

No. Urut: 164 A/UN7.F3.6.8.TL/DL/X/2024

165 A/UN7.F3.6.8.TL/DL/X/2024

Laporan Tugas Akhir

**PENYUSUNAN LLTT DAN *RE-DESIGN* INSTALASI
PENGOLAHAN LUMPUR TINJA (IPLT) TANGGUNG
REJO, KOTA SEMARANG**



Disusun Oleh:

Siti Mutifah

21080121130090

Redita Hasna Shafia

21080121140171

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

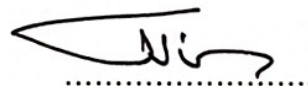
Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Siti Mutifah
NIM : 21080121130090
Jurusan/Departemen : Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Undip
Judul Skripsi : Penyusunan LLTT dan Re-design Instalasi Pengolahan Lumpur
Tinja (IPLT) Tanggung Rejo, Kota Semarang

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Pembimbing I:

Ir. Wiharyanto Oktiawan, S.T., M.T.
197310242000031001



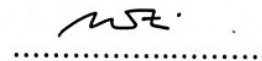
Pembimbing II:

Ir. Ganjar Samudro, S.T., M.T., Ph.D
198201202008011005



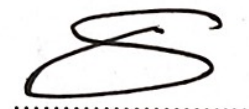
Ketua Penguji:

Dr. Ir. Nurandani Hardyanti, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.
197301302000032001



Anggota Penguji:

Dr. Ing. Ir. Sudarno, S.T., M.Sc
197401311999031003



Semarang, 18 September 2025
Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Undip
Ketua



Prof. Dr. Ir. Badrus Zaman, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.
NIP. 197208302000031001

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Redita Hasna Shafia
NIM : 21080121140171
Jurusan/Departemen : Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Undip
Judul Skripsi : Penyusunan LLTT Dan Re-Design Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (Iplt) Tanggung Rejo, Kota Semarang

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Pembimbing I:

Ir. Ganjar Samudro, S.T., M.T., Ph.D
198201202008011005

.....

Pembimbing II:

Ir. Wiharyanto Oktiawan, S.T., M.T.
197310242000031001

.....

Ketua Penguji:

Dr. Ing. Ir. Sudarno, S.T., M.Sc
197401311999031003

.....

Anggota Penguji:

Dr. Ir. Nurandani Hardyanti, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.
197301302000032001

.....

Semarang, 18 September 2025

Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik
Ketua



Prof. Dr. Ir. Badrus Zaman, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.
NIP. 197206302000051001

ABSTRAK

Penyedotan tangki septik di IPLT Tanggung Rejo dilakukan berdasarkan permintaan konsumen (on-call basis) tanpa jadwal teratur, sehingga volume lumpur tinja yang masuk ke IPLT sering tidak seimbang sesuai Peraturan Wali Kota Semarang Nomor 19 Tahun 2024. Selain itu, IPLT Tanggung Rejo menghadapi berbagai tantangan, termasuk lokasi yang dekat pesisir sehingga rentan terhadap banjir rob yang berdampak negatif pada infrastruktur. Sarana pengolahan seperti unit penyaringan dan pengeringan lumpur juga belum optimal. Untuk mengatasi hal tersebut, direncanakan optimalisasi IPLT Tanggung Rejo melalui penerapan Layanan Lumpur Tinja Terjadwal (LLTT), perencanaan Detail Engineering Design, dan penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Zona pelayanan LLTT dirancang dalam radius 4,5 km dari lokasi IPLT. Selain itu, peningkatan kapasitas IPLT direncanakan mencapai 150,40 m³/hari dengan tiga unit truk tinja yang beroperasi tiga ritase per hari dengan kapasitas 4 m³ per ritase. Optimalisasi meliputi rehabilitasi bak pengumpul dan bar screen, penambahan grease trap, perbaikan Solid Separation Chamber (SSC) serta penambahan area pengeringan lumpur, rehabilitasi kolam stabilisasi anaerobik dan fakultatif, konversi kolam maturasi menjadi kolam aerasi, pembangunan fasilitas desinfeksi dan bak indikator, serta rehabilitasi Sludge Drying Bed. Total biaya konstruksi yang dibutuhkan untuk optimalisasi IPLT Tanggung Rejo diperkirakan sebesar Rp12.057.880.516,00.

Kata Kunci : IPLT Tanggung Rejo, Layanan Lumpur Tinja Terjadwal (LLTT), Kota Semarang, Optimalisasi

ABSTRACT

Septic tank desludging at the Tanggung Rejo Wastewater Treatment Plant (IPLT Tanggung Rejo) is carried out based on consumer demand (on-call basis) without a regular schedule, so the volume of fecal sludge entering the IPLT is often unbalanced according to Semarang Mayor Regulation Number 19 of 2024. In addition, the Tanggung Rejo IPLT faces various challenges, including its location near the coast, making it vulnerable to tidal flooding, which negatively impacts infrastructure. Processing facilities such as filtering and sludge drying units are also not optimal. To address this, optimization of the Tanggung Rejo IPLT is planned through the implementation of Layanan Lumpur Tinja Terjadwal (LLTT), Detailed Engineering Design planning, and preparation of a Cost Budget Plan (RAB). The LLTT service zone is designed within 4,5 km radius of the IPLT location. In addition, the IPLT capacity is planned to increase to 150,40 m³/day with three sludge trucks operating three trips per day with a capacity of 4 m³ per trip. Optimization includes rehabilitation of collection tanks and bar screens, addition of grease traps, improvement of the Solid Separation Chamber (SSC) and addition of sludge drying areas, rehabilitation of anaerobic and facultative stabilization ponds, conversion of maturation ponds into aeration ponds, construction of disinfection facilities and indicator tanks, and rehabilitation of the Sludge Drying Bed. The total construction cost required for optimization of the Tanggung Rejo Wastewater Treatment Plant is estimated at Rp12.057.880.516,00.

Keywords : Fecal Sludge Treatment Plant Tanggung Rejo, Layanan Lumpur Tinja Terjadwal (LLTT), Semarang City, Optimization

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Semarang, sebagai ibu kota Provinsi Jawa Tengah, memiliki luas wilayah sebesar 373,78 km² dengan jumlah penduduk 1.694,74 ribu jiwa pada tahun 2024 (BPS, 2023). Dengan kepadatan penduduk yang mencapai 4.534 jiwa/km², pertumbuhan penduduk yang pesat membawa dampak negatif, khususnya terhadap kualitas lingkungan. Salah satu dampaknya adalah peningkatan volume air limbah domestik, yang menjadi tantangan serius bagi pengelolaan lingkungan di Kota Semarang.

Air limbah domestik di Kota Semarang terdiri dari air hitam (limbah toilet) dan air kelabu (limbah dapur, kamar mandi, dan mencuci). Air hitam biasanya dikelola melalui tangki septik, sementara air kelabu dialirkan ke saluran pembuangan atau sungai (Crisye et al., 2020). Meskipun tangki septik populer karena hemat lahan, mudah dipasang, dan murah, sistem ini sering kali tidak memenuhi standar pemeliharaan Badan Standarisasi Nasional (BSN). Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), 83% tangki septik di Indonesia bocor dan tidak memenuhi standar, sehingga berpotensi mencemari air tanah dengan mikroba dan zat organik yang berbahaya jika digunakan sebagai air minum.

Di Kota Semarang, sistem pengelolaan air limbah domestik terbagi menjadi Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T) dan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Setempat (SPALD-S). Tangki septik merupakan bagian dari SPALD-S, yang dilanjutkan dengan pengangkutan dan pengolahan lumpur tinja di Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT). Berdasarkan Peraturan Wali Kota Semarang Nomor 19 Tahun 2024 tentang Rencana Induk Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, IPLT Tanggung Rejo memiliki kapasitas pengolahan sebesar 62,6 m³/hari. Namun, hanya 19.965 jiwa atau sekitar 3.993 keluarga yang terlayani, jauh dari total jumlah penduduk Kota Semarang. Keterbatasan sosialisasi dan biaya menjadi alasan utama banyaknya rumah tangga

yang belum memiliki akses rutin ke layanan ini. Dalam praktiknya, penyedotan tangki septik hanya dilakukan berdasarkan permintaan konsumen (on-call basis), tanpa jadwal yang teratur, sehingga volume lumpur tinja yang masuk ke IPLT sering kali tidak seimbang.

Selain itu, infrastruktur IPLT Tanggung Rejo menghadapi sejumlah tantangan. Lokasi IPLT yang berada di dekat pesisir rentan terhadap banjir rob, yang berdampak buruk pada infrastruktur. Sarana pengolahan seperti unit penyaringan dan pengeringan lumpur belum optimal. Unit pengeringan lumpur, misalnya, tidak dilengkapi atap, sehingga efisiensinya terganggu. Unit *sludge drying bed* (SDB) dan *solid separation chamber* (SSC) juga belum sesuai standar operasional prosedur (SOP) karena kurangnya pasir dan kerikil. Jalan masuk IPLT yang hanya selebar 4 meter menyulitkan pertemuan truk, menghambat operasional. Selain itu, IPLT Tanggung Rejo saat ini mengalami masalah *over capacity*, dengan volume lumpur tinja yang diterima sering kali melebihi kapasitas pengolahan yang tersedia, sehingga mengurangi efektivitas proses pengolahan.

