diperhatikan lebih lanjut. Ini mungkin memerlukan analisis mendalam untuk memahami sumber dan penyebab peningkatan ini serta menemukan solusi untuk mengurangnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini berhasil mengidentifikasi kategori dampak lingkungan yang signifikan dalam proses pengolahan lumpur tinja di IPLT Keputih dengan menggunakan perangkat lunak SimaPro. Kategori dampak yang paling relevan adalah pemanasan global (global warming), eutrofikasi akuatik (aquatic eutrophication), dan penggunaan energi non-terbarukan (non-renewable energy). Pemilihan kategori ini didasarkan pada kontribusi signifikan dari emisi gas rumah kaca, peningkatan nutrisi di badan air, dan konsumsi energi pada proses pengolahan lumpur tinja IPLT Keputih. Metode Life Cycle Assessment (LCA) dengan perangkat lunak SimaPro memungkinkan identifikasi yang tepat dari kategori dampak ini, serta memberikan landasan ilmiah untuk penilaian dan mitigasi dampak lingkungan.

2. Penelitian ini berhasil mengukur dan mengidentifikasi besarnya dampak lingkungan pada setiap unit proses pengolahan lumpur tinja di IPLT Keputih menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA) dengan perangkat lunak SimaPro. Hasil analisis menunjukkan bahwa unit solid separation chamber memberikan kontribusi terbesar terhadap pemanasan global dengan skor 35,4%, unit balancing tank memiliki dampak signifikan terhadap eutrofikasi akuatik dengan skor 20,5%, dan unit sludge drying bed menunjukkan konsumsi energi non-terbarukan tertinggi dengan skor 33,5%. Temuan ini memberikan wawasan penting untuk mengembangkan strategi mitigasi yang lebih efektif dalam mengurangi dampak lingkungan dari masing-masing unit proses di IPLT Keputih.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan ini dapat diberikan saran yang diharapkan bisa bermanfaat bagi penelitian yang akan dilakukan selanjutnya antara lain:

1. Dilakukan penelitian yang mendalam untuk mengurangi dampak lingkungan agar bisa mengurangi pencemaran yang ada.
2. Memahami keterkaitan dengan pemangku kepentingan sangat penting untuk memudahkan pengumpulan data. Hal ini karena proses menjalankan LCA pada SimaPro 9.5 memerlukan data yang sangat rinci dari pihak-pihak terkait.
3. Dilakukan penelitian yang mendalam untuk efisiensi energi agar bisa membuat pengolahan menjadi hemat energi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, A., A. 2007. Aplikasi Software SimaPro 5.0 Sebagai Alat Prediksi Reduksi Pencemar Lingkungan (Studi Kasus PT Semen Gresik Tbk). Tugas Akhir Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS.
- Abuka, M. 2012. Eutrophication in Shallow Lakes and Water Dams. In. A Magazine for the environmental centre for Arab Towns. Issue 2 December 2012. Eu.envirocitiesmag.com/article/pdf/article.pdf.
- Ahtiainen, H., Artell, J., Elmgren, R., Hasselstrom, L., dan Hakansson, C. 2014. Baltic Sea nutrient reductions - What should we aim for? *Journal of Environmental Management*, 145, hal 9-23.
- Azapagic, A., dan Clift, R. 1999. Life Cycle Assessment and Multi Objective Optimisation. *Journal of Cleaner Production*, 7(2), hal 135-143.
- Baldacci, S. 2002. Respiratory Effects of Environmental Pollution: Epidemiological Data. 57(3-4), hal 156-60.
- Bhattacharjee, P., K. 2010. Global Warming Impact on the Earth. *International Journal of Environmental Science and Development*. 1(3), hal 219-220.
- Bonton, A., Bouchard, C., Barbeau. B., dan Jedrzejak, S. 2012. Comparative Life Cycle Assessment of Water Treatment Plants. *Desalination*, 284, hal 42-54
- Boudou, A dan Ribeyre, F. 1997. Aquatic Ecotoxicology: From the Ecosystem to the Cellular and Molecular Levels. *Environmental Health Perspectives*. 105(1), hal 21-35.
- Bunea, F., Ciocan, G., D. , Oprina, G., Baran, G., dan Babutanu, C., A. 2010. Hydropower Impact on Water Quality. *Environmental Engineering and Management Journal*. 9(11), hal 1450-1454.
- Chang, J., Kyung, D., and Lee, W. 2014. Estimation of Greenhouse Gas (Ghg) Emission from Wastewater Treatment Plants and Effect of Biogas Reuse on Mitigation". *Advances in Environmental Research*, 3(2), hal 173-183.
- Donald, D.B., Bogard, M.J., Finlay, K., dan Leavitt, P., R. 2011. Comparative Effects of Urea, Ammonium, and Nitrate on Phytoplankton Abundance, Community Composition, and Toxicity in Hypereutrophic Freshwaters. *Limnology and Oceanography*. 56(6), hal 2161-2175.
- Ehhalt, D., H. 1994. On the Photochemical Oxidation of Natural Trace Gases and Man-Made Pollutants in The Troposphere. *The Science of the Total Environment*. 143, hal 1-15.
- Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R., Christiansen, K. dan Klüppel, H.,J. 2006. The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 And ISO 14044. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(2), hal 80-85.
- Firdus dan Muchlisin Z., A. 2010. Degradation Rate Of Sludge and Water Quality of Tangki septik (Water Closed) by Using Starbio and Freshwater Catfish as Biodegradator. *Jurnal Natural*, 10(1).

