

SKRIPSI

**PERENCANAAN UNIT INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR
TINJA (IPLT) NIPA NIPA ANTANG KOTA MAKASSAR**

Disusun dan diajukan oleh

**MARIA FRANSISCA RARA RURUPADANG
D131 17 1308**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

SKRIPSI

**PERENCANAAN UNIT INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR
TINJA (IPLT) NIPA NIPA ANTANG KOTA MAKASSAR**

Disusun dan diajukan oleh

**MARIA FRANSISCA RARA RURUPADANG
D131 17 1308**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PERENCANAAN UNIT INSTALASI PENGOLAHAN
LUMPUR TINJA (IPLT) NIPA-NIPA ANTANG, KOTA
MAKASSAR**

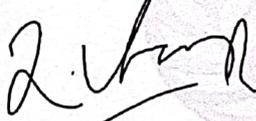
Disusun dan diajukan oleh

**Maria Fransisca Rara Rurupadang
D131171308**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 8 Agustus 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

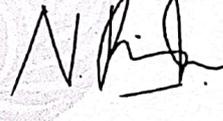
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Achmad Zubair, M.Sc.
NIP 19590116198021001

Pembimbing Pendamping,



Nuriannah Oktorina, S.T., M.T.
NIP 199210242019016000

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



Dr. Eng. Ir. Muralia Hustin, S.T., M.T., IPM.
NIP 197204242000122001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Maria Fransisca Rara Rurupadang
NIM : D131 17 1308
Program Studi : Teknik Lingkungan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Perencanaan Unit Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Nipa Nipa, Antang
Kota Makassar

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 15 Juni 2023



Yang Menyatakan

Maria Fransisca Rara Rurupadang

ABSTRAK

MARIA FRANSISCA RARA RURUPADANG. *Perencanaan Unit Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Nipa Nipa Antang Kota Makassar* (dibimbing oleh Achmad Zubair dan Nurjannah Oktorina Abdullah).

Sanitasi dan air merupakan dua hal yang tak terpisahkan. Buruknya sistem sanitasi lingkungan akan berdampak pada kualitas air. Salah satu contohnya ialah sistem pengolahan lumpur tinja yang tidak memenuhi standar akan menghasilkan air dengan kualitas di bawah standar baku mutu. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan unit IPLT Nipa Nipa Antang di Kota Makassar dengan teknologi yang meliputi pengolahan fisika dan biologi berdasarkan efisiensi setiap unit terhadap parameter Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solid (TSS), amonia, minyak dan lemak, dan total coliform.

Berdasarkan perhitungan dengan metode eksponensial, proyeksi jumlah penduduk Kota Makassar dalam 20 tahun ke depan adalah 1.602.316 jiwa dengan debit air 481 m³/detik. Adapun karakteristik lumpur tinja IPLT Nipa Nipa Antang yang diperoleh dari pengujian ialah pH 7,49, BOD 1440 mg/L, COD 9671 mg/L, TSS 12400 mg/L, minyak dan lemak 962 mg/L, ammonia 233 mg/L dan total coliform 24066667 jumlah/100 mL. Hasil pengujian karakteristik menjadi acuan dalam perencanaan IPLT Nipa Nipa Antang dengan sistem unit pengolahan yang terdiri dari 3 unit bar screen, 3 unit grease trap, 3 unit gravity thickener, 3 unit anaerobic digester, 3 sludge drying bed, 3 bak ekualisasi, 6 unit anaerobic baffled reactor, 1 kolam fakultatif, dan 2 unit kolam maturasi.

Hasil perencanaan sistem pengolahan lumpur tinja menunjukkan bahwa unit-unit pengolahan efektif menurunkan parameter sehingga memenuhi baku mutu, yaitu BOD 4 mg/L, COD 65 mg/L, TSS 10 mg/L, minyak dan lemak 4 mg/L, ammonia 8,14 mg/L dan total coliform 550 jumlah/100 mL.

Kata Kunci: Lumpur Tinja, Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT), *Grease Trap, Gravity Thickener, Anaerobic Digester, Sludge Drying Bed, Bak Ekualisasi, Anaerobic Baffled Reactor, Kolam Fakultatif, Kolam Maturasi, Kota Makassar.*

ABSTRACT

MARIA FRANSISCA RARA RURUPADANG. Planning for Nipa Nipa Antang Fecal Sludge Treatment Plant (FSTP), Makassar City (supervised by Achmad Zubair and Nurjannah Oktorina Abdullah).

Sanitation and water are two inseparable things. Poor environmental sanitation systems will have impact on water quality. One example is a sewage fecal sludge treatment system that does not meet the standards will produce water with quality below the standards. This study aims to plan Nipa Nipa Antang FSTP in Makassar City with technology which includes physical and biological processing based on efficiency of each unit towards the Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solid (TSS), ammonia, oils and fats, and total coliform parameters.

Based on calculations using exponential method, projected population of Makassar City within next 20 years is 1,602,316 people with 481 m³/sec water discharge. Characteristics of Nipa Nipa Antang FSTP fecal sludge resulted from the test were pH 7.49, BOD 1440 mg/L, COD 9671 mg/L, TSS 12400 mg/L, oil and grease 962 mg/L, ammonia 233 mg/L and total coliform 24066667/100 mL. Results of the characteristic test used as reference in planning Nipa Nipa Antang FSTP with processing unit system consisting of 3 bar screen units, 3 grease trap units, 3 gravity thickener units, 3 anaerobic digester units, 3 sludge drying beds, 3 equalization tanks, 6 anaerobic units baffled reactor, 1 facultative pond, and 2 maturation pond units.

Result of the planning on fecal sludge treatment system shows that the treatment units effectively reduce parameters to meet the quality standards, i.e. BOD 4 mg/L, COD 65 mg/L, TSS 10 mg/L, oils and fats 4 mg/L, ammonia 8,14 mg/L and total coliform 550/100 mL.

Keywords : Fecal Sludge, Fecal Sludge Treatment Plant (FSTP), Grease Trap, Gravity Thickener, Anaerobic Digester, Sludge Drying Bed, Equalization Tank, Anaerobic Baffled Reactor, Facultative Pond, Maturation Pond, Makassar City.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
KATA PENGANTAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Definisi Air Limbah.....	7
2.2 Lumpur Tinja.....	7
2.2.1. Definisi lumpur tinja	7
2.2.2. Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)	8
2.2.3. Komposisi lumpur tinja.....	8
2.2.4. Karakteristik dan kualitas lumpur tinja	9
2.3 Baku Mutu Air Limbah Domestik.....	14
2.4 Sistem Pengolahan Lumpur Tinja	14
2.5 Dampak Pengolahan Lumpur Tinja Terhadap Lingkungan	15
2.6 Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT).....	16
2.6.1 Penentuan sistem pengolahan.....	16
2.6.2 Teknologi pengolahan lumpur tinja	17
2.7 Unit Pengolahan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja	20
2.7.1 Unit pengolahan pendahuluan.....	20
2.7.2 Unit pemekatan dan stabilisasi lumpur	22
2.7.3 Unit stabilisasi cairan	26
2.7.4 Unit pengering lumpur	32
2.8 Perencanaan Pembangunan IPLT	33
2.8.1 Kebutuhan dan pengumpulan data perencanaan IPLT.....	33
2.8.2 Penentuan daerah pelayanan IPLT	34
2.8.3 Penentuan lokasi IPLT	35
2.8.4 Penentuan kapasitas IPLT	35
2.9 Pemilihan Alternatif Sistem Pengolahan.....	35
2.10 Proyeksi Jumlah Penduduk.....	36
2.10.1 Metode aritmatika.....	37
2.10.2 Metode berganda (geometrik)	37