Berangkat dari dua tantangan utama ini — pencemaran akibat tangki septik tidak standar dan keterbatasan kapasitas IPLT — diperlukan solusi terintegrasi. Salah satunya adalah implementasi Layanan Lumpur Tinja Terjadwal (LLTT) sesuai Peraturan Pemerintah No. 02 Tahun 2018 tentang Standar Pelayanan Minimal (SPM). LLTT diharapkan dapat meningkatkan keteraturan pengangkutan lumpur tinja, sehingga pengelolaan lebih efektif dan kapasitas IPLT dapat dimanfaatkan secara maksimal. Selain itu, diperlukan *review design* terhadap IPLT Tanggung Rejo untuk memastikan infrastruktur sesuai dengan kebutuhan saat ini, seperti peningkatan kapasitas, penambahan unit penyaringan yang optimal, serta perbaikan unit pengeringan lumpur dengan penambahan atap. Optimalisasi jalan masuk juga menjadi prioritas untuk memperlancar operasional pengangkutan lumpur tinja.

Penyusunan LLTT dan *review design* IPLT Tanggung Rejo merupakan langkah strategis untuk mengatasi permasalahan air limbah di Kota Semarang, sekaligus meningkatkan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat.

1.2 Identifikasi Masalah

Mengacu pada latar belakang yang telah dijelaskan, maka perumusan identifikasi masalah dalam tugas akhir ini dapat disampaikan sebagai berikut:

1. Layanan lumpur tinja terjadwal pada sistem pengelolaan air limbah domestik setempat (SPALD-S) belum tersedia.
2. Volume lumpur tinja yang diterima IPLT Tanggung Rejo tidak merata atau tidak sesuai kapasitas.
3. IPLT Tanggung Rejo belum beroperasi secara maksimal, ditandai dengan adanya penumpukan endapan pada tiap unit pengolahan.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam perencanaan ini adalah:

1. Bagaimana program layanan lumpur tinja terjadwal dalam sistem pengelolaan air limbah domestik (SPALD) Kota Semarang?
2. Bagaimana rancangan Detail Engineering Design (DED) dari optimalisasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Tanggung Rejo, Kota Semarang?
3. Bagaimana perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) terhadap perkiraan biaya pembangunan optimalisasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Semarang?

1.4 Rumusan Tujuan

Tujuan dari perencanaan ini adalah:

1. Menyusun Layanan Lumpur Tinja Terjadwal (LLTT) Kota Semarang
2. Merancang Detail Engineering Desain (DED) optimalisasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Semarang
3. Menyusun Rencana Anggaran Biaya (RAB) dari optimalisasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Semarang.

1.5 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada tugas akhir ini dilakukan agar perencanaan bisa berfokus pada bahasan tertentu sehingga tidak keluar dari ranah bahasan. Adapun pembatasan masalah pada perencanaan ini dibagi ke dalam tiga ruang lingkup sebagai berikut:

1.5.1 Ruang Lingkup Kajian

Penyusunan program LLTT dan *re-design* IPLT Tanggung Rejo berfokus untuk mengkaji hal-hal berikut:

- Untuk kajian perencanaan layanan lumpur tinja terjadwal meliputi: identifikasi sistem pengelolaan air limbah domestik setempat di Kota Semarang yang terdiri dari 5 aspek meliputi pengaturan, keuangan, kelembagaan, teknis, dan peran serta masyarakat
- Untuk kajian kondisi wilayah perencanaan dan kondisi eksisting sistem pengelolaan setempat meliputi: kondisi fisik, kondisi sanitasi dan sistem pengelolaan setempat, daerah layanan, analisis pengguna, dan sistem pengangkutan lumpur tinja yang ada di wilayah perencanaan
- Untuk kajian bangunan pengolahannya meliputi: pembaharuan instalasi pengolahan lumpur tinja, gambar bangunan pengolahannya, teknis operasional dan pemeliharaan, dan rancangan anggaran biaya (RAB)

1.5.2 Ruang Lingkup Wilayah

Ruang lingkup wilayah penyusunan layanan lumpur tinja terjadwal dan *re-design* instalasi pengolahan lumpur tinja (IPLT) Tanggung Rejo adalah wilayah Kota Semarang.

1.5.3 Ruang Lingkup Kegiatan

Ruang lingkup kegiatan penyusunan layanan lumpur tinja terjadwal dan *re-design* instalasi pengolahan lumpur tinja (IPLT) sebagai berikut:

- Pengumpulan data primer dan sekunder dengan melakukan observasi secara langsung, wawancara dan diskusi dengan masyarakat dan petugas dari instansi terkait, dan studi literatur
- Merencanakan program layanan lumpur tinja terjadwal (LLTT) yang diperlukan sesuai dengan karakteristik air limbah dan calon pelanggan
- Menganalisis Detail Engineering Design (DED) unit pengolahan lumpur tinja Tanggung Rejo sesuai dengan kriteria desain unit pengolahan lumpur tinja
- Menganalisis estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang diperlukan untuk pembangunan, pengoperasian, dan pemeliharaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Tanggung Rejo

1.6 Rumusan Manfaat

Diharapkan perencanaan ini dapat memberikan manfaat, antara lain:

1. Bagi Penulis

Untuk menambah wawasan dan ilmu pengetahuan tentang perencanaan sistem Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja, serta sarana bagi penulis untuk mengaplikasikan ilmu pengetahuan yang telah didapat dari perkuliahan.

2. Bagi Kota Semarang

Sebagai referensi dan pertimbangan dalam membangun LLTT dan sistem Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja, diharapkan sistem ini dapat menjadi solusi untuk permasalahan sanitasi yang ada serta berkontribusi dalam meningkatkan kualitas lingkungan yang bersih dan estetis.

3. Bagi Masyarakat

Untuk memberikan panduan terkait layanan lumpur tinja terjadwal dan strategi pembangunan sistem Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja serta mendorong pola pikir mandiri di masyarakat dalam meningkatkan kualitas lingkungan yang sehat dan estetis.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS. (2023). Kota Semarang Dalam Angka 2023. *Kota Semarang Dalam Rangka Municipality in Figures*. 51. 358.
- Crisye. F.. & dkk. (2020). *Perencanaan Sistem Jaringan Pengolahan Air Limbah Domestik Di Kelurahan*. 8(3).
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. (2017). *Buku A Panduan Perhitungan Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. (2017). *Buku E Panduan Perencanaan Pelayanan Lumpur Tinja*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Firdaus. M. D. (2023). *Evaluasi Kinerja dan Rencana Perbaikan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Sumur Batu. Kota Bekasi. Jawa Barat* (Doctoral dissertation. Universitas Islam Indonesia).
- Goodier. J. (2016). Dictionary of environmental engineering and wastewater management. In *Reference Reviews* (Vol. 30. Issue 8). <https://doi.org/10.1108/rr-07-2016-0181>
- Haerani. Rosita. & Ardiatma. Dodi. (2022). Studi Pengolahan Lumpur Tinja di Balai Pialam Yogyakarta. *Sains dan Teknologi Vol.1 No.1*.
- Heins. (1998). *Solids Separation and Pond Systems Treatment of Faecal Sludges In the Tropics Lessons Learnt and Recommendations for Preliminary Design Second Edition*. www.sandec.ch
- Kirana. S.. & Mawangi. I. (2021). *Kajian Risiko Proses Pengolahan Lumpur Tinja Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) (Studi Kasus : Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Kota Batu)*. 10(2).
- Lazarova, V., & dkk. (2013). Ozone Disinfection: Main Parameters for Process Design in Wastewater Treatment and Reuse. *Journal of Water Reuse and Desalination* 03(4). Doi: 10.2166/wrd.2013.007
- Lase. T.. Rachmawati. L.. & Utomo. I. (2023). *Buku Saku Layanan Lumpur Tinja Terjadwal*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

- Lisieux. T.. & Herumurti. W. (2020). ALTERNATIF REVITALISASI INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR TINJA (IPLT) SUPIT URANG KOTA MALANG. *Jurnal Purifikasi*. Vol.20. 40-53.
- Lukman. R. R.. Pratiwi. Y. E.. & Rosdiana. R. (2021). Evaluasi Teknik Operasional dari Kinerja Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja di Kota Kendari. *Jurnal TELUK: Teknik Lingkungan UM Kendari*. 1(1). 1-7.
- Mara, Duncan. (2003). *Domestic Water Treatment in Developing Countries*.
- Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 4/PRT/M/2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik*. Jakarta : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Oktarina. D.. & Haki. H. (2013). PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR TINJA SISTEM KOLAM PALEMBANG (STUDI KASUS: IPLT SUKAWINATAN). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan Vol.1. No.1*.
- Ong. S. K. (2007). Wastewater Engineering. In *Environmentally Conscious Materials and Chemicals Processing*. <https://doi.org/10.1002/9780470168219.ch8>
- Qasim, S. R., & Zhu, G. (2017). *Wastewater treatment and reuse, theory and design examples, volume 1: Principles and basic treatment*. CRC press.
- Ratnayaka. D. D. Brandt. M. J.. & Johnson. K. M. (2009). Water Supply. In *Water Supply*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-6843-9.X0001-7>
- Saputra. O. A.. Nauqinida. M.. Kurnia. Pujiasih. S.. Kusumaningsih. T.. & Pramono. E. (2021). Improvement of anionic and cationic dyes removal in aqueous solution by Indonesian agro-waste oil palm empty fruit bunches through silylation approach. *Groundwater for Sustainable Development*. 13. 100570. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100570>
- Surakarta. U. M.. Yani. J. A.. Kartasura. K.. & Tengah. J. (2022). *Seminar Nasional Keinsinyuran (SNIP) Mengenal Lebih Jauh tentang IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) Komunal di Kabupaten Lampung Timur*. 2(1).