- Gaol, M., L. 2017. Life Cycle Assessment (LCA) Pengelolaan Sampah Pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah (Studi Kasus: TPA Jabon, Kabupaten Sidoarjo). Tugas Akhir Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS.
- Garno, Y., S. 2012. Dampak Eutrofikasi Terhadap Struktur Komunitas dan Evaluasi Metode Penentuan Kelimpahan Fitoplankton. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 13(1), hal 67-74.
- Gerardi, M., H. 2006. *Wastewater Bacteria*. New Jersey: John Wiley dan Sons. 19, hal 4-9.
- Gunawan, Y. 2006. Peluang Penerapan Produksi Bersih Pada Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Waste Water Treatment Plant #48 Studi Kasus di PT Badak NGL Bontang". Universitas Diponegoro. Semarang.
- Haerani, R., & Ardiatma, D. 2022. "Studi Pengolahan Lumpur Tinja di Balai Pialam Yogyakarta." *Prosiding SAINTEK: Sains dan Teknologi*, Vol. 1 No. 1 Tahun 2022, hal 555-559.
- Hakkinen, T., Helin, T., Antuña, C., Supper, S., Schiopu, N., dan Nibel, S. 2013. Land Use as an Aspect of Sustainable Building. *International Journal of Sustainable Land Use and Urban Planning*. 1(1), hal 21-41.
- Halder, P. K., Paul, N., Joardder, M., U., H., dan Sarker, M. 2015. Energy Scarcity And Potential of Renewable Energy in Bangladesh. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*. 51, hal 1636-1649.
- Harjanto, T. R., Fahrurrozi, M., & Bendiyasa, I. M. (2014). Life Cycle Assessment Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap: Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa. *Jurnal Rekayasa Proses*, 6(2), 51–58.
- Harjanto, T., R., Fahrurrozi, M., dan Bendiyasa, M., I. 2014. Life Cycle Assessment Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap: Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas gadjah Mada. *Jurnal Rekayasa Proses*, 6(2), hal 51-58.
- Haye, S., Slaveykova, V., I., dan Payet, J. 2007. Terrestrial Ecotoxicity And Effect Factors Of Metals In Life Cycle Assessment (LCA). *Chemosphere*. 68, hal 1489–1496.
- Helman, D. 2011. Life Cycle Assessment an Executive Overview of Applications, Market Drivers and Business Benefits. *Green Research*. 7(2), hal 1-10.
- IPCC. 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5: Waste*.
- Johnson, P., T., Chase, J., M., Dosch, K., L., Hartson, R., B., Gross, J., A., Larson, D., J., Sutherland, D., R. dan Carpenter, S., R. 2007. Aquatic Eutrophication Promotes Pathogenic Infection In Amphibians. *Proceedings of The National Academy of Sciences of The United States Of America*. 104 (40), hal 15781-15786.
- Joko, T dan Fitri E. 2012. Kondisi dan Upaya Strategi Penanganan Sanitasi di Kota Batam. 11(1), hal 43-53.
- Jolliet, O., Brent, A., Goedkoop, M., Itsubo, N., Mueller-Wenk, R., Peña, C., Schenk, R., Stewart, M., dan Weidema, B. 2003a. *LCIA Definition Study of the SETAC-UNEP Life Cycle Initiative*. UNEP.