2.10.3 Metode eksponensial	37
2.11 Uji Kesesuaian Metode Proyeksi.....	38
2.12 Penelitian Terdahulu	39
BAB III METODE PENELITIAN.....	41
3.1 Diagram Alir Penelitian	41
3.2 Gambaran Umum Wilayah Perencanaan	42
3.3 Waktu dan Lokasi Penelitian	43
3.4 Kondisi Eksiting IPLT Nipa-Nipa	44
3.4.1 Layout dan diagram alir sistem pengolahan IPLT Nipa-Nipa.....	44
3.4.2 Kondisi unit-unit IPLT Nipa-Nipa Antang.....	46
3.5 Pengumpulan Data Primer dan Data Sekunder	53
3.5.1 Data primer	53
3.5.2 Data sekunder	56
3.6 Populasi dan Sampel	56
3.7 Tahap Perencanaan	57
3.7.1 Identifikasi wilayah studi serta pengumpulan studi pustaka	57
3.7.2 Pengumpulan data.....	57
3.7.3 Pengolahan data dan analisis data	58
3.7.4 Penetapan metode pengolahan.....	59
3.7.5 Perencanaan unit – unit pengolahan	59
3.8 Teknik Pengumpulan Data.....	59
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	60
4.1 Proyeksi Penduduk Wilayah Perencanaan	60
4.1.1 Proyeksi penduduk metode aritmatika	61
4.1.2 Proyeksi penduduk metode geometrik	61
4.1.3 Proyeksi penduduk metode eksponensial	62
4.1.4 Uji kesesuaian metode proyeksi	63
4.2 Debit Lumpur Tinja	66
4.3 Karakteristik Lumpur Tinja	66
4.4 Pemilihan Teknologi Pengolahan Lumpur Tinja.....	68
4.5 Perhitungan Dimensi Unit Pengolahan Lumpur Tinja.....	70
4.5.1 <i>Bar Screen</i>	70
4.5.2 <i>Grease Trap</i>	74
4.5.3 <i>Gravity Thickener</i>	76
4.5.4 <i>Anaerobic Digester</i>	83
4.5.5 Bak Ekualisasi	93
4.5.6 <i>Anaerobic Baffled Reactor (ABR)</i>	95
4.5.7 Kolam Fakultatif.....	102
4.5.8 Kolam Maturasi/ <i>Polishing Pond</i>	108
4.5.9 <i>Sludge Drying Bed (SDB)</i>	112
4.6 Rekapitulasi Desain unit Pengolahan IPLT Nipa Nipa.....	119
4.7 Kesetimbangan Massa (<i>Mass Balance</i>) Perencanaan IPLT Nipa Nipa	122
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	123
5.1 Kesimpulan	123
5.2 Saran	123
DAFTAR PUSTAKA	124
LAMPIRAN	128

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Pembagian metode pengolahan lumpur tinja pada IPLT	17
Gambar 2	Teknologi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)	18
Gambar 3	Diagram alir pengolahan lumpur dan unit operasi	18
Gambar 4	Mekanisme aliran proses pengolahan tangki imhoff.....	24
Gambar 5	Potongan tangki imhoff.....	24
Gambar 6	Potongan kolam anaerobik.....	26
Gambar 7	Potongan Unit <i>Sludge Drying Bed</i> (SDB).....	32
Gambar 8	Alternatif unit pengolahan IPLT pilihan 1	36
Gambar 9	Alternatif unit pengolahan IPLT pilihan 2	36
Gambar 10	Alternatif unit pengolahan IPLT pilihan 3.....	36
Gambar 11	Diagram alir penelitian.....	41
Gambar 12	Peta administrasi Kota Makassar	43
Gambar 13	Peta lokasi penelitian instalasi pengolahan lumpur tinja Nipa-Nipa..	44
Gambar 14	Diagram alir proses pengolahan IPLT Nipa-Nipa.....	45
Gambar 15	<i>Layout</i> eksisting IPLT Nipa Nipa, Antang.....	45
Gambar 16	Kondisi eksisting unit SSC IPLT Nipa-Nipa	47
Gambar 17	Kondisi eksisting tangki imhoff IPLT Nipa Nipa	49
Gambar 18	Kondisi eksisting kolam anaerobik I IPLT Nipa Nipa.....	50
Gambar 19	Kondisi eksisting kolam anaerobik II IPLT Nipa Nipa.....	50
Gambar 21	Kondisi eksisting kolam maturasi IPLT Nipa Nipa	52
Gambar 22	<i>Site Plan</i> IPLT Nipa Nipa, Antang Kota Makassar.	54
Gambar 23	Diagram alir rencana sistem IPLT Nipa Nipa.....	69
Gambar 24	Faktor penyisihan COD terhadap waktu pengendapan pada unit ABR	100
Gambar 25	Faktor efisiensi penyisihan BOD terhadap konsentrasi BOD influen	100
Gambar 26	Faktor efisiensi penyisihan BOD terhadap beban organik BOD	101
Gambar 27	Faktor efisiensi penyisihan COD terhadap suhu dalam reactor anaerobik	101
Gambar 28	Persentase efisiensi penyisihan BOD terhadap waktu tinggal hidraulik pada unit ABR.....	101
Gambar 29	Rencana Unit IPLT Nipa Nipa Antang	120
Gambar 30	<i>Layout</i> IPLT Nipa Nipa Antang Terencana	121
Gambar 31	<i>Mass balance</i> unit Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja terencana....	122

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Komposisi tinja dan urin manusia	9
Tabel 2	Komposisi tinja manusia	9
Tabel 3	Komposisi urin manusia	9
Tabel 4	Karakteristik lumpur tinja.....	13
Tabel 5	Karakteristik limbah lumpur tinja pada beberapa sumber di Indonesia	13
Tabel 6	Baku mutu air limbah domestik.....	14
Tabel 7	Kriteria desain unit manual <i>bar screen</i>	20
Tabel 8	Kriteria desain unit grease trap.....	21
Tabel 9	Kriteria desain bak ekualisasi	21
Tabel 10	Kriteria desain <i>gravity thickener</i>	22
Tabel 11	Kriteria desain <i>anaerobic digester</i>	23
Tabel 12	Kriteria desain unit tangki imhoff	24
Tabel 13	Kriteria desain SSC	25
Tabel 15	Kriteria desain unit ABR	27
Tabel 16	Kriteria desain kolam aerasi	28
Tabel 17	Kriteria desain OD.....	29
Tabel 18	Kriteria desain kolam fakultatif.....	30
Tabel 19	Kriteria desain kolam maturasi.....	31
Tabel 20	Kriteria desain constructed wetland	31
Tabel 21	Kriteria desain SDB.....	32
Tabel 22	Penelitian terdahulu perencanaan unit Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT).....	39
Tabel 23	Laju pertumbuhan penduduk di Kota Makassar.....	60
Tabel 24	Proyeksi Pertumbuhan dengan metode aritmatika	61
Tabel 25	Proyeksi penduduk dengan metode geometrik.....	62
Tabel 26	Proyeksi penduduk dengan metode eksponensial	62
Tabel 27	Perhitungan proyeksi metode aritmatika	64
Tabel 28	Perhitungan proyeksi metode geometri	64
Tabel 29	Perhitungan proyeksi metode eksponensial.....	64
Tabel 30	Rekapitulasi perhitungan standar deviasi	64
Tabel 31	Rekapitulasi perhitungan koefisien korelasi	65
Tabel 32	Karakteristik air limbah lumpur tinja	67
Tabel 33	Teknologi yang digunakan pada IPLT Nipa Nipa.....	68
Tabel 34	Kriteria Desain Perencanaan Unit Bar Screen.....	70
Tabel 35	Kriteria Desain Perencanaan Unit <i>Grease Trap</i>	74
Tabel 36	Karakteristik efluen unit <i>grease trap</i>	76
Tabel 37	Kriteria desain perencanaan unit <i>gravity thickener</i>	77
Tabel 38	Karakteristik influen <i>anaerobic digester</i>	83
Tabel 39	Kriteria desain perencanaan unit <i>anaerobic digester</i>	83
Tabel 40	Karakteristik influen bak ekualisasi	94
Tabel 41	Kriteria desain perencanaan unit bak ekualisasi.....	94
Tabel 42	Karakteristik influen <i>anaerobic baffled reactor</i>	96
Tabel 43	Kriteria desain perencanaan unit <i>anaerobic baffled reactor</i>	96
Tabel 44	Karakteristik influen kolam fakultatif	102
Tabel 45	Kriteria desain perencanaan unit kolam fakultatif.....	103

Tabel 46	Karakteristik influen kolam maturasi/ <i>polishing pond</i>	108
Tabel 47	Kriteria desain perencanaan unit kolam maturasi.....	109
Tabel 48	Karakteristik influen <i>Sludge Drying Bed</i> (SDB)	112
Tabel 49	Kriteria desain perencanaan unit <i>sludge drying bed</i>	112

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Detail Engineering Design IPLT Nipa Nipa	129
Lampiran 2. Baku Mutu Air Limbah Domestik	148
Lampiran 3. Metode Pengujian Sampel	149
Lampiran 4. Dokumentasi	155
Lampiran 5. Laporan Hasil Pengujian	158

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha esa karena atas kelimpahan berkat, rahmat dan karunianya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Perencanaan Unit Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Nipa-Nipa Antang, Kota Makassar.”