- Tchobanoglous, G., Burton, F., & Stensel, H. D. (2014). *Wastewater engineering: treatment and reuse*. American Water Works Association. *Journal*, 95(5), 201.
- Von Sperling, M. (2007). *Waste stabilisation ponds*. IWA publishing.
- Wulandari, D. (2018). *Pemisahan Padatan Lumpur Tinja pada Unit Solid Separation Chamber (SSC)* (Skripsi). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Yulaswati. V.. & Nugroho. Y. (2023). *Metadata Indikator Tujuan Pembangunan Berkelanjutan Edisi II*. Jakarta: Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.

PENYUSUNAN LLTT DAN *RE-DESIGN* INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR TINJA (IPLT) TANGGUNG REJO, KOTA SEMARANG

Siti Mutifah*, Redita Hasna Shafia*

Ir. Wiharyanto Oktiawan, S.T., M.T.*, Ir. Ganjar Samudro, S.T., M.T., Ph.D.

*Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Jl. Prof. H. Sudarto,
SH Tembalang, Semarang, Indonesia, 50275
Email: mutifahs@outlook.com & reditahs@gmail.com

Abstrak

Penyedotan tangki septik di IPLT Tanggung Rejo dilakukan berdasarkan permintaan konsumen (on-call basis) tanpa jadwal teratur, sehingga volume lumpur tinja yang masuk ke IPLT sering tidak seimbang sesuai Peraturan Wali Kota Semarang Nomor 19 Tahun 2024. Selain itu, IPLT Tanggung Rejo menghadapi berbagai tantangan, termasuk lokasi yang dekat pesisir sehingga rentan terhadap banjir rob yang berdampak negatif pada infrastruktur. Sarana pengolahan seperti unit penyaringan dan pengeringan lumpur juga belum optimal. Untuk mengatasi hal tersebut, direncanakan optimalisasi IPLT Tanggung Rejo melalui penerapan Layanan Lumpur Tinja Terjadwal (LLTT), perencanaan Detail Engineering Design, dan penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Zona pelayanan LLTT dirancang dalam radius 4,5 km dari lokasi IPLT. Selain itu, peningkatan kapasitas IPLT direncanakan mencapai 150,40 m³/hari dengan tiga unit truk tinja yang beroperasi tiga ritase per hari dengan kapasitas 4 m³ per ritase. Optimalisasi meliputi rehabilitasi bak pengumpul dan bar screen, penambahan grease trap, perbaikan Solid Separation Chamber (SSC) serta penambahan area pengeringan lumpur, rehabilitasi kolam stabilisasi anaerobik dan fakultatif, konversi kolam maturasi menjadi kolam aerasi, pembangunan fasilitas desinfeksi dan bak indikator, serta rehabilitasi Sludge Drying Bed. Total biaya konstruksi yang dibutuhkan untuk optimalisasi IPLT Tanggung Rejo diperkirakan sebesar Rp12.057.880.516,00.

Kata Kunci : IPLT Tanggung Rejo, Layanan Lumpur Tinja Terjadwal (LLTT), Kota Semarang, Optimalisasi

Abstract

Septic tank desludging at the Tanggung Rejo Wastewater Treatment Plant (IPLT Tanggung Rejo) is carried out based on consumer demand (on-call basis) without a regular schedule, so the volume of fecal sludge entering the IPLT is often unbalanced according to Semarang Mayor Regulation Number 19 of 2024. In addition, the Tanggung Rejo IPLT faces various challenges, including its location near the coast, making it vulnerable to tidal flooding, which negatively impacts infrastructure. Processing facilities such as filtering and sludge drying units are also not optimal. To address this, optimization of the Tanggung Rejo IPLT is planned through the implementation of Layanan Lumpur Tinja Terjadwal (LLTT), Detailed Engineering Design planning, and preparation of a Cost Budget Plan (RAB). The LLTT service zone is designed within 4,5 km radius of the IPLT location. In addition, the IPLT capacity is planned to increase to 150,40 m³/day with three sludge trucks operating three trips per day with a capacity of 4 m³ per trip. Optimization includes rehabilitation of collection tanks and bar screens, addition of grease traps, improvement of the Solid Separation Chamber (SSC) and addition of sludge drying areas, rehabilitation of anaerobic and facultative stabilization ponds, conversion of maturation ponds into aeration ponds, construction of disinfection facilities and indicator tanks, and rehabilitation of the Sludge Drying Bed. The total construction cost required for optimization of the Tanggung Rejo Wastewater Treatment Plant is estimated at Rp12.057.880.516,00.

Keywords : *Fecal Sludge Treatment Plant Tanggung Rejo, Layanan Lumpur Tinja Terjadwal (LLTT), Semarang City, Optimization*

PENDAHULUAN

Di Kota Semarang, sistem pengelolaan air limbah domestik terbagi menjadi Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T) dan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Setempat (SPALD-S). Tangki septik merupakan bagian dari SPALD-S, yang dilanjutkan dengan pengangkutan dan pengolahan lumpur tinja di Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT). Berdasarkan Peraturan Wali Kota Semarang Nomor 19 Tahun 2024 tentang Rencana Induk Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, IPLT Tanggung Rejo memiliki kapasitas pengolahan sebesar 62,6 m³/hari. Namun, hanya 19.965 jiwa atau sekitar 3.993 keluarga yang terlayani, jauh dari total jumlah penduduk Kota Semarang. Keterbatasan sosialisasi dan biaya menjadi alasan utama banyaknya rumah tangga yang belum memiliki akses rutin ke layanan ini. Dalam praktiknya, penyedotan tangki septik hanya dilakukan berdasarkan permintaan konsumen (on-call basis), tanpa jadwal yang teratur, sehingga volume lumpur tinja yang masuk ke IPLT sering kali tidak seimbang.

Selain itu, infrastruktur IPLT Tanggung Rejo menghadapi sejumlah tantangan. Lokasi IPLT yang berada di dekat pesisir rentan terhadap banjir rob, yang berdampak buruk pada infrastruktur. Sarana pengolahan seperti unit penyaringan dan pengeringan lumpur belum optimal. Unit pengeringan lumpur, misalnya, tidak dilengkapi atap, sehingga efisiensinya terganggu. Unit sludge drying bed (SDB) dan solid separation chamber (SSC) juga belum sesuai standar operasional prosedur (SOP) karena kurangnya pasir dan kerikil. Jalan masuk IPLT yang hanya selebar 4 meter menyulitkan pertemuan truk,

menghambat operasional. Selain itu, IPLT Tanggung Rejo saat ini mengalami masalah over capacity, dengan volume lumpur tinja yang diterima sering kali melebihi kapasitas pengolahan yang tersedia, sehingga mengurangi efektivitas proses pengolahan.

Berangkat dari dua tantangan utama ini — pencemaran akibat tangki septik tidak standar dan keterbatasan kapasitas IPLT — diperlukan solusi terintegrasi. Salah satunya adalah implementasi Layanan Lumpur Tinja Terjadwal (LLTT) sesuai Peraturan Pemerintah No. 02 Tahun 2018 tentang Standar Pelayanan Minimal (SPM). LLTT diharapkan dapat meningkatkan keteraturan pengangkutan lumpur tinja, sehingga pengelolaan lebih efektif dan kapasitas IPLT dapat dimanfaatkan secara maksimal. Selain itu, diperlukan review design terhadap IPLT Tanggung Rejo untuk memastikan infrastruktur sesuai dengan kebutuhan saat ini, seperti peningkatan kapasitas, penambahan unit penyaringan yang optimal, serta perbaikan unit pengeringan lumpur dengan penambahan atap. Optimalisasi jalan masuk juga menjadi prioritas untuk memperlancar operasional pengangkutan lumpur tinja.

Penyusunan LLTT dan review design IPLT Tanggung Rejo merupakan langkah strategis untuk mengatasi permasalahan air limbah di Kota Semarang, sekaligus meningkatkan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat.