- Jonrizal. 2001. Evaluasi Efisiensi Kadar Total Suspended Solid pada Solid Separation Chamber di IPLT Keputih, Surabaya. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kautzar, P., Galuh, M., dan Zuhria. 2015. Analisis Dampak Lingkungan Pada Aktivitas Supply Chain Produk Kulit Menggunakan Metode LCA dan ANP. Universitas Brawijaya. Malang.
- Keiblinger, K., M., Hornek, R. W., Zerobin, W., Mach, R.,L., dan Farnleitner, A., H. 2008. Quantitative Microbial Faecal Source Tracking with Sampling Guided by Hydrological Catchment Dynamics. *Environmental Microbiology*. 10(2), hal 2598-2608.
- Kulczycka, J., Lelek, L., Lewandowska, A., dan Zarebska, J. 2015. Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management-Comparison of Results Using Different LCA Models. 24(1), hal 125-140.
- Kumar, A., Dhall, P., dan Rita, K. 2010. Redefining BOD:COD Ratio Of Pulp Mill Industrial Wastewaters in BOD Analysis by Formulating a Spesific Microbial Seed. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 64(1), hal 197-
- Laili, N. 2014. Analisis dampak lingkungan pada daur hidup pembangkit minyak bumi tenaga panas bumi dengan teknologi flash steam system. Universitas Indonesia Library.
- Lean, H., H. dan Smyth, R. 2009. CO₂ Emissions, Electricity Consumption and Output in Asean. *Development Research Unit Discussion Paper (DEVDP)*. Hal 09-13.
- Lestari, D., R., dan Yudihanto, D. 2013. Pengolahan Lumpur Tinja Pada Sludge Drying Bed IPLT Keputih Menjadi Bahan Bakar Alternatif dengan Metode Biodrying. 2(2), hal 133- 137.
- Louis, G. 1990. Environmental Ionizing Radiation. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*.
- Lubis, A. 2007. Energi Terbarukan dalam Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 8(2), hal 155- 162.
- Metcalf & Eddy, 1991, *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, Third Edition, McGraw-Hill, New York.
- Moertinah, S. 2010. Kajian Proses Anaerobik Sebagai Alternatif Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Organik Tinggi. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan dan Pencemaran Industri*. 1(2). Semarang: Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri Semarang.
- Mulyani, Riani, W., dan Wisnu W. 2012. Sebaran Spasial Spesies Penyebab Harmful Algal Blooms (HABs) di Lokasi Budidaya Kerang Hijau (*Perna viridis*) Kamal Muara, Jakarta Utara pada Bulan Mei 2011. *Jurnal Akuatika*. 3(1), hal 28-39.
- Nadhifatin, E. N. 2019. Analisis Kontribusi Dampak Lingkungan Akibat Proses Pengolahan Lumpur Tinja IPLT Keputih dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA).
- Nigri, E., M., Barros, A., C., Rocca, S., D., F., dan Filho, E., R. 2014. Assessing Environmental Impacts Using A Comparative LCA of Industrial and Artisanal