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan pada jenjang Strata-I Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas teknik, Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan hingga pada penyusunan skripsi ini, akan sangat sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada kedua orang tua terkasih ayah Paulus Padang (alm) dan ibu Lusiana Lamba Tangdilintin yang senantiasa mendukung, mendoakan dan memberikan nasihat sehingga penulis mampu berada di titik ini. Selain itu, atas terselesaikannya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Prof. Dr.Ir. Jamaludding Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Dr. Amil Ahmad Ilham, S.T., M.IT selaku Wakil Dekan 1 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Dr. Ir. Achmad Zubair. M.Sc., selaku pembimbing pertama yang selalu memotivasi, mendukung dan memperhatikan perkembangan penulis selama dalam menyusun tugas akhir.
6. Nurjannah Oktorina Abdullah, S.T., M.T., selaku pembimbing kedua yang senantiasa meluangkan waktu untuk membimbing dan memperhatikan perkembangan penulis selama menyusun tugas akhir.
7. Seluruh Bapak/Ibu dosen Departemen Teknik Lingkungan dan Departemen Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu dan masukan terkait tugas akhir ini.

8. Pak Syarif selaku laboran Laboratorium Kualitas Air yang membantu selama penelitian dilakukan di Laboratorium.
9. Seluruh Staf dan Karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin terkhusus Ibu Sumi, Kak Olan dan Kak Nisha yang telah membantu dalam proses administrasi.
10. Seluruh petugas UPTD PAL dan petugas IPLT yang dengan baik menerima dan membantu penulis dalam mengambil data baik data primer maupun data sekunder.
11. Teman-teman Lab Riset Kualitas Air (Irsyaad, Eky, Juan, Ziqran, Alifah, Afni, Azizah, Firdha, Fildianita, Nurazizah, Tenri, Khusnul, dan Putri) yang selalu membantu, memotivasi dan menghibur selama penyusunan tugas akhir.
12. Irsa, Sikran, Mbok Jijah, dan Alipah yang selalu menjadi tempat untuk berkeluh kesah dan bersedia membantu dalam berbagai hal yang dialami penulis selama penyusunan tugas akhir.
13. Abang Dhewa, Abang Noe, dan Adek Payatu' yang selalu memberikan motivasi, dukungan, hiburan dan bantuan kepada penulis.
14. Serta kepada seluruh pihak yang membantu selama menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Semoga Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas kebaikan kalian.
15. Terima kasih yang tak terhingga kepada diri saya sendiri karena mampu bertahan dan menyelesaikan skripsi ini walaupun sangat banyak rintangan dan hambatan yang saya hadapi.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk memperbaiki kekurangan dari tugas akhir ini. Akhir kata semoga tugas akhir ini memberikan manfaat untuk perkembangan dalam bidang ilmu pengetahuan.

Gowa, 15 Juni 2023

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sanitasi dan air merupakan dua hal yang tidak dapat dipisahkan. Untuk itu, buruknya sistem sanitasi lingkungan akan berdampak pada kualitas air yang dapat menjadi sumber penyakit bagi manusia (Elysia, 2018). Kondisi sanitasi yang memprihatinkan dapat dilihat pada kegiatan seperti Mandi Cuci Kakus (MCK) yang tidak berfungsi, selokan yang tersumbat, BABS (Buang Air Besar Sembarangan), serta pembuangan liar lumpur tinja. Pentingnya pengolahan sistem sanitasi yang baik akan berdampak pada kelayakan fasilitas sanitasi yang telah memenuhi standar kesehatan sehingga dapat meningkatkan derajat kesehatan manusia (Indrawanto, Subadyo, & Budiyanto, 2020).

Korelasi antara sanitasi dan air ini mengartikan bahwa produksi air bersih berbanding lurus dengan produksi air limbah. Tidak kurang dari 85% air bersih berubah menjadi air limbah (Elysia, 2018). Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.22 Tahun 2021, air limbah merupakan air yang berasal dari suatu proses dalam suatu kegiatan. Air limbah domestik merupakan air buangan yang berasal dari berbagai kegiatan rumah tangga seperti pemukiman, perkantoran, area komersil dan kegiatan lainnya yang sejenis (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, 2021). Berdasarkan karakteristiknya, air limbah terbagi menjadi dua jenis yaitu air limbah jenis black water dan grey water.

Air limbah jenis *black water* yaitu air limbah yang berasal dari WC dan umumnya ditampung dalam septic tank. Limbah black water/ limbah tinja perlu pengolahan yang tepat terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air karena mengandung bakteri pathogen. Menurut Purba,dkk (2020), air limbah tinja banyak mengandung nutrien yang dapat merangsang pertumbuhan mikroorganisme dengan komposisi air limbah pada umumnya 99,9% air dan 0,1% padatan. Padatan yang terdapat dalam limbah cair terdiri dari 70% padatan organik dan 30% padatan non-organik. Menurut Elvin Nur Nadhifatin (2019), limbah tinja jika tidak diolah dengan baik dapat menghasilkan kontaminan yang berpotensi mencemari badan air belum memenuhi standar baku mutu air karena masih

mengandung BOD₅, TSS, COD, minyak dan lemak, serta total koliform yang masih tinggi. Hal tersebut sesuai dengan salah satu hasil uji laboratorium IPLT Kabupaten Nganjuk yaitu BOD₅, COD, TSS, total koliform, ammonia sebesar 8.300 mg/L, 15.430 mg/L, 15.900 mg/L, 4×10^6 jumlah/100 mL, dan 209,72 mg/L dengan jumlah penduduk 1.103.491 jiwa. Menurut Susanti (2018), kandungan BOD yang tinggi dapat menyebabkan turunnya oksigen perairan yang disebut sebagai keadaan anaerob, sehingga dapat mematikan ikan dan menimbulkan bau busuk (Elysia, 2018).

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia (PUPR) Tahun 2017, Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) merupakan instalasi pengolahan air limbah yang dirancang hanya menerima dan mengolah lumpur tinja yang berasal dari Sub-sistem Pengolahan Setempat kemudian akan diangkut melalui mobil (truk tinja). Pengolahan lumpur tinja di IPLT merupakan pengolahan lanjutan karena lumpur tinja yang telah diolah di tangki septik belum layak dibuang di media lingkungan. Lumpur tinja yang telah terakumulasi secara regular akan dikuras atau dikosongkan kemudian diangkut ke IPLT dengan menggunakan truk tinja (Purba, Kasman, & Herawati, 2020).

Kota Makassar merupakan Ibukota Provinsi Sulawesi Selatan yang tidak memiliki Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) namun telah menyediakan lahan untuk perencanaan IPLT kedepannya. Lahan yang disediakan seluas 2,1 Ha, terletak di desa Nipa-Nipa, Kecamatan Manggala. Menurut Gumilangsari, dkk (2021). Unit IPLT Nipa-Nipa yang direncanakan akan melayani seluruh kecamatan dengan sumber berasal dari pengolahan limbah domestik setempat dan fasilitas komersil (hotel, beberapa restoran cepat saji, dan lain-lain). Pelayanan penyedotan lumpur tinja wajib dilakukan pada unit septik tank yang telah digunakan selama lebih dari 2 tahun. Kota Makassar memiliki 16 unit truk tinja yang beroperasi setiap hari dan melayani hingga kabupaten lain.

Menurut Gumilang dkk (2021), kapasitas lumpur tinja yang mampu diolah oleh IPLT harus dihitung berdasarkan volume timbulan tinja yang dihasilkan oleh jumlah penduduk. Hal ini sebabkan karena peningkatan jumlah penduduk suatu wilayah yang berpengaruh terhadap buangan air limbah yang dihasilkan. Oleh

karena itu, perlu adanya perhitungan volume lumpur yang dihasilkan penduduk Kota Makassar dengan perhitungan kapasitas atau daya tampung yang dapat ditampung oleh IPLT Nipa-Nipa serta perhitungan desain perencanaan dimensi IPLT yang sesuai dengan tata cara perencanaan IPLT oleh Kementerian Perumahan dan Permukiman Rakyat.

Dari uraian diatas, untuk meningkatkan sistem sanitasi yang layak bagi masyarakat terkhusus di Kota Makassar maka diperlukan perencanaan IPLT di Nipa-Nipa Antang dengan teknologi perencanaan yang meliputi pengolahan fisika dan biologi dengan mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan setiap efisiensi unit pengolahan. Untuk itu, dilakukan penelitian dengan judul “Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Nipa-Nipa Antang Kota Makassar”

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan latar belakang diatas, dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik air limbah dari Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja yang ditinjau dari parameter fisika, kimia dan biologi jika dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016?
2. Bagaimana perencanaan dimensi IPLT Nipa-Nipa Antang untuk 20 tahun kedepan ?
3. Bagaimana kisaran efisiensi penurunan unit pengolahan IPLT Nipa Nipa Antang secara keseluruhan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Dalam penulisan tugas akhir ini yang menjadi tujuan penelitian ini merupakan jawaban dari rumusan masalah, yaitu :

1. Menganalisis karakteristik air limbah dari Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja yang ditinjau dari parameter fisika, kimia dan biologi jika dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016.