METODOLOGI

Laporan tugas akhir terdiri dari data dan informasi yang didasarkan pada fakta. Metode pengumpulan data dibagi menjadi dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder.

a. Data Primer

Data primer dalam tugas akhir ini dikumpulkan melalui pengamatan langsung dan survei lapangan guna mengetahui kondisi eksisting IPLT Tanggung Rejo serta profil calon pelanggan. Informasi mengenai karakteristik lumpur tinja diperoleh melalui pengambilan sampel dari tangki septik calon pelanggan di wilayah perencanaan. Hasil pengumpulan data primer berupa karakteristik lumpur tinja dan data calon pelanggan selanjutnya diolah untuk meningkatkan validitas, sehingga dapat mendukung pencapaian tujuan perencanaan layanan LLTT serta optimalisasi bangunan IPLT Tanggung Rejo.

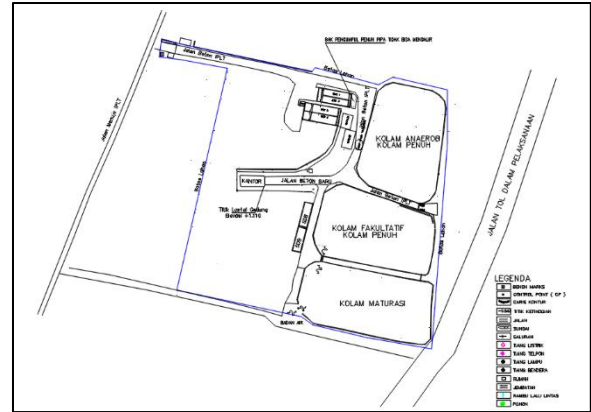
b. Data Sekunder

Data sekunder meliputi dokumen, referensi, serta laporan terdahulu yang relevan dengan topik tugas akhir ini dan berperan sebagai pelengkap data primer. Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan membaca, menyalin, dan mempelajari berbagai literatur yang berkaitan dengan pembahasan tugas akhir. Pengumpulan data dilakukan dengan survei Instansional dan Literatur

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Kondisi Eksisting IPLT Tanggung Rejo

IPLT Tanggung Rejo telah memiliki seluruh unit pengolahan yang sesuai dengan standar yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 04/PRT/M/2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik. Denah unit IPLT Tanggung Rejo, Kota Semarang dapat dilihat pada gambar berikut.



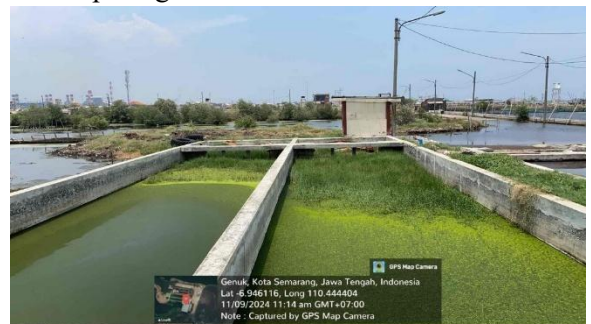
Gambar 1. Site Plan IPLT Tanggung Rejo

1. Unit-Unit Pengolahan

Unit *Solid Separation Chamber*

Prinsip kerja SSC adalah memisahkan padatan dan cairan berdasarkan perbedaan densitas, namun saat ini bak SSC tidak berfungsi karena kerusakan pipa outlet yang menghambat aliran ke kolam anaerobik sehingga bak penuh.

Unit SSC pada IPLT Tanggung Rejo memiliki 4 (empat) bangunan. Bangunan SSC 1 tersebut memiliki dimensi panjang 16,1 m, lebar 3,8 m, kedalaman 1,85 m. Bangunan SSC 2 memiliki dimensi panjang 16,1 m, 4 m, kedalaman 1,85 m. Bangunan SSC 3 memiliki dimensi panjang 15,9 m, lebar 5 m, kedalaman 2,33 m. Bangunan SSC 4 memiliki panjang 15,9 m, lebar 5 m, dan kedalaman 2,33 m. Kondisi eksisting dapat dilihat pada gambar.



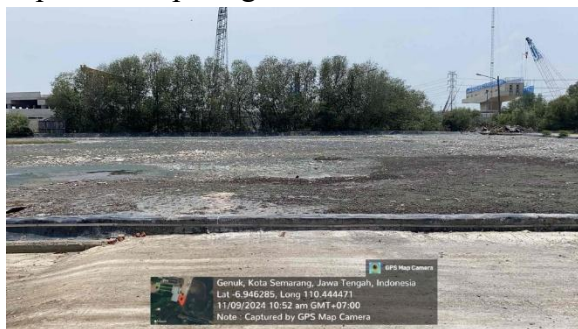
Gambar 2. *Solid Separation Chamber* IPLT
Tanggung Rejo

Kolam Anaerobik

Kolam anaerobik di IPLT Tanggung Rejo merupakan unit pengolahan pertama setelah bak SSC, namun tidak berfungsi karena

kerusakan pipa outlet SSC sehingga kolam ini menerima lumpur tinja langsung dari truk, dan akibat kerusakan pipa penghubung ke kolam fakultatif, perpindahan lumpur tinja harus menggunakan excavator.

Panjang dan lebar total pada bagian atas bak adalah 67,40 m dan 48,60 m. Ketebalan dinding pada kolam ini adalah 0,30 m, sehingga panjang dan lebar basah pada bagian atas adalah 67,10 m dan 48,30 m. Pada bak ini terdapat dua kemiringan yaitu dari sisi panjang dan sisi lebar dengan persentase kemiringan sebesar 51,34°. Sedangkan untuk kedalaman basahnya sedalam 2,5 m. Kondisi eksisting kolam anaerobik dapat dilihat pada gambar.



Gambar 3. Kolam Anaerobik IPLT Tanggung Rejo

Kolam Fakultatif

Kolam fakultatif di IPLT Tanggung Rejo seharusnya berfungsi sebagai tahap kedua setelah kolam anaerobik, namun saat ini tidak beroperasi karena tidak ada aliran masuk. Berdasarkan keterangan operator, kolam hanya berisi lumpur yang mengendap dan mengering alami oleh sinar matahari. Kondisi di lapangan menunjukkan adanya lapisan lumpur yang mengeras di permukaan, tumpukan sampah di tepi kolam, serta geotekstil yang sobek/lepas. Kolam ini sebenarnya dilengkapi pipa outlet di sisi selatan yang mengarah ke kolam maturasi.

Panjang dan lebar total pada bagian atas bak adalah 71,80 m dan 42,40 m. Ketebalan dinding pada kolam ini adalah 0,30 m, sehingga panjang dan lebar basah pada bagian atas adalah 71,20 m dan 41,80 m. Pada bak ini terdapat dua kemiringan yaitu dari sisi panjang dan sisi lebar dengan persentase kemiringan sebesar 42,3° dan 19,64°. Kolam ini memiliki kedalaman total 2,08 m. Sedangkan untuk kedalaman basahnya adalah 1,82 m. Kondisi eksisting dapat dilihat pada gambar.



Gambar 4. Kolam Fakultatif IPLT Tanggung Rejo

Kolam Maturasi

Kolam maturasi di IPLT Tanggung Rejo sebagai unit akhir pengolahan cairan tidak berfungsi optimal karena tidak ada aliran masuk. Kolam hanya berisi lumpur yang mengering dengan sinar matahari, masih terdapat scum, dan tidak tampak warna kehijauan yang menandakan kondisi aerobik kurang mendukung pertumbuhan alga.

Panjang dan lebar total bak ini adalah 80,1 m dan 34,6 m dengan ketebalan dinding senilai 0,3 m, sehingga panjang dan lebar basah pada bagian atas bak adalah 79,5 m dan 34 m. Pada bak ini terdapat dua kemiringan yaitu dari sisi panjang dan sisi lebar dengan persentase kemiringan sebesar 42,3° dan 19,64°. Untuk panjang dan lebar basah pada bagian bawah bak adalah 75,5 m dan 27,9 m. Kolam ini memiliki kedalaman total sedalam

1,60 m. Sedangkan untuk kedalaman basahnya sedalam 1,25 m. Kondisi eksisting kolam dapat dilihat pada gambar.



Gambar 5. Kolam Maturasi IPLT Tanggung Rejo

Sludge Drying Bed (SDB)

Sludge Drying Bed (SDB) di IPLT Tanggung Rejo berjumlah dua unit, namun keduanya tidak berfungsi optimal karena *overload* dan dindingnya rusak. Akses menuju SDB juga terhambat banjir rob sehingga hanya bisa dijangkau dengan excavator.

Kedua kolam SDB memiliki panjang dan lebar total senilai 31,03 meter dan 5,43 meter. Di tengah kedua bak pada unit ini terdapat dinding sekat dengan ketebalan 1,11 meter. Panjang dan lebar pada masing-masing bak adalah 14,77 meter dan 4,83 meter. Ketebalan dinding unit ini adalah 0,3 meter, sehingga panjang dan lebar basahnya adalah 14,17 meter dan 7,23 meter. Kondisi eksisting SDB dapat dilihat pada gambar.