- Production Processes: "Minas Cheese" Case. 34(3), hal 522-531.
- Nuraeni, R dan Ashuri, A. 2018. Nilai Faktor Emisi Spesifik Air Limbah pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal. 4(1), hal 37-48.
- Nuraeni Journal of Environmental Science and Development. 1(3), hal 219-220.
- Oktarina, D., dan Helmi, H. 2013. Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Sistem Kolam Kota Palembang (Studi Kasus: IPLT Sukawiatan). Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan. 1(1), hal 74-79.
- Pall, E., Niculae, M., Kiss, T., Andru, C. D., dan Splanu, M. 2013. Human Impact on the Microbiological Water Quality of the Rivers. Journal of Medical Microbiology. 62(11), hal 1635-1640.
- Palupi, A. H., Tama, I. P., & Sari, R. A. (2014). Evaluasi Dampak Lingkungan Produk Kertas dengan Menggunakan Life Cycle Assessment (LCA) dan Analytic Network Process (ANP) (Studi Kasus: PT. X Probolinggo). Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Sistem Industri, 2(5), 1–12.
- Pratama, D.R., & Yudihanto, B. 2013. "Pengolahan Lumpur Tinja Pada Sludge Drying Bed IPLT Keputih Menjadi Bahan Bakar Alternatif dengan Metode Biodrying." Jurnal Pengolahan Lingkungan, 2(2), hal 133-137.
- Prayudi, T., R. 2014. Potensi Pendapatan Retribusi Pengolahan Lumpur Tinja di IPLT Talang Bakung, Kota Jambi, Provinsi Jambi. 6(2), hal 78-139.
- Pre. 2014. All About SimaPro 8. <URL : <https://www.pre-sustainability.com/>
- Pujadi. 2013. Analisis Sustainability Packaging dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA).
- Putra, F.P., Soedjono, E.S., & Wahyuningsih, I. 2020. "Study of Treatment Process Improvement of Fecal Sludge in Surabaya City and Optimization for The Retribution Management." IPTEK Journal of Proceedings Series, 1(2020), hal 207-212.
- Putri, P., H. 2017. Life Cycle Assessment (LCA) Emisi Pada Proses Produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) Jenis Bensin Dengan Pendekatan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP). Tugas Akhir Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS.
- Reischer, G., H., Haider, J., M., Sommer, R., Stadler, H., Richard, G., F. 1989. Appropriate for Water Supply and Sanitation, Transportation. Water and Telecommunication Department of The World Bank.
- Rizky, D., Arifin, & Sutrisno, H. 2023. "Analisis Kondisi Layanan Lumpur Tinja di IPLT Kota Pontianak." Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah, 11(1), hal 66-72.
- Rosmeika, Sutiarmo, L., dan Suratmo, B. 2009. Pengkajian Daur Hidup Ampas Tebu Di Pabrik Gula Madukismo, Yogyakarta Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA). Jurnal Enjiniring Pertanian. 8(2). Universitas Gadjah Mada.
- Santoso, H., dan Ronald. 2012. Rekayasa Nilai dan Analisis Daur Hidup Pada Model Alat Potong Kuku Dengan Limbah Kayu di CV Piranti Works. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Singh, P., dan Kansal, A. 2018. Energy and Ghg Accounting for Wastewater Infrastructure. Resources, Conservation and Recycling. 128, hal 499–507.
- Sivasakthivel, T., dan Reddy, S., K., K. 2011. Ozone Layer Depletion and Its Effects. International Journal of Environmental Science and Development. 2(1), hal 30- 37.