2. Menghitung dimensi unit IPLT Nipa-Nipa Antang untuk 20 tahun kedepan yang sesuai dengan tata cara perencanaan IPLT dalam Buku Pedoman Perencanaan Teknik Terinci IPLT.
3. Menganalisis kisaran efisiensi penurunan unit pengolahan IPLT Nipa Nipa Antang secara keseluruhan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi Pemerintah

Penelitian ini membahas tentang Perencanaan IPLT Nipa-Nipa Antang, Kota Makassar. Sehingga diharapkan penelitian ini dapat menjadi pertimbangan dan referensi para pengelola IPLT serta pihak-pihak yang turut andil mampu untuk pengembangan dan pembangunan unit-unit pengolahan air limbah kedepannya.

2. Bagi Akademik

Penelitian ini membahas tentang Perencanaan IPLT Nipa-Nipa Antang, Kota Makassar, sehingga diharapkan penelitian ini dapat menjadi ilmu dan referensi baru serta pihak yang berkaitan mampu memperdalam ilmu terkait dengan perencanaan air limbah domestik.

3. Bagi Departemen Teknik Lingkungan

Penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi ilmu pengetahuan khususnya dalam program studi Teknik Lingkungan terutama dalam penelitian selanjutnya dalam bidang riset kualitas air.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Nipa-Nipa Antang, Kota Makassar dengan mengambil sampel uji.
2. Melakukan pengambilan sampel lumpur tinja secara langsung pada truk tinja sebagai sampel karakteristik lumpur tinja.

3. Pengujian sampel lumpur tinja untuk parameter fisik, biologi dan kimia akan dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
4. Parameter fisika yang diuji meliputi parameter *Total Suspended Solid* (TSS). Parameter kimia yang diuji meliputi pH, *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), Amoniak, dan Minyak dan Lemak. Parameter biologi yang diuji yaitu *Total Coliform*.
5. Perencanaan unit instalasi meliputi proyeksi jumlah penduduk, lumpur tinja yang dihasilkan, perhitungan dimensi, *Detail Engineering Design* (DED), dan *Mass Balance* dari hasil perencanaan IPLT sesuai dengan Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT).
6. Desain IPLT disesuaikan dengan bentuk dan luas lahan yang tersedia di Desa Nipa-Nipa, Antang Kota Makassar.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dari penulisan tugas akhir “Perencanaan Unit Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Nipa Nipa, Antang Kota Makassar”, ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas mengenai teori-teori yang menjadi pendukung dari berbagai literatur serta acuan penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini membahas mengenai rancangan penelitian, waktu dan lokasi penelitian, bahan dan alat, populasi dan sampel, teknik pengumpulan data, dan teknik analisis.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas tentang hasil penelitian yang meliputi analisis data penelitian dan pembahasan terkait dengan hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini menguraikan terkait kesimpulan dan saran dari penulis tentang hasil yang diperoleh setelah penelitian dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Air Limbah

Menurut Permen PUPR No.04 Tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, air limbah domestik merupakan air limbah yang berasal dari usaha dan/atau kegiatan pemukiman, rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen, dan asrama. Dalam limbah domestik, salah satu zat yang berbahaya yaitu mikroorganisme yang berada dalam tinja manusia. Apabila mikroorganisme ini masuk ke dalam tubuh manusia maka akan menimbulkan berbagai macam penyakit (Lastari,2020).

Menurut Darajat (2018), air limbah domestik dapat dibedakan menjadi dua yaitu black water dan grey water. *Black water* adalah air limbah yang berasal dari buangan biologis seperti kakus, berbentuk tinja (*faeces*) manusia yang berpotensi mengandung mikroba patogen dan air seni (*urine*) yang umumnya mengandung nitrogen (N) dan fosfor serta air bilasan toilet. Sedangkan *grey water* adalah air limbah yang berasal dari air bekas cucian, dapur, dan kamar mandi.

2.2 Lumpur Tinja

2.2.1. Definisi lumpur tinja

Tinja merupakan bahan buangan yang dikeluarkan dari tubuh manusia yang merupakan sisa dari proses pencernaan makanan sepanjang sistem saluran pencernaan (*tractus digestifus*) (Maharani, 2018). Kotoran manusia (*faeces*) atau ekskreta merupakan hasil akhir dari proses yang berlangsung dalam tubuh manusia yang menyebabkan pemisahan dan pembuangan zat-zat yang tidak dibutuhkan oleh tubuh seperti tinja dan air seni. Pengertian tinja juga mencakup seluruh bahan buangan yang dikeluarkan dari tubuh manusia termasuk karbon dioksida (CO₂) sebagai sisa dari proses pernafasan, keringat, lender dari ekskresi kelenjar dan sebagainya (Arlina, 2018).

Tinja terdiri dari sejumlah besar pasir dan minyak yang memiliki sifat diantaranya adalah bau yang sangat tajam, menghasilkan busa jika diaduk,

kandungan zat padat dan zat organik yang tinggi, sukar mengendap dan sukar dipisahkan cairannya.

Lumpur tinja merupakan istilah umum untuk padatan hasil dari penyimpanan black water atau ekskreta. Lumpur tinja adalah air limbah yang dalam proses pembusukannya akan menguraikan zat organik yang dikandungnya dan menghasilkan gas yang berbau dan dapat menimbulkan polusi bagi lingkungan (Mulyani & Solikhin, 2018). Lumpur tinja merupakan sumber pencemar yang terdiri atas padatan terlarut di dalam air yang sebagian besar mengandung material organik. Lumpur tinja mengandung berbagai macam mikroorganisme patogen yaitu bakteri *E.coli* (Ikhsani, Kajian Kebutuhan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Di Kabupaten Kediri, 2019).

Untuk itu, pengelolaan lumpur tinja sangat diperlukan sebelum dibuang ke badan air. Menurut Ikhsani (2019), apabila tidak dilakukan pengolahan lumpur tinja dengan baik dan benar akan menghasilkan kontaminan yang berpotensi mencemari badan air karena masih mengandung kadar BOD, COD, TSS, pH, Minyak dan lemak, serta *Escherichia coli* yang masih tinggi. Kandungan BOD yang tinggi menyebabkan kandungan oksigen pada perairan menjadi anaerob sehingga dapat mematikan ikan dan menimbulkan bau busuk.

2.2.2. Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)

Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) merupakan instalasi pengolahan air limbah yang dirancang hanya menerima dan mengolah lumpur tinja. Lumpur tinja dapat berasal dari sistem setempat yang diangkut melalui sarana pengangkut lumpur tinja seperti truk tinja (Ikhsani, 2019).

Lumpur tinja yang terbentuk dari unit pengolahan setempat membutuhkan pengolahan lanjutan di IPLT yang akan diolah melalui proses pengolahan fisik, biologis dan/atau pengolahan kimia sehingga aman untuk dilepaskan ke lingkungan dan/atau dimanfaatkan (Ikhsani, 2019).

2.2.3. Komposisi lumpur tinja

Menurut Novenda Cempaka Putri (2015), buangan tubuh manusia yang berupa tinja dan urin memiliki fraksi organik yang sangat tinggi, antara lain karbohidrat, protein dan lemak. Air limbah lumpur tinja yang diolah terlebih

dahulu pada pengolahan setempat (tangki septik) sebagian besar berbentuk larutan dan zat padat tersuspensi yang mengandung bahan organik. Komposisi tinja dan urin manusia terdapat pada Tabel 1 hingga Tabel 3

Tabel 1 Komposisi tinja dan urin manusia

Jenis Zat Organik	Satuan	Tinja	Urin
Kuantitas: basah	g/orang/hari	135 – 270	1.000 – 1.300
Kuantitas: padatan kering	g/orang/hari	35 – 70	50 – 70

Sumber: Mara (2004) dalam Novenda Cempaka (2015)

Tabel 2 Komposisi tinja manusia

Komponen (dari ke kering)	Kandungan (%)
Air	66 – 88
Bahan Organik	88 – 97
Nitrogen	5,7 – 7
Fosfor (sebagai P ₂ O ₅)	3,5 – 5,4
Potassium (sebagai K ₂ O)	1 – 2,5
Karbon	40 – 55
Kalsium (sebagai CaO)	4 – 5
Rasio C/N	5 – 10

Sumber: Arifin (2009) dalam Novenda Cempaka (2015)