Gambar 6. Sludge Drying Bed IPLT Tanggung Rejo

2. Karakteristik Effluen

Berdasarkan uji laboratorium pada sampel effluen IPLT Tanggung Rejo telah diambil dan dilakukan uji karakteristik di Laboratorium Teknik Lingkungan, hampir semua parameter belum memenuhi baku mutu air limbah domestik berdasarkan PermenLHK No.68 Tahun 2016. Untuk melihat perbandingan effluen IPLT Tanggung Rejo dengan baku mutu dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Perbandingan Effluen IPLT Tanggung Rejo dan Baku Mutu

Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu*	Keterangan
Biological Oxygen Demand (BOD)	mg/l	16,55	30	Tidak Memenuhi
Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/l	1,315	100	Tidak Memenuhi
Total Suspended Solid (TSS)	mg/l	3,1	30	Memenuhi
Ammonia	mg/l	29,31	10	Tidak Memenuhi
pH	-	7,32	6-9	Memenuhi
Minyak dan Lemak	mg/l	1	5	Memenuhi
Total Coliform	Jumlah/100 ml	225	3000	Memenuhi

3. Kapasitas Pengolahan

Kapasitas terpasang pada IPLT Tanggung Rejo dinilai sudah tidak mampu menampung timbunan lumpur tinja . Berikut contoh perhitungan kapasitas eksisting untuk salah satu unit pengolahan IPLT Tanggung Rejo yaitu kolam Anaerobik.

$$V_{kolam\ anaerobik} = 4.740,20\ m^3$$

Berdasarkan Tchobanoglous et al. (2014), waktu detensi dari kolam anaerobik adalah 5-20 hari. Apabila diambil kolam anaerobik pada IPLT Tanggung Rejo dengan waktu detensi 203 hari. Maka, didapatkan kapasitas pada kolam anaerobik sebagai berikut:

$$Q = \frac{V}{Td} = \frac{4.740,20\ m^3}{75\ hari} = 63,20\ m^3/hari$$

Kapasitas terpasang IPLT Tanggung Rejo ditentukan dari unit pengolahan dengan kapasitas terkecil, yaitu sekitar 62,60 m³/hari.

Perlu dilakukan optimalisasi terhadap unit pengolahan yang ada pada IPLT Tanggung Rejo agar dapat menampung timbunan lumpur tinja yang naik setiap tahunnya.

4. Sarana dan Prasarana

Prasarana dan sarana pendukung IPLT Tanggung Rejo masih berfungsi cukup baik namun belum dimanfaatkan secara optimal, dan beberapa fasilitas belum tersedia sesuai ketentuan Permen PUPR No. 04 Tahun 2017. Prasarana dan sarana pendukung dan evaluasi IPLT dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Ketersediaan Sarana dan Prasarana Pendukung IPLT Tanggung Rejo

No.	Sarana/Prasarana	Kondisi Eksisting
1.	Platform (<i>dumping station</i>)	Ada
2.	Kantor	Ada
3.	Gudang dan bengkel kerja	Tidak ada
4.	Laboratorium	Tidak ada
5.	Infrastruktur jalan	Ada
6.	Sumur pantau	Tidak ada
7.	Fasilitas air bersih	Ada
8.	Alat pemeliharaan	Ada
9.	Peralatan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)	Tidak ada
10.	Pos jaga	Ada
11.	Pagar pembatas	Tidak ada
12.	Pipa pembuangan	Ada
13.	Tanaman penyangga	Tidak ada
14.	Sumber energi listrik	Ada

Metode Layanan Lumpur Tinja di Kota Semarang

Pelayanan lumpur tinja di Kota Semarang menggunakan sistem panggilan dengan tarif Rp185.000 per meter kubik. Jam operasional dari Senin-Kamis pukul 08.00-16.00 WIB dan Jumat-Minggu pukul 08.00-14.00 WIB. Informasi dan pemesanan dapat diakses melalui Instagram Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman. Debit rata-rata lumpur tinja yang masuk ke IPLT Tanggung Rejo adalah 63 m³/hari sesuai Perwal Kota Semarang Nomor 19 Tahun 2024.

Penyusunan Layanan Lumpur Tinja Terjadwal (LLTT)

1. Penilaian Kesiapan Kota

Untuk menilai tingkat kesiapan, dilakukan observasi terhadap sejumlah kriteria utama yang wajib dipenuhi oleh sebuah kota agar dapat mengimplementasikan Program LLTT.

Tabel 3. Penilaian Kesiapan LLTT Kota Semarang

No	Kriteria	Nilai
1	Apakah sudah ada Regulasi Air Limbah, khususnya yang mengatur tangki septik dan pengurannya?	100
2	Bentuk kelembagaan pengelola IPLT	30
3	Jumlah truk tinja yang dimiliki pengelola dan dalam kondisi operasional yang baik	50
4	Ketersediaan pendataan tentang sistem pengelolaan air limbah setempat	5
5	Kondisi bangunan dan operasional IPLT	45
6	Keberadaan perusahaan layanan sedot swasta	50
7	Alokasi biaya untuk operasional pemeliharaan truk tinja dan IPLT	50
8	Peraturan perijinan usaha sedot tinja	30
9	Kegiatan kampanye sanitasi, mengenai air limbah (khususnya)	30
Jumlah		390

Hasil telah memperoleh skor penilaian sebesar 390 atau setara dengan 78%, menempatkan kota ini dalam kategori “Baik”. Berdasarkan hasil penilaian ini, Kota Semarang dinyatakan “layak” untuk menjalankan program LLTT.

2. Aspek Pola Operasi atau Teknis

Tahap awal penerapan LLTT di IPLT Tanggung Rejo adalah menentukan skala operasional, meliputi estimasi pelanggan, frekuensi penyedotan, armada truk, dan kapasitas pengolahan. Estimasi dihitung dari data sekunder dan disesuaikan dengan pedoman IUWASH PLUS (2016).

Dalam perencanaan ini, cakupan layanan IPLT Tanggung Rejo ditentukan berdasarkan radius maksimal 4,5 km. Wilayah tersebut mencakup 6 kecamatan dan 15 kelurahan, yaitu:

- Kecamatan Genuk: Kelurahan Muktiharjo Lor dan Terboyo Kulon
- Kecamatan Pedurungan: Kelurahan Muktiharjo Kidul

- Kecamatan Gayamsar: Kelurahan Kaligawe, Sawahbesar, dan Tambakrejo
- Kecamatan Semarang Timur: Kelurahan Bugangan, Mlatiharjo, Rejomulyo, Kemijen, dan Mlatibaru
- Kecamatan Semarang Tengah: Kelurahan Purwodinatan
- Kecamatan Semarang Utara: Kelurahan Tanjungmas

Untuk daerah di luar cakupan tersebut, pelayanan dapat dilakukan dengan sistem *on call*. Mengacu pada target Sanitasi Layak Indonesia Emas 2045 (70% pengelolaan lumpur tinja), kontribusi direncanakan 30% dari LLTT dan 40% dari *on call*.

Perencanaan LLTT di Kota Semarang menggunakan pola penyedotan volume tetap 1,5 m³/rumah setiap 3 tahun sesuai peraturan walikota, dengan total target 9.549 rumah (asumsi 5 orang/rumah). Untuk penjadwalan, ditetapkan sistem skor prioritas berdasarkan jarak kelurahan ke IPLT (bobot 40%) dan jumlah penduduk (bobot 60%), yang dinormalisasi pada skala 0–100. Kelurahan dengan skor lebih tinggi dilayani lebih awal, kemudian dibagi menjadi tiga kelompok untuk pelaksanaan pada tahun pertama, kedua, dan ketiga.

Dengan periode penyedotan 3 tahun, target layanan per tahun adalah 3.183 rumah atau sekitar 13 rumah per hari. Hal ini membutuhkan 3 ritase/hari, sesuai dengan ketersediaan armada sebanyak 3 unit truk penyedot.

3. Aspek Pelanggan

Aspek pelanggan dalam LLTT mencakup kriteria kelayakan layanan berdasarkan kondisi ekonomi, kesediaan melakukan penyedotan berkala, dan kemampuan membayar retribusi. Identifikasi dilakukan

melalui survei dan evaluasi persepsi Masyarakat.

Hasil survei menunjukkan rata-rata pendapatan masyarakat Kota Semarang sebesar Rp3.000.000,00/bulan, sedangkan iuran LLTT ditetapkan Rp9.000,00/bulan atau hanya 0,3% dari pendapatan. Besaran tersebut dinilai tidak membebani masyarakat secara signifikan, sehingga secara ekonomi program LLTT layak diterapkan.

Mayoritas masyarakat hanya mengenal jasa penyedotan swasta, sedangkan layanan pemerintah kurang diketahui. Hal ini menunjukkan perlunya sosialisasi lebih efektif agar partisipasi dalam LLTT meningkat.

4. Aspek Kelembagaan

Pengelolaan lumpur tinja di Kota Semarang melibatkan beberapa instansi sesuai tupoksinya. Disperkim bertanggung jawab atas pemantauan, evaluasi, serta perencanaan dan pengembangan infrastruktur, termasuk IPLT Tanggung Rejo. UPTD PAL yang berada dibawah Disperkim berperan sebagai pelaksana operasional IPLT berdasarkan Peraturan Wali Kota Semarang Nomor 25 Tahun 2019, sedangkan Perumda Air Minum Tirta Moedal ditetapkan sebagai operator LLTT melalui Peraturan Wali Kota Nomor 20 Tahun 2024.