- Sonnemann, G., Castells, F., dan Schuhmacher, M. 2003. *Integrated Life Cycle and Risk Assessment for Industrial Processes*. Lewis Publishers: Boca Raton, FL, USA.
- Stephan, P., Saner, D., dan Koehler, A. 2011. The Environmental Relevance of Freshwater Consumption in Global Power Production. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 16, hal 580-591.
- Sugiura, N., M. Utsumi, B., Wei, N., Iwami, K., Okano, Y., Kawauchi, T., dan Maekawa. 2004. Assessment for the Complicated Occurrence of Nuisance Odours from Phytoplankton and Environmental Factors in a Eutrophic Lake. *Lake and Reservoirs: Res and Mqn*. 9, hal 195-201.
- Sugiyono, A. 2000. Renewable Energy Development Strategy in Indonesia: CDM Funding Alternative. *Proceeding of the 5th Inaga Annual Scientific Conference and Exhibition*. Inaga, Yogyakarta.
- Sugiyono, A. 2002. Penggunaan Energi dan Pemanasan Global: Prospek bagi Indonesia. *Technical Report*. March 2002.
- Sutapa, I. 2006. Pengaruh Kepadatan *Myriophyllum* sp terhadap Jumlah Fecal Coliform Di Situ Cibuntu. *Pusat Penelitian Limnologi*. LIPI. Jakarta.
- Sutrisno, C., T dan Suciastuti, E. 2002. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Rineka Cipta: Jakarta 32, 73.
- Tarigan, M., S. dan Edwar. 2003. Kandungan Total Zat Padat Tersuspensi (Total Suspended Solid) di Perairan Raha. *Makara, Sains*. 7(3), hal 109-119. Sulawesi Tenggara.
- Tembo, R. 2017. The Impact of Ocean Acidification on Aquatic Organisms. *Journal of Environmental Analytical Toxicology*. 7(3), hal 469.
- Thomas E., M. dan Edgar G., H. 2001. The Human Toxicity Potential and a Strategy for Evaluating Model Performance in Life Cycle Impact Assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment (LCA)*. 6(2), hal 106 – 109.
- Tietenberg, T. dan L. Lewis (2011). *Environmental and Natural Resource Economics*. Pearson Education, New jersey, USA.
- Triatmodjo, P. 1993. *Tinjauan Mikrobiologi Makanan, Minumandan Air Pada Beberapa Rumah Sakit di Jakarta*. Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, Departemen Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta. Indonesia.
- UNFCCC. 2006. Greenhouse Gas Inventory Submission. Data compilation available on UNEP's Geodata Portal (geodata.grid.unep.ch). The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Bonn.
- Vandecasteele, I., Bianchi, A., Silva, F., B., Lavalle, C., dan Batelaan, O. 2014. Mapping Current and Future European Public Water Withdrawals and Consumption. *Hydrology. Earth System. Science*. 18, hal 407-416.
- Yani, M., Purwaningsih, I., dan Munandar, M., N. 2012. Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assessment) Gula pada Pabrik Gula Tebu. *E Jurnal Agroindustri Indonesia*. 1(1), hal 60-67.
- Zhu, Q. dan X. Peng. 2012. The Impacts of Population Change on Carbon Emissions in China during 1978–2008. *Environmental Impact Assessment Review*. 36(1).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Telp: 031-5948866, Fax: 031-5928387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2023/2024

Kode/SKS : CL234801 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02 Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Selasa, 21 Mei 2024
Pukul : 13.30 - 14.30
Lokasi : Ruang Sidang Pasca
Judul : KAJIAN DAMPAK LINGKUNGAN AKIBAT PROSES PENGOLAHAN LUMPUR TINJA IPLT KEPUTIH
DENGAN METODE LIFE CYCLE ASSESMENT (LCA)
Nama : Arya Darmana Fabian
NRP. : 5014201084
Topik : Penelitian

Nilai TOEFL : 523

Tanda Tangan
[Signature]

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
1.	Buktikan bag analisis dampak ?
2.	Lengkapi konsep & diagram proses
3.	Batasan 3 mgr' & Sarannya ?

[Signature]

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekreteriat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:
1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem Dipl.SE, M.Sc

[Signature]



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2023/2024

Kode/SKS : CL234801 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

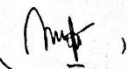
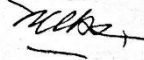
Hari, tanggal : Selasa, 21 Mei 2024
Pukul : 13.30 - 14.30
Lokasi : Ruang Sidang Pasca
Judul : KAJIAN DAMPAK LINGKUNGAN AKIBAT PROSES PENGOLAHAN LUMPUR TINJA IPLT KEPUTIH I
Nama : Arya Darmana Fabian
NRP. : 5014201084
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Seminar Kemajuan Tugas Akhir
	<ol style="list-style-type: none">1. Pada tabel 4.4 tidak tercantum unit untuk masing masing parameter2. Grafik mass balance kurang jelas harap diperbaiki3. Apakah alasan pemilihan kategori dampak sudah dicantumkan pada laporan?4. Penulisan CO2 H2O besar kecilnya masih belum rapi5. Font pada diagram characterization impact terlalu kecil / tidak terlihat6. Belum ada pembahasan hasil?