Tabel 3 Komposisi urin manusia

Komponen (dari ke kering)	Kandungan (%)
Air	93 – 56
Bahan organik	65 – 85
Nitrogen	15 – 19
Fosfor (sebagai P ₂ O ₅)	2,5 – 5
Potassium (sebagai K ₂ O)	3,0 – 4,5
Karbon	11 – 17
Kalsium (sebagai CaO)	4,5 - 6

Sumber: Soeparman dan Suparmin (2001) dalam Novenda Cempaka (2015)

2.2.4. Karakteristik dan kualitas lumpur tinja

Lumpur tinja adalah material berupa padatan dan cairan yang merupakan hasil pemompaan dari tangka septik. Kandungan zat organik dalam lumpur tinja yang masih tinggi menyebabkan perlunya pengolahan (treatment) terhadap lumpur tinja. Bila lumpur tinja langsung diaplikasikan ke tanah, maka akan berbahaya bagi tanah, tumbuhan, hewan dan manusia (Fazhar & Febrina, Efektivitas Pengolahan Lumpu Tinja Di IPAL Duri Kosambi, 2016). Menurut Buku Pedoman Perencanaan Teknik terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) (2018), berikut merupakan karakteristik lumpur tinja :

a. Nutrien

Nutrien yang terkandung dalam lumpur tinja berasal dari sisa proses pencernaan makanan manusia. Sisa proses pencernaan makanan manusia yang berupa feses mengandung 10 – 20% Nitrogen, 20 – 50% Fosfor, dan 10 – 20% Potasium, dan yang berupa urin mengandung 80 – 90% Nitrogen, 50 – 65% Fosfor dan 50 – 80% Potasium.

1) Nitrogen

Konsentrasi nitrogen dalam lumpur tinja umumnya cukup tinggi dengan kisaran 10 – 100 kali lebih tinggi dari konsentrasi Nitrogen di air limbah domestik. Nitrogen pada lumpur tinja bisa ditemukan dalam bentuk Ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$), Ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$) dan N organik.

2) Fosfor

Kandungan fosfor pada lumpur tinja bias ditemukan dalam bentuk orthofosfat dan fosfat terikat.

b. pH

Parameter pH merupakan parameter yang penting dalam pemeriksaan lumpur tinja yang dapat memperngaruhi tahapan stabilisasi biologi. Pada lumpur tinja, pH umumnya berkisar antara 6,5 – 8, tetapi juga bias bervariasi dari 1,5 hingga 12,6. Bila pH lumpur tinja memiliki nilai di luar kisaran 6 – 9, hal ini dapat menghambat proses biologi dan produksi gas metana pada proses anaerob.

c. Padatan

Konsentrasi padatan pada lumpur tinja berasal dari berbagai materi organik (volatile solid) dan materi organik (fixed solid), yang berbentuk materi mengapung, mengendap, koloid, dan tersuspensi. Parameter yang dibutuhkan dalam pengukuran padatan yang terkandung dalam lumpur tinja terdiri dari total solid (TS), total solid tersuspensi (TSS) dan total volatile solid (TVS).

d. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan parameter yang mengindikasikan kandungan senyawa organik yang dapat terdegradasi secara biologis. Lumpur tinja umumnya memiliki konsentrasi BOD yang lebih tinggi dari air limbah domestik.

e. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan parameter yang mengindikasikan kandungan senyawa organik pada lumpur tinja baik yang dapat terdegradasi secara biologis maupun non-biologis.

f. Minyak dan Lemak

Lumpur tinja dapat mengandung minyak dan lemak yang berasal dari minyak rumah tangga, daging, biji-bijian, dan kacang-kacangan. Parameter minyak dan lemak perlu diperiksa karena minyak dan lemak dapat menurunkan kemampuan mikroba untuk mendegradasi senyawa organik. Hal ini disebabkan minyak dan lemak dapat mengurangi kelarutan, meningkatkan lapisan scum di tangki pengendapan, yang dapat menyebabkan masalah dalam tahap pengoperasian.

g. Pasir dan Kerikil

Pasir dan kerikil dapat meningkatkan potensi penyumbatan pada pipa dan pompa. Pasir dan kerikil pada lumpur tinja bisa berasal dari pasir yang terbawa oleh penghuni dan pasir yang terbawa saat banjir.

h. Sampah

Sampah banyak ditemukan dalam lumpur tinja karena keterbatasan informasi mengenai sampah – sampah yang tidak boleh dibuang ke dalam unit pengolahan setempat, seperti pembalut, popok bayi, kayu, plastik kemasan, dan lain – lain. Akumulasi sampah pada lumpur tinja dapat mengakibatkan permasalahan dalam kegiatan pengangkutan lumpur tinja dan pengolahan lumpur tinja. Permasalahan yang dapat timbul antara lain penyumbatan pada pipa penyedotan lumpur tinja dan gangguan pengolahan di unit pengolahan lumpur tinja.

i. Patogen

Berikut ini merupakan organisme patogen yang terkandung dalam lumpur tinja:

1) Bakteri Koliform

Bakteri koliform merupakan bakteri yang umumnya ditemukan pada saluran pencernaan manusia. Bakteri koliform umumnya digunakan menjadi indikator kontaminasi bakteri patogen.

2) Cacing dan Telur Cacing

Telur cacing merupakan salah satu indikator dalam menentukan efektivitas penyisihan organisme patogen dalam lumpur tinja. Hal ini terkait juga dengan ketahanan telur cacing dalam pengolahan lumpur tinja. Cacing yang umumnya ada dalam sampel lumpur tinja terdiri dari nematode, cestode, dan trematode. Ketiga jenis cacing ini merupakan parameter yang perlu dipantau karena dapat menginfeksi manusia. Cacing *Ascaris lumbricoides*, merupakan parameter yang paling umum digunakan sebagai indikator karena kemampuan telurnya untuk bertahan di lingkungan.

Pengukuran telur cacing di Indonesia pada sampel air limbah domestik merupakan parameter yang masih belum umum dilaksanakan di laboratorium pengujian di Indonesia. Namun, parameter ini merupakan salah satu parameter yang perlu diuji, walaupun disesuaikan dengan kemampuan laboratorium yang tersedia pada daerah perencanaan.

Berdasarkan Buku Pedoman Perencanaan Teknik terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) (2018), karakteristik lumpur tinja memiliki nilai yang cukup bervariasi, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain:

a. Kondisi pemanfaatan tangki septik

Pemanfaatan tangki septik dapat menggunakan sistem tidak tercampur (sumber hanya dari toilet) atau sistem tercampur (sumber dari toilet, kamar mandi, dapur dan cucian). Selain itu, kebiasaan penggunaan air untuk keperluan sanitasi pribadi juga dapat mempengaruhi karakteristik lumpur tinja.

b. Laju dan waktu retensi lumpur tinja dalam unit pengolahan setempat

Laju pengisian unit pengolahan setempat dan waktu retensi lumpur tinja dapat mempengaruhi karakteristik lumpur tinja. Hal ini dipengaruhi oleh volume unit pengolahan setempat, jenis teknologi pengolahan, kualitas konstruksi unit pengolahan, dan infiltrasi air limbah ke tanah, atau infiltrasi air tanah dari luar kedalam unit pengolahan.

c. Metode penyedotan lumpur tinja

Metode penyedotan lumpur tinja juga mempengaruhi karakteristik lumpur tinja. Umumnya lumpur tinja yang terakumulasi pada bagian bawah unit

pengolahan setempat terlalu pekat dan sulit untuk di sedot dengan menggunakan pompa. Beberapa cara yang umumnya diterapkan di lokasi, antara lain dengan penambahan air untuk menurunkan kepekatan lumpur tinja yang terakumulasi, sehingga bisa di sedot dengan menggunakan pompa. Penambahan air/pengenceran lumpur tinja tentunya akan mempengaruhi konsentrasi lumpur tinja.

d. Iklim/musim

Iklim/musim juga dapat mempengaruhi karakteristik lumpur tinja, terutama faktor suhu dan kelembaban udara, Selain itu, suhu juga mempengaruhi efektifitas proses pengolahan biologis di mana ketika suhu lebih tinggi (termofilik 45 – 80°C) pengolahan pada unit pengolahan setempat lebih optimum bila dibandingkan ketika suhu rendah/dingin.

Dari uraian diatas, Tabel 4 merupakan karakteristik lumpur tinja menurut Metcalf and Eddy (2003) dan Tabel 5 merupakan karakteristik lumpur tinja pada beberapa IPLT di Indonesia.