Analisis kelembagaan menunjukkan bahwa struktur organisasi pengelolaan lumpur tinja di Kota Semarang belum tersusun secara sistematis, sementara perhitungan teknis yang ada masih memerlukan penyempurnaan. Selain itu, kesiapan sumber daya manusia masih terbatas, dan Perumda Air Minum Tirta Moedal sebagai operator juga belum

sepenuhnya siap dalam melaksanakan program LLTT secara optimal.

5. Aspek Prosedur

LLTT perlu prosedur yang mencakup:

a. Prosedur pengelolaan pelanggan

Prosedur pengelolaan pelanggan LLTT memastikan masyarakat terdata, mendapat informasi jelas, dan terfasilitasi dari pendaftaran hingga penyedotan.

b. Prosedur penyedotan dan pengangkutan

Prosedur penyedotan dan pengangkutan LLTT bertujuan memastikan operasional terjadwal, aman, dan sesuai standar teknis.

c. Prosedur tagihan pelanggan

Prosedur tagihan pelanggan LLTT mendukung keberlanjutan finansial melalui iuran kolektif yang dikumpulkan ketua RW dan disetorkan ke UPTD PAL untuk membiayai operasional LLTT.

d. Prosedur evaluasi kinerja

Evaluasi kinerja LLTT dilakukan UPTD PAL untuk menilai efektivitas, efisiensi, dan kualitas layanan PDAM Tirta Moedal serta menjadi dasar perbaikan kebijakan dan peningkatan kepuasan pelanggan.

6. Aspek Finansial

Setiap penyedotan lumpur tinja dikenai tarif Rp185.000/m³ untuk truk Disperkim dan Rp55.000/m³ atau Rp82.500/tangki untuk truk swasta. Pada tahun 2024 tercatat 1.790 ritasi ke IPLT Tanggung Rejo dengan penerimaan Rp640.390.000. Biaya variabel operasional armada LLTT mencapai Rp83.942/hari atau Rp27.981/ritase (Rp2.152/rumah tangga), sedangkan biaya tetap mencakup gaji, perawatan dan pengadaan truk, serta pajak kendaraan, dengan nilai Rp114.513/ritase atau Rp8.809/rumah tangga.

Selain itu, biaya pengolahan lumpur tinja di IPLT ditetapkan sebesar Rp247.500/ritase. Dengan penambahan margin keuntungan 20%, tarif layanan LLTT ditetapkan Rp9.000/bulan per pelanggan. Analisis NPV menunjukkan program LLTT ini layak dilaksanakan.

7. Aspek Aturan

Tangki septik berstandar teknis penting untuk mendukung LLTT karena berfungsi sebagai pengolahan awal sebelum lumpur tinja diangkut ke IPLT Tanggung Rejo. Verifikasi tangki sesuai aturan, seperti kloset berleher angsa dan volume standar SNI 2398:2017, diperlukan agar penyedotan, pengangkutan, dan pengolahan dapat berjalan aman, efisien, dan ramah lingkungan.

Penetapan tarif layanan juga menjadi aspek penting dalam menjamin keberlanjutan operasional penyedotan dan pengolahan lumpur tinja. Tarif harus ditetapkan secara transparan, proporsional, serta mempertimbangkan kemampuan ekonomi masyarakat. Hal ini sejalan dengan prinsip *polluter pays*, yang menekankan bahwa setiap individu sebagai penghasil limbah bertanggung jawab menanggung sebagian biaya pengelolaannya.

8. Strategi Pelaksanaan LLTT di Kota Semarang

Strategi pengembangan LLTT disusun melalui analisis SWOT dengan meninjau faktor internal dan eksternal. Faktor internal mencakup kekuatan (*strengths*) dan kelemahan (*weaknesses*), sedangkan faktor eksternal meliputi peluang (*opportunities*) dan ancaman (*threats*). Penyusunan strategi diawali dengan evaluasi faktor pendorong

dan penghambat yang diklasifikasikan ke dalam kategori tersebut.

Dari hasil analisis, teridentifikasi 8 faktor kelemahan dan 4 faktor ancaman yang menempatkan LLTT Kota Semarang pada kuadran kelemahan–ancaman. Oleh karena itu, strategi yang dipilih adalah strategi bertahan, yaitu dengan mengoptimalkan kinerja internal dan menjaga keberlanjutan layanan.

Optimalisasi IPLT Tanggung Rejo

1. Cakupan Pelayanan

Menurut Direktorat Jenderal Cipta Karya (2017), terdapat tiga pendekatan perancangan layanan penyedotan lumpur tinja, yakni berdasarkan wilayah, jenis pelanggan, dan jarak tempuh. Dalam perencanaan ini digunakan pendekatan jarak tempuh dengan radius maksimal 4,5 km dari IPLT Tanggung Rejo, disesuaikan dengan kemampuan armada menyelesaikan penyedotan dalam satu hari.

Pertimbangan lain mencakup kondisi fisik dan kelayakan tangki septik, serta pengelompokan wilayah perkotaan dan pedesaan sesuai Peraturan Kepala BPS Nomor 120 Tahun 2020. Dari 177 kelurahan/desa di Kota Semarang, 176 berstatus perkotaan dan hanya satu yang pedesaan, sehingga prioritas cakupan layanan diberikan kepada wilayah perkotaan yang dinilai lebih layak untuk penyedotan lumpur tinja.

2. Karakteristik Lumpur Tinja

Sampel lumpur tinja diambil langsung dari truk saat pembuangan ke bak penampungan, masing-masing 1 liter pada kondisi penuh, setengah, dan seperempat tangki, lalu dicampur merata untuk mewakili karakteristik lumpur tinja Kota Semarang.

Sampel kemudian diuji di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro dengan parameter baku mutu PermenLHK No.68/2016, meliputi BOD, COD, TSS, amonia, pH, minyak dan lemak, serta *Total Coliform*.

Karakteristik influen dari truk tinja menunjukkan nilai lebih rendah dibandingkan IPLT lain maupun studi IUWASH, sehingga tidak direkomendasikan sebagai acuan utama untuk optimalisasi IPLT Tanggung Rejo. Sebagai alternatif, digunakan metode persentil dengan memilih P85 agar perencanaan tetap efisien sekaligus aman, dan metode ini diterapkan pada parameter COD.

Parameter karakteristik lumpur tinja untuk optimalisasi IPLT Tanggung Rejo ditetapkan sebagai berikut: BOD = 4.550 mg/L (33% dari COD), COD = 13.650 mg/L (P85 rentang 6.000–15.000 mg/L), TSS = 18.500 mg/L, Amonia = 29,31 mg/L, pH = 7,32, Minyak & Lemak = 1.850 mg/L, dan Total Coliform = 1.000, dengan sebagian besar nilai diambil dari hasil tertinggi karakteristik kolam dibandingkan literatur Indonesia.

3. Kapasitas Pengolahan

IPLT Tanggung Rejo Kota Semarang saat ini berkapasitas 63,20 m³/hari yang sudah tidak memadai untuk menampung volume lumpur tinja yang terus meningkat, sehingga diperlukan optimalisasi kapasitas secara bertahap dalam 10 tahun ke depan. Proyeksi volume lumpur tinja dihitung dari pertumbuhan penduduk tiap kecamatan menggunakan metode aritmatika, geometri, dan least square dengan acuan data kependudukan 2015–2024, serta mempertimbangkan persentase rumah tangga yang memiliki toilet.

Laju produksi lumpur tinja mengacu pada PermenLHK No. 68/2016 sebesar 0,5 L/orang.hari (setara m³/hari setelah konversi), dengan hasil proyeksi menunjukkan tren peningkatan setiap tahun. Penetapan tingkat pelayanan per kelurahan/desa digunakan untuk menentukan kapasitas pengolahan yang diperlukan, sementara evaluasi dilakukan tahunan agar penyesuaian dapat diterapkan.