Formulir KTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pengarah
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah Ainul Firdatun Nisaa, S.T., M.Sc

Dosen Pembimbing Prof. Dr. Ir. Nieke Kamaningroem Dipl.SE, M.Sc

()
()



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
periode: Genap 2023/2024

Kode/SKS : CL234801 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Selasa, 21 Mei 2024
Pukul : 13.30 - 14.30
Lokasi : Ruang Sidang Pasca
Judul : KAJIAN DAMPAK LINGKUNGAN AKIBAT PROSES PENGOLAHAN LUMPUR TINJA IPLT KEPUTIH I
Nama : Arya Darmana Fabian
NRP. : 5014201084
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Seminar Kemajuan Tugas Akhir
1/	Redubsonal → Bod → BID dll.
2/	Diagram proses & Petrus-Creoged
3/	penjelasan fungsi pengumpul sirtupro - dispositi far beum: <u>Legal</u>

Formulir KTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pengarah
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah : Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso M.T
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem Dipl SE, M.Sc



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FORM UTA-01

FORMULIR SIDANG UJIAN LISAN TUGAS AKHIR

Saya, yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Arya Darmana Fabian

NRP : 5014201084

mengajukan permohonan untuk melaksanakan Sidang Ujian Tugas Akhir dengan:

Judul Tugas Akhir : **KAJIAN DAMPAK LINGKUNGAN AKIBAT PROSES
PENGOLAHAN LUMPUR TINJA IPLT KEPUTIH DENGAN
METODE LIFE CYCLE ASSESMENT (LCA)**

Dosen Pembimbing : **Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem Dipl.SE, M.Sc**

Laboratorium : **Manajemen Kualitas Lingkungan**

Kategori Tugas Akhir (Pilih salah satu) : Perencanaan Penelitian Studi Pustaka

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem Dipl.SE, M.Sc
NIP.195501281985032001

Surabaya, 26 Juni 2024

Mahasiswa Ybs.

Arya Darmana Fabian
NRP.5014201084



FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : ARYA DARMAVA FABI AN
NRP : 50112010811
Judul :

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	14/05/2024	NRE & tiadakan.	
2	29/05/2024	scope and tujuan	
3	03/05/2024	Gambar IPCT	
4	06/05/2024	metodologi penelitian	
5	13/05/2024	mass Balance	
6	28/05/2024	hasil pada Simapro	
7	13/06/2024	Faktor kerusakan karakterisasi	
8	26/06/2024	Saran dan kesimpulan	

Surabaya,
Dosen Pembimbing

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis yang lahir di Surabaya, 14 Februari 2002 yang merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis sudah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Ketabang 1/288 Surabaya, SMPN 19 Surabaya, dan SMA Muhammadiyah 2 Surabaya. Setelah lulus dari SMA Muhammadiyah 2 tahun 2020, penulis mengikuti jalur mandiri dan diterima di Departemen Teknik Lingkungan FTSPK ITS pada tahun 2020 dan terdaftar dengan NRP 5014201084.

Penulis pernah mengikuti kerja praktik di PDAM Surabaya pada tahun 2023-2024 selama 1,5 bulan dengan studi terkait Manajemen k3 pada bagian pemakaian air. Selama masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti berbagai pelatihan baik online maupun offline dan seminar nasional dan internasional juga sudah diikuti dalam rangka untuk pengembangan diri dan penambahan wawasan. Penulis dapat dihubungi pada alamat email: aryadarmana50@gmail.com.