Tabel 4 Karakteristik lumpur tinja

Parameter	Konsentrasi (mg/L)	
	Rentang	Tipikal
Total Solid (TS)	5.000 – 100.000	40.000
Total Suspended Solid (TSS)	4.000 – 100.000	15.000
Total Volatile Suspended Solid (TVSS)	12.000 – 14.000	7.000
BOD ₅	2.000 – 30.000	6.000
COD	5.000 – 80.000	30.000
Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	100 – 1.600	700
Ammonia-Nitrogen	100 – 800	400
Total Phosphorus sebagai P	50 – 800	250
Logam Berat	100 – 1.000	300

Sumber: Metcalf and Eddy (2003)

Tabel 5 Karakteristik limbah lumpur tinja pada beberapa sumber di Indonesia

Parameter	Satuan	Sumber	
		IPLT Talang Bakung ^{a)}	IPLT Duri Kosambi ^{b)}
pH		6,50	7,6
BOD ₅	mg/L	12.090	374
COD	mg/L	18.754	860
TSS	mg/L	11.820	756
Total Coliform	MPN/100 mL	17.000	180.000

Sumber: ^{a)} Reynaldo Purba dkk (2020)

^{b)} Fazhar dan Febrina (2016)

2.3 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, baku mutu air limbah merupakan ukuran batas/kadar unsur pencemar yang jumlah keberadaan unsur pencemarnya ditenggang dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke badan air. Baku mutu yang digunakan sebagai baku mutu efluen IPLT ialah baku mutu air limbah domestik, karena limbah ini dapat dikategorikan dalam limbah sejenis domestik (Kementerian PUPR, 2017) seperti yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Baku mutu air limbah domestik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 – 9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak dan Lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Coliform	Jumlah/100mL	3000

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 (2016)

2.4 Sistem Pengolahan Lumpur Tinja

Sistem penyaluran air limbah terbagi menjadi dua, yaitu sistem sanitasi terpusat dan sistem sanitasi setempat. Sistem terpusat (*off-site sanitation*) merupakan sistem pembuangan air buangan rumah tangga yang disalurkan keluar dari lokasi rumah ke saluran pengumpul air buangan dan selanjutnya disalurkan secara terpusat ke bangunan pengolahan air buangan sebelum dibuang ke badan air penerima (Ramadhani, 2018). Sedangkan sistem sanitasi setempat (*on-site sanitation*) ialah pengolahan air limbah yang dilakukan pada lokasi sumber, yang selanjutnya lumpur hasil olahan diangkut dengan sarana pengangkut ke sub-sistem pengolahan lumpur tinja (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017).

Pada sistem pengolahan lumpur tinja, tangki septik dan cubluk merupakan sistem sanitasi setempat, dimana limbah hasil pengolahan tersebut akan dibawa menuju sistem pengolahan terpusat, yaitu Instalasi pengolahan Lumpur Tinja (IPLT). IPLT merupakan bagian dari unsur/komponen sistem pengolahan limbah setempat yang dikembangkan untuk menggantikan pendekatan sistem

konvensional dan/atau sistem terpusat yang dinilai kurang mampu untuk mengatasi masalah pencemaran air di daerah perkotaan (Putri, 2015).

Prinsip dari pengolahan lumpur tinja yaitu menjadikan lumpur tinja agar menjadi air yang dapat dibuang secara langsung dilingkungan/ badan air penerima dan sudah memenuhi baku mutu. Lumpur sisa dari pengolahan menjadi lumpur kering dan jika telah matang sempurna dapat dimanfaatkan menjadi pupuk (Wati, 2021).

2.5 Dampak Pengolahan Lumpur Tinja Terhadap Lingkungan

Dampak pengolahan lumpur tinja terhadap lingkungan merupakan hal penting yang harus diperhatikan karena dapat mengakibatkan masalah kesehatan, kenyamanan, ketertiban, dan keindahan bagi lingkungan. Pembangunan IPLT harus mempertimbangkan lingkungan sebagai salah satu kriteria penting agar tidak mengakibatkan kerugian, baik kerugian fisik (alam lingkungan) maupun non fisik pada lingkungan sekitar (Noviana, 2020).

Dampak potensial yang dapat timbul dengan adanya operasional IPLT diantaranya ialah resiko pencemaran kualitas air. Kualitas air disekitaran IPLT dapat terganggu apabila pembuangan endapan lumpur tinja pada kolam tidak dilakukan secara teratur dan juga jika terjadi kerusakan/kebocoran pada instalasi (Noviana, 2020). Selain itu, dampak lainnya ialah pada masalah bau. Bau yang menyengat dapat mengganggu kenyamanan masyarakat sekitar yang jarak rumahnya berdekatan dengan IPLT (Shahab, 2020).

Untuk menghindari dampak-dampak negatif yang timbulkan saat pengoperasioan IPLT, maka perlu dilakukan pelaksanaan operasi sesuai prosedur, pengontrolan secara cermat serta pemantauan dan pemeliharaan secara berkala. Pembuangan endapan lumpur perlu dilakukan secara teratur agar proses pengolahan tetap berjalan secara efektif. Masalah bau dapat diatasi dengan membuat zona penyangga dengan menanam pohon di sekeliling IPLT, seperti pohon kemenyan, mimba dan sebagainya yang mampu mengurangi bau (Shahab, 2020).

2.6 Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)

Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) adalah salah satu instansi pengolahan air limbah yang dirancang hanya menerima dan mengolah lumpur tinja yang berasal dari Sub-Sistem Pengolahan Setempat yang diangkut melalui truk tinja (Kementerian PUPR, 2017). Menurut Darojat (2018), tujuan utama dilakukannya pengolahan lumpur tinja yaitu menurunkan kandungan zat organik dari dalam lumpur tinja dan menghilangkan atau menurunkan kandungan mikroorganisme patogen (bakteri, virus, jamur dan lain sebagainya).

Lumpur tinja yang telah diangkut kemudian akan diolah di IPLT melalui proses pengolahan fisik, pengolahan biologis dan/atau pengolahan kimia sehingga aman untuk dilepaskan ke lingkungan dan/atau dimanfaatkan. Pengolahan lumpur tinja akan menghasilkan lumpur kering dan air olahan yang terpisah dari lumpur yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai tanah timbun atau pupuk dan untuk keperluan penyiraman tanaman (Hadianto, 2019). Untuk itu, pengembangan IPLT di masa yang akan datang perlu mengintegrasikan aspek pelayanan lumpur tinja, sehingga pengelolaan lumpur tinja di Kabupaten/Kota dapat terus berlanjut dan berkesinambungan (Ikhsani, Kajian Kebutuhan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Di Kabupaten Kediri, 2019).

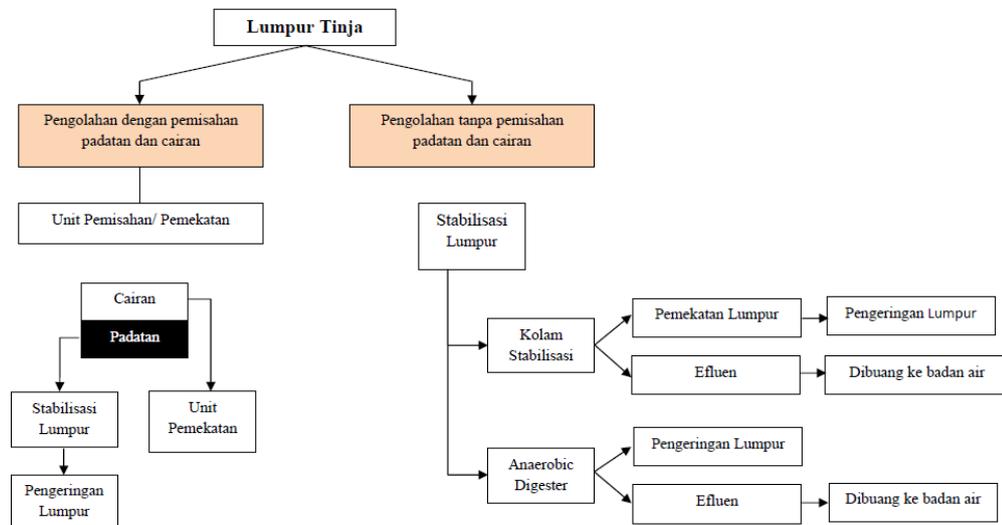
2.6.1 Penentuan sistem pengolahan

Dalam Permen PUPR No.4 Tahun 2017 menyebutkan bahwa penentuan pengolahan lumpur tinja dapat menggunakan dua metode yang ditentukan berdasarkan karakteristik lumpur tinja yang diolah yaitu:

- a. Pengolahan IPLT dengan pemisahan padatan dan cairan. Penerapan metode ini dapat dilakukan jika karakteristik lumpur tinja yang masuk ke IPLT berupa lumpur tinja yang sudah diolah dan tinja yang belum diolah. Untuk mengurangi beban pengolahan biolaogi, lumpur hasil pengolahan pada unit pemekatan, diolah lebih lanjut pada unit stabilisasi untuk mengurangi konsentrasi pencemar sebelum dibuang ke badan air penerima.
- b. Pengolahan IPLT tanpa pemisahan padatan dan cairan terlebih dahulu. Metode ini dapat digunakan jika karakteristik lumpur tinja yang masuk IPLT berupa

lumpur tinja yang telah mengalami pengolahan di unit pengolahan setempat, sehingga memiliki beban organik yang lebih rendah.