4. Rekomendasi Perbaikan Teknis Bak Pengumpul dan Bar Screen

Direncanakan:

- Jumlah truk 1 kali unloading = 1 truk
- Kapasitas truk = 3 m³
- Waktu loading = 5 menit = 300 detik
- $Q_{unloading} = \frac{\text{kapasitas truk} \times \text{jumlah truk}}{\text{waktu unloading}} = \frac{3 \text{ m}^3 \times 1 \text{ truk}}{300 \text{ detik}} = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$
- Kedalaman aliran = 0,1 m
- Tinggi saluran = 0,8 m
- Panjang saluran = 2 m
- Panjang sisi atas = lebar saluran
- Panjang sisi bawah = 2 m (menyesuaikan lebar truk)
- Diameter pipa outlet = 150 mm

Tabel 4. Rekap Dimensi Bak Pengumpul & Bar Screen

Keterangan	Satuan	Nilai
Panjang sisi atas	m	0,45
Panjang sisi bawah	m	2
Lebar bak	m	2,45
Panjang saluran	m	2
Lebar saluran	m	0,45
Kedalaman bak	m	0,8
Jumlah bar screen	batang	7

Grease Trap

Direncanakan:

- Debit = 0,01 m²/s
- Kecepatan aliran = 5 m/jam = 0,083 m/menit = 0,0014 m/s
- Waktu detensi = 10 menit = 600 detik
- Freeboard = 0,5 m
- Lebar grease trap = Panjang sisi bawah bak pengumpul = 2 m
- Diameter pipa (PVC) pasaran = 150 mm = 0,15 m
- Tebal baffle = 0,15 m
- %TSS = 45%
- %BOD = 30%
- %Minyak dan Lemak = 80%

Tabel 5. Rekap Dimensi Grease Trap

Keterangan	Satuan	Nilai
Jumlah kompartemen	buah	2
Panjang total bak	m	4,65
Panjang kompartemen 1	m	3,10
Panjang kompartemen 2	m	1,55
Lebar bak	m	1,55
Kedalaman bak	m	1,54

Solid Separation Chamber

Direncanakan:

- Jumlah bak = 6 bak
- Freeboard = 0,3 m
- Kemiringan = 9°
- Waktu pengisian bak = 3 hari
- Waktu pengeringan cake = 12 hari
- Waktu pengambilan cake = 2 hari
- Ketinggian pasir = 30 cm
- Ketinggian kerikil = 30 cm
- Ketebalan cake = 35 cm = 0,35 m
- Kadar solid = 20%
- Kadar air = 80%
- %Removal BOD = 50%
- %Removal COD = 50%
- %Removal TSS = 80%
- %Removal total coliform = 50%

- Diameter pipa *underdrain* = 114 mm = 0,114 m
- *Surface flow rate* = 0,5 m³/m².jam

Tabel 6. Rekap Dimensi SSC

Keterangan	Satuan	Nilai
Jumlah bak	unit	2
Panjang tiap bak	m	18,06
Lebar tiap bak	m	4,51
Panjang alas	m	9,03
Kedalaman total	m	4,95

Drying Area

Direncanakan:

- Waktu pengisian lumpur = 1 hari
- Waktu pengeringan *cake* = 7 hari
- Waktu pengambilan *cake* = 1 hari
- Ketebalan *cake* = 20 cm = 0,2 m
- Tebal lapisan pasir = 20 cm = 0,2 m
- Tebal lapisan kerikil = 30 cm = 0,3 m
- Rasio P:L = 1:1
- *Freeboard* = 50 cm = 0,5 m

Tabel 7. Rekap Dimensi *Drying Area*

Keterangan	Satuan	Nilai
Panjang	m	23,3
Lebar	m	23,3
Kedalaman total	m	1,2

Kolam Anaerobik

Direncanakan:

- Kedalaman optimalisasi = 3,5 m
- Suhu rerata daerah = 28°C
- %Removal BOD = 85%
- %Removal COD = 75%
- %Removal TSS = 80%
- %Removal Minyak dan Lemak = 80%
- Diameter pipa *inlet* = 150 mm = 0,15 m
- Diameter pipa *outlet* = 150 mm = 0,15 m
- Rasio MLVSS/MLSS = 0,80
- $L_v = 0,35 \text{ kgBOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{hari}$

Tabel 8. Rekap Dimensi Kolam Anaerobik

Keterangan	Satuan	Nilai
Panjang	m	21
Lebar	m	7
Kedalaman total	m	4

Kolam Fakultatif

Direncanakan:

- Kedalaman, $D_f = 2 \text{ m}$
- $T = 28^\circ\text{C}$
- Rasio P:L = 3:2
- %ER COD = 80%
- %ER TSS = 60%
- %ER Ammonia = 53%
- %ER Minyak dan Lemak = 80%
- %ER Total Coliform = 60%
- Diameter pipa inlet = 150 mm = 0,15 m
- Diameter pipa outlet = 150 mm = 0,15 m
- L_s , suhu tropis $>27^\circ\text{C} = 350 \text{ kgBOD}_5/\text{ha} \cdot \text{hari}$

Tabel 9. Rekap Dimensi Kolam Fakultatif

Keterangan	Satuan	Nilai
Panjang	m	62,55
Lebar	m	41,7
Kedalaman total	m	2,5

Kolam Aerasi

Direncanakan:

- Kedalaman = 3 m
- Waktu detensi = 4 hari
- % Removal COD = 75%
- % Removal TSS = 50%
- % Removal Ammonia = 70%
- % Removal Total Coliform = 90%
- Suhu rerata daerah = 28° C
- Diameter pipa *inlet* = 150 mm = 0,15 m
- Diameter pipa *outlet* = 150 mm = 0,15 m

Tabel 10. Rekap Dimensi Kolam Aerasi

Keterangan	Satuan	Nilai ¹
Panjang	m	24,15
Lebar	m	8,05
Kedalaman total	m	3,5

Desinfeksi

Direncanakan:

- Waktu kontak= 10 menit = 0,167 jam
- % Removal Total Coliform = 98%
- Kedalaman tangki = 1,5 m
- *Freeboard* = 0,3 m
- Rasio P:L = 2:1
- Diameter pipa inlet= 150 mm = 0,15 m
- Diameter pipa outlet= 150 mm = 0,15 m

Tabel 11. Rekap Dimensi Unit Desinfeksi

Keterangan	Satuan	Nilai
Diameter tangki	m	0,5
Kedalaman tangki	m	1,8
Panjang ruangan	m	5,5
Lebar ruangan	m	5,5

Bak Indikator

Direncanakan:

- Kedalaman (h)= 2,5 m
- Rasio P:L = 1:1
- Waktu detensi (Td)= 2 hari
- *Freeboard* = 0,2 m
- Diameter pipa inlet = 114 mm
- Diameter pipa outlet= 114 mm

Tabel 12. Rekap Dimensi Bak Indikator

Keterangan	Satuan	Nilai
Panjang	m	7,6
Lebar	m	7,6
Kedalaman total	m	2,5

Sludge Drying Bed

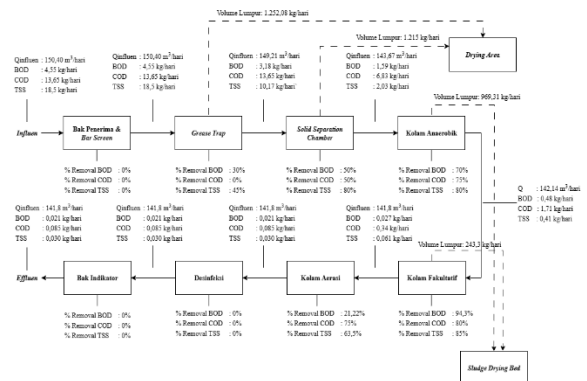
Direncanakan

- Ketebalan *cake*= 20 cm = 0,2 m
- Ketebalan pasir= 20 cm = 0,2 m
- Ketebalan kerikil= 30 cm = 0,3 m
- Jumlah bak= 2 unit
- *Freeboard* = 0,5 m
- Waktu pengeringan *cake* = 10 hari
- Waktu pengambilan *cake* = 1 hari

Tabel 13. Rekap Dimensi Sludge Drying Bed

Keterangan	Satuan	Nilai
Panjang	m	16,8
Lebar	m	16,8
Kedalaman bak	m	1,2

5. Neraca Massa



Gambar 7. Neraca Massa Rekomendasi Perbaikan Teknis

6. Profil Hidrolis

Bak Pengumpul dan Bar Screen

Elevasi awal = 6 mdpl

Elevasi muka air = 6 mdpl + 0,01 m

= 6,01 mdpl

Grease Trap

Elevasi muka air= $Elv. awal - H_f total$

= 6,01 mdpl - 0,075 m

= 5,93 mdpl

Solid Separation Chamber

Elevasi muka air= $Elv. wal - H_f total$

= 5,85 mdpl - 0,033 m

$$= 5,81 \text{ mdpl}$$

Kolam Anaerobik

$$\begin{aligned} \text{Elevasi muka air} &= \text{Elv. awal} - H_f \text{ total} \\ &= 1,81 \text{ mdpl} - 0,23 \text{ m} \\ &= 1,58 \text{ mdpl} \end{aligned}$$

Kolam Fakultatif

$$\begin{aligned} \text{Elevasi muka air} &= \text{Elv. awal} - H_f \text{ total} \\ &= 1,58 \text{ mdpl} - 0,294 \text{ m} \\ &= 1,29 \text{ mdpl} \end{aligned}$$

Kolam Aerasi

$$\begin{aligned} \text{Elevasi muka air} &= \text{Elv. awal} - H_f \text{ total} \\ &= 1,29 \text{ mdpl} - 0,082 \text{ m} \\ &= 1,2 \text{ mdpl} \end{aligned}$$

Desinfeksi

$$\begin{aligned} \text{Elevasi muka air} &= \text{Elv. awal} - H_f \text{ total} \\ &= 1,2 \text{ mdpl} - 0,042 \text{ m} \\ &= 1,15 \text{ mdpl} \end{aligned}$$

Bak Indikator

$$\begin{aligned} \text{Elevasi muka air} &= \text{Elv. awal} - \text{Headloss total} \\ &= 1,15 \text{ mdpl} - 0,042 \text{ m} \\ &= 1,1 \text{ mdpl} \end{aligned}$$

7. Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Perencanaan optimalisasi IPLT Tanggung Rejo mencakup penyusunan RAB berdasarkan standar daerah, dengan total biaya konstruksi sebesar Rp12.057.880.516 dan biaya operasional-pemeliharaan Rp29.930.338 per bulan, disertai rincian kegiatan perencanaan. Berikut adalah kegiatan yang harus dilakukan dalam perencanaan ini.