Alternatif metode pengolahan lumpur tinja dapat dilihat pada Gambar 1



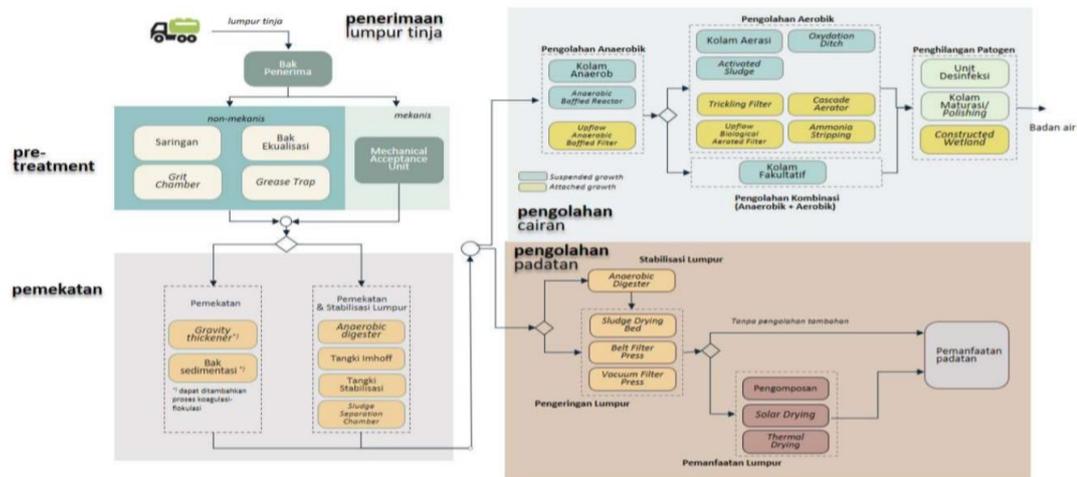
Gambar 1 Pembagian metode pengolahan lumpur tinja pada IPLT
Sumber: Peraturan Menteri PUPR No.4 Tahun (2017)

Sistem pengolahan yang digunakan dalam perencanaan IPLT disesuaikan dengan karakteristik dan kondisi daerah layanan, serta menyesuaikan hasil analisis data yang dikumpulkan. Hal yang dipertimbangkan dalam pengolahan lumpur tinja, ialah efektif, murah dan sederhana dalam hal konstruksi maupun operasi dan pemeliharannya, lokasi pembangunan IPLT, serta jumlah penduduk yang akan dilayani (Hasanah, Nindito, & Kamiana, 2017).

2.6.2 Teknologi pengolahan lumpur tinja

Menurut Buku A Panduan Perencanaan teknik terinci Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja (2018), pengolahan lumpur tinja diawal dengan proses stabilisasi lumpur dan pemisahan fase padatan dan cairan dalam lumpur. Setelah kedua proses tersebut, pengolahan untuk masing-masing fase dilakukan secara terpisah. Supernatan hasil proses pemisahan diolah menggunakan teknologi pengolahan air limbah hingga memenuhi baku mutu yang ditetapkan dan hasilnya dapat dibuang ke badan air. Sedangkan lumpur dengan kandungan padatan yang lebih pekat dikeringkan dan hasilnya dapat dimanfaatkan kembali. Gambar 2

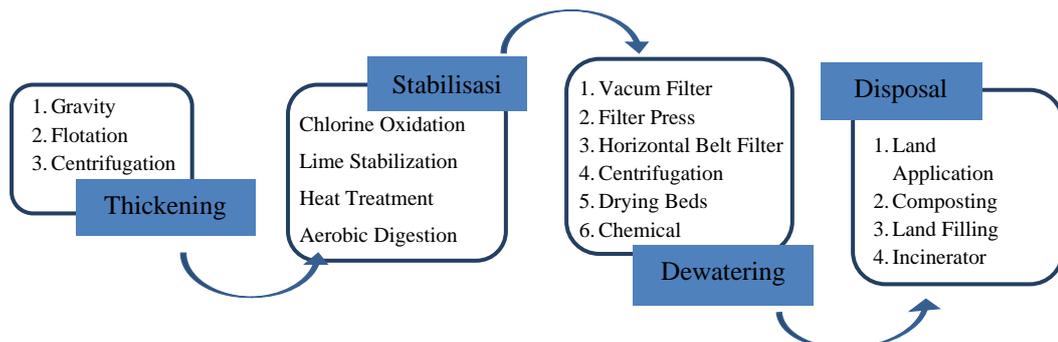
merupakan prinsip alternatif teknologi yang dapat diterapkan dalam sebuah Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT).



Gambar 2 Teknologi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)

Sumber : Direktorat Jenderal Cipta Karya (2017)

Qasim (1985) dalam Novenda Cempaka Putri (2015) menyebutkan bahwa proses pengolahan lumpur dan metode pembuangan akhir meliputi thickening, stabilisasi, conditioning atau dewatering, dan pembuangan akhir. Gambar 3 menyajikan diagram alir pengolahan lumpur dan alternatif unit operasinya.



Gambar 3 Diagram alir pengolahan lumpur dan unit operasi

Sumber: Qasim (1985)

a. Proses *Thickening* (Pemekatan)

Thickening atau Pemekatan merupakan proses yang dilakukan untuk mengurangi volume lumpur sekaligus meningkatkan konsentrasi padatan yang terdapat dalam lumpur. Proses pemekatan (*thickening*) lumpur memerlukan kapasitas tangki yang cukup kecil, dosis bahan kimia untuk menstabilkan lumpur, perpipaan yang lebih kecil, dan peralatan pompa untuk membawa lumpur. Proses ini dapat dilakukan menggunakan peralatan antara

lain *gravity thickener*, *gravity belt thickener*, *rotary drum*, separator, *centrifuge*, dan *flotator*.

b. Proses Stabilisasi

Stabilisasi merupakan proses biologis yang bertujuan untuk mengurangi kandungan bakteri patogen, menghilangkan bau, dan menghindari, mengurangi, atau menghilangkan potensi pembusukan. Proses ini menggunakan prinsip pengolahan yang berhubungan dengan efektivitas dari operasi stabilisasi atau proses penguapan atau fraksi organik lumpur. Umumnya stabilisasi tidak digunakan pada semua bangunan pengolahan air limbah, tetapi digunakan pada semua bangunan pengolahan yang lengkap dengan berbagai ukuran.

c. Proses *Conditioning* atau *Dewatering*

Proses *conditioning* lumpur dibutuhkan untuk destabilisasi suspensi lumpur. Proses *dewatering* pada lumpur bertujuan untuk menghilangkan kelembaban lumpur, maka lumpur kering dapat dipindahkan ke truk dan juga dapat dikomposkan atau ditimbun di pembuangan akhir atau diinsenerasi. Pemilihan teknik pengolahan ini bergantung pada beberapa faktor, yaitu karakteristik lumpurnya, lahan yang tersedia, dan kelembaban dari lumpur kering yang dibutuhkan untuk pembuangan akhir. Sistem pengolahan yang dapat digunakan ketika tersedia lahan yang luas dengan jumlah lumpur yang sedikit ialah *drying beds* dan *drying lagoons*, sedangkan ketika luas lahan yang tersedia kecil dapat digunakan mekanikal *dewatering* seperti *centrifugal dewatering*, *vacuum filter*, *filter press*, dan *horizontal belt filter*

d. Proses Pembuangan Akhir

Proses pembuangan akhir yang seharusnya meliputi proses konversi (insenerasi, *wet oxidation*, pirolisis, composting, dan lain-lain) dan lahan pembuangan akhir. Pembuangan akhir lumpur yang aman pada permukiman antara lain ialah penyaringan, pasir, dan penyaring busa. Kedua proses tersebut terlebih dahulu harus melalui proses lumpur sebelumnya yakni *thickening*, stabilisasi, *conditioning* atau *dewatering*.