- a. Pekerjaan Persiapan
- b. Pekerjaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja
- c. Operasional dan Pemeliharaan (1 tahun)

Implementasi K3 dalam Perencanaan

Disusun rencana K3 pada kegiatan operasi ketika sistem IPLT diimplementasikan. Upaya mitigasi meliputi penyediaan Alat Pelindung Diri (APD) standar (masker,

sarung tangan, sepatu boots), pemasangan pagar pengaman dan rambu peringatan di kolam terbuka, penyediaan sistem ventilasi dan detektor gas pada unit tertutup, serta inspeksi rutin peralatan listrik dan mekanis. Selain itu, direncanakan fasilitas pendukung seperti jalur evakuasi darurat, titik kumpul, APAR, serta pelatihan K3 bagi operator. Dengan integrasi ini, implementasi K3 diharapkan mampu mengurangi risiko kecelakaan kerja sekaligus melindungi kesehatan pekerja dalam jangka panjang.

KESIMPULAN

1. Layanan Lumpur Tinja Terjadwal disusun berdasarkan beberapa aspek. Menurut penilaian kesiapan kota, Kota Semarang dinilai layak untuk menjalankan program LLTT
 - a. Aspek teknis, cakupan LLTT ditentukan berdasarkan radius 4,5 km dari IPLT Tanggung Rejo yang mencakup 15 kelurahan dengan periode penyedotan setiap 3 tahun
 - b. Aspek pelanggan, berdasarkan hasil survey ditentukan iuran retribusi LLTT sebesar Rp9.000/bulan.
 - c. Aspek kelembagaan, diketahui pemerintah kota bekerja sama dengan PDAM Tirta Moedal dalam menjalankan program LLTT.
 - d. Aspek prosedur, terdapat 4 prosedur yang diperlukan LLTT yaitu, prosedur pengelolaan pelanggan, prosedur penyedotan dan pengangkutan, prosedur tagihan pelanggan, dan prosedur evaluasi kinerja.
 - e. Aspek finansial, berdasarkan analisa NPV program LLTT ini layak untuk dilaksanakan.

- f. Aspek aturan, berdasarkan analisa SWOT LLTT Kota Semarang perlu mengoptimalkan pengendalian kinerja internal untuk mencegah penurunan kinerja lebih lanjut.
2. Terdapat beberapa bentuk optimalisasi IPLT Tanggung Rejo yaitu, penambahan 2 bak SSC, substitusi kolam maturasi menjadi kolam aerasi, penambahan gudang, penambahan atap di beberapa unit untuk mencegah kontaminasi air hujan, penambahan pagar besi di beberapa unit, dan penambahan unit desinfeksi.
3. Penyusunan Rancangan Anggaran Biaya (RAB) dari optimalisasi dan rehabilitasi IPLT Tanggung Rejo diketahui membutuhkan biaya sebesar Rp12.057.880.516 dan membutuhkan biaya operasional sebesar Rp29.930.338/bulan.

SARAN

1. Pemerintah Kota Semarang sebaiknya menyusun aturan khusus untuk memastikan ketersediaan tenaga kerja guna mendukung program LLTT agar berjalan lancar dan berkelanjutan. Perumda Air Minum Tirta Moedal perlu membentuk struktur organisasi yang rapi dan menyempurnakan perhitungan teknis agar operasional lebih efektif dan efisien.
2. Warga Kota Semarang memiliki peran penting dalam keberhasilan program LLTT. Untuk meningkatkan kesadaran dan partisipasi, sosialisasi langsung di tingkat RW/RT perlu dilakukan, didukung oleh aturan yang jelas dan tegas mengenai keterlibatan masyarakat.
3. Pengelolaan IPLT Tanggung Rejo dan program LLTT sebaiknya dijalankan oleh tenaga berpengalaman agar sesuai standar.

Uji laboratorium rutin setiap enam bulan penting untuk memastikan kualitas hasil pengolahan tetap terpenuhi.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS. (2023). Kota Semarang Dalam Angka 2023. *Kota Semarang Dalam Rangka Municipality in Figures*. 51. 358.
- Crisye. F.. & dkk. (2020). *Perencanaan Sistem Jaringan Pengolahan Air Limbah Domestik Di Kelurahan*. 8(3).
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. (2017). *Buku A Panduan Perhitungan Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. (2017). *Buku E Panduan Perencanaan Pelayanan Lumpur Tinja*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Firdaus. M. D. (2023). *Evaluasi Kinerja dan Rencana Perbaikan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Sumur Batu*. Kota Bekasi. Jawa Barat (Doctoral dissertation. Universitas Islam Indonesia).
- Goodier. J. (2016). Dictionary of environmental engineering and wastewater management. In *Reference Reviews* (Vol. 30. Issue 8). <https://doi.org/10.1108/rr-07-2016-0181>
- Haerani. Rosita. & Ardiatma. Dodi. (2022). *Studi Pengolahan Lumpur Tinja di Balai Piam Yogyakarta*. *Sains dan Teknologi Vol.1 No.1*.
- Heins. (1998). *Solids Separation and Pond Systems Treatment of Faecal Sludges In the Tropics Lessons Learnt and*

- Recommendations for Preliminary Design Second Edition.*
www.sandec.ch
- Kirana. S.. & Mawangi. I. (2021). *Kajian Risiko Proses Pengolahan Lumpur Tinja Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) (Studi Kasus : Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Kota Batu).* 10(2).
- Lazarova, V., & dkk. (2013). Ozone Disinfection: Main Parameters for Process Design in Wastewater Treatment and Reuse. *Journal of Water Reuse and Desalination* 03(4). Doi: 10.2166/wrd.2013.007
- Lase. T.. Rachmawati. L.. & Utomo. I. (2023). *Buku Saku Layanan Lumpur Tinja Terjadwal.* Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Lisieux. T.. & Herumurti. W. (2020). ALTERNATIF REVITALISASI INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR TINJA (IPLT) SUPIT URANG KOTA MALANG. *Jurnal Purifikasi.* Vol.20. 40-53.
- Lukman. R. R.. Pratiwi. Y. E.. & Rosdiana. R. (2021). Evaluasi Teknik Operasional dari Kinerja Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja di Kota Kendari. *Jurnal TELUK: Teknik Lingkungan UM Kendari.* 1(1). 1-7.
- Mara, Duncan. (2003). *Domestic Water Treatment in Developing Countries.*
- Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 4/PRT/M/2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik.* Jakarta : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Oktarina. D.. & Haki. H. (2013). PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR TINJA SISTEM KOLAM PALEMBANG (STUDI KASUS: IPLT SUKAWINATAN). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan Vol.1. No.1.*
- Ong. S. K. (2007). Wastewater Engineering. In *Environmentally Conscious Materials and Chemicals Processing.* <https://doi.org/10.1002/9780470168219.ch8>
- Qasim, S. R., & Zhu, G. (2017). *Wastewater treatment and reuse, theory and design examples, volume 1: Principles and basic treatment.* CRC press.
- Ratnayaka. D. D. Brandt. M. J.. & Johnson. K. M. (2009). Water Supply. In *Water Supply.* <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-6843-9.X0001-7>
- Saputra. O. A.. Nauqinida. M.. Kurnia. Pujiasih. S.. Kusumaningsih. T.. & Pramono. E. (2021). Improvement of anionic and cationic dyes removal in aqueous solution by Indonesian agro-waste oil palm empty fruit bunches through silylation approach. *Groundwater for Sustainable Development.* 13. 100570. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100570>
- Surakarta. U. M.. Yani. J. A.. Kartasura. K.. & Tengah. J. (2022). *Seminar Nasional Keinsinyuran (SNIP) Mengenal Lebih Jauh tentang IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) Komunal di Kabupaten Lampung Timur.* 2(1).

- Tchobanoglous, G., Burton, F., & Stensel, H. D. (2014). *Wastewater engineering: treatment and reuse. American Water Works Association. Journal*, 95(5), 201.
- Von Sperling, M. (2007). *Waste stabilisation ponds*. IWA publishing.
- Wulandari, D. (2018). *Pemisahan Padatan Lumpur Tinja pada Unit Solid Separation Chamber (SSC)* (Skripsi). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Yulaswati. V.. & Nugroho. Y. (2023). *Metadata Indikator Tujuan Pembangunan Berkelanjutan Edisi II*. Jakarta: Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.