2.7 Unit Pengolahan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja

Berdasarkan Buku A Panduan Perencanaan Teknik Terinci Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja, unit pada IPLT terbagi sebagai berikut:

2.7.1 Unit pengolahan pendahuluan

Pengolahan pendahuluan atau yang bisa disebut *preliminary treatment* merupakan tahap awal dalam pengolahan lumpur tinja. Unit ini bertujuan untuk mengondisikan karakteristik lumpur tinja agar dapat diterima oleh unit pengolahan selanjutnya. Pada umumnya, pengolahan pendahuluan terdiri dari unit penyaring, *grit chamber*, *grease trap*, dan/atau bak ekualisasi.

a. Manual *bar screen*

Manual *bar screen* berfungsi untuk menyaring sampah berukuran besar yang terdapat dalam lumpur tinja, seperti plastik, kain, kayu dan kerikil. Sampah-sampah yang tertahan pada *bar screen* harus sering dibersihkan agar tidak terjadi penyumbatan yang dapat mengganggu proses pengolahan selanjutnya.

Tabel 7 Kriteria desain unit manual *bar screen*

Parameter	Satuan	Nilai
Kecepatan aliran lewat bukaan, v	m/detik	0,3 – 0,6
Jarak bukaan, b	mm	25 – 50
Kemiringan terhadap horizontal, Θ	derajat	45 – 60
Kehilangan tekanan lewat bukaan, HL_{bukaan}	mm	150
Kehilangan tekanan maks. (<i>clogging</i>), HL_{max}	mm	800

Sumber: Qasim (1999)

Adapun kelebihan dari unit penyaring *bar screen* ialah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017):

- 1) Mudah dioperasikan
- 2) Tidak membutuhkan operator dengan keahlian khusus
- 3) Biaya perawatan murah

Sedangkan kekurangan ialah (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

- 1) Dapat menimbulkan bau serta mengundang lalat akibat sampah yang tertahan pada penyaringan,
- 2) Membutuhkan tenaga kerja tambahan untuk membersihkan dan mengangkut sampah,
- 3) Membutuhkan waktu pembersihan.

b. *Grease trap*

Grease trap berfungsi untuk menyisahkan minyak dan lemak dalam air limbah agar tidak mengganggu sistem pengolahan selanjutnya. Unit *grease trap* dapat menurunkan minyak dan lemak dalam air limbah dengan prinsip perbedaan massa jenis air dan minyak dengan memanfaatkan gaya gravitasi (Ibrahim, et al., 2023).

Tabel 8 Kriteria desain unit *grease trap*.

Parameter	Satuan	Nilai
Terdiri dari 2 kompartemen		
Kompartemen I	m	2/3 dari panjang total
Kompartemen II	m	1/3 dari panjang total
Lubang kontrol (<i>manhole</i>)	m	0,6
Kecepatan aliran	m/jam	2 – 6
Waktu tinggal, td	menit	5 – 20

Sumber: Dirjen Cipta Karya (2017)

Adapun kelebihan dari unit *grease trap* ialah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017):

- 1) Mencegah penyumbatan dan gangguan unit selanjutnya yang disebabkan oleh minyak dan lemak.

Sedangkan kekurangan ialah (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017):

- 1) Diperlukan pembersihan *scum* secara berkala
- 2) Menambah kebutuhan lahan.

c. Bak ekualisasi

Bak ekualisasi berfungsi meratakan konsentrasi lumpur sebelum diolah ke unit stabilisasi lumpur menurunkan fluktuasi debit influen yang masuk.

Tabel 9 Kriteria desain bak ekualisasi

Parameter	Satuan	Nilai
Waktu detensi (td)	jam	< 2
Kedalaman, H	m	1 – 3*

*Keterangan : bila lebih dari 3 meter, maka tangki ekualisasi membutuhkan pengaduk seperti aerator atau pengaduk hidrolis.

Sumber: Metcalf & Eddy (2003) dan (Qasim S. , 1985)

Adapun kelebihan dari unit bak ekualisasi ialah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017):

- 1) Meningkatkan efektivitas pengolahan dengan meratakan konsentrasi dan debit influen
- 2) Menyamakan nilai pH sehingga mengurangi kebutuhan bahan kimia (apabila menggunakan bahan kimia pada proses selanjutnya).

Sedangkan kekurangan ialah (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017):

- 1) Menambah kebutuhan lahan
- 2) Menambah kebutuhan biaya pengadaan, operasi dan pemeliharaan
- 3) Berpotensi menimbulkan bau

2.7.2 Unit pemekatan dan stabilisasi lumpur

Unit ini berfungsi selain untuk meningkatkan konsentrasi padatan dalam lumpur dengan cara memisahkan fase padatan dan cairan, juga untuk mereduksi bakteri patogen dan mengontrol proses pembusukan materi organik.

a. *Gravity Thickener*

Unit ini merupakan unit pemekatan berupa tangki berbentuk lingkaran dengan dasar tangki berbentuk kerucut yang dilengkapi bak pengumpul lumpur dan/atau *scraper*. Proses pemekatan diawali dengan pengendapan secara gravitasi oleh partikel padatan yang memiliki densitas yang lebih besar dari cairan mengendap. Selanjutnya proses pengendapan untuk partikel-partikel dengan densitas/ukuran sedang terjadi akibat pembentukan flok-flok partikel, peningkatan konsentrasi padatan akan membantu terjadinya pengendapan. Selanjutnya, proses pemadatan endapan yang telah mengendap pada dasar tangki akan mengalami pemadatan akibat tekanan dari padatan di atasnya.

Tabel 10 Kriteria desain *gravity thickener*

Parameter	Satuan	Nilai
Kedalaman	m	3 – 4
Waktu detensi maksimum	jam	24
Kemiringan dasar tangki	-	2:12 – 3:12

Sumber: Qasim (1999) dalam Dirjen Cipta Karya (2017)

Adapun kelebihan dari unit tangki *gravity thickener* ialah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017):

- 1) Sederhana dalam pengoperasian dan pemeliharaan
- 2) Memungkinkan penggunaan ruang penyimpanan lumpur yang lebih kecil

Sedangkan kekurangan ialah (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017):

- 1) Lumpur terendapkan cenderung masih mengandung kadar air yang tinggi sehingga membutuhkan proses *dewatering* lanjutan.
- 2) Penyisihan bakteri patogen tidak signifikan.
- 3) Berpotensi menimbulkan bau akibat proses anaerobik dan akumulasi *scum*.

b. *Anaerobic Digester (AD)*

Unit *anaerobic digester* merupakan proses pengolahan biologis dalam tangki kedap udara (*digester*) dimana mikroorganisme anaerobik menstabilisasi materi organik dan menghasilkan biogas.

Tabel 11 Kriteria desain *anaerobic digester*

Parameter	Satuan	Nilai	
		<i>Standard Rate</i>	<i>High Rate</i>
Waktu retensi padatan, SRT	hari	30 – 60	10 – 20
Dimensi			
Kedalaman	m		7 -14
Diameter	m		6 – 40
Kemiringan dasar	-		4 : 1

Sumber: Qasim (1999) dalam Dirjen Cipta Karya (2017)

Adapun kelebihan dari unit *anaerobic digester* ialah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017):

- 1) Efisien, higienis, dan ramah lingkungan karena bangunan memiliki penutup dan berpotensi menghasilkan energi (dalam bentuk gas metan).
- 2) Kebutuhan lahan tidak terlalu besar
- 3) Kebutuhan energi rendah karena tidak membutuhkan aerasi.
- 4) Biaya operasional rendah.

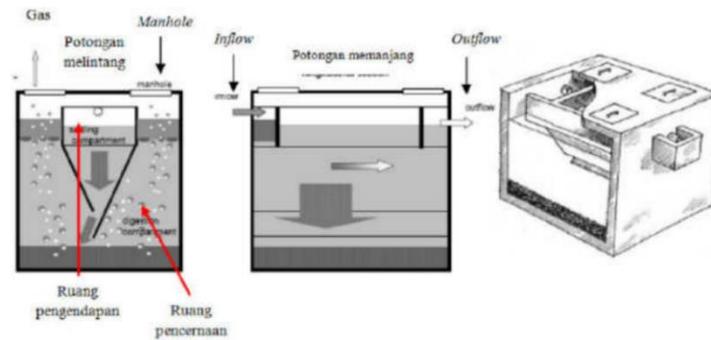
Sedangkan kekurangan ialah (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017):

- 1) Proses seeding pada awal operasi membutuhkan waktu yang lama
- 2) Penyisihan bakteri patogen belum sempurna sehingga membutuhkan pengolahan lanjutan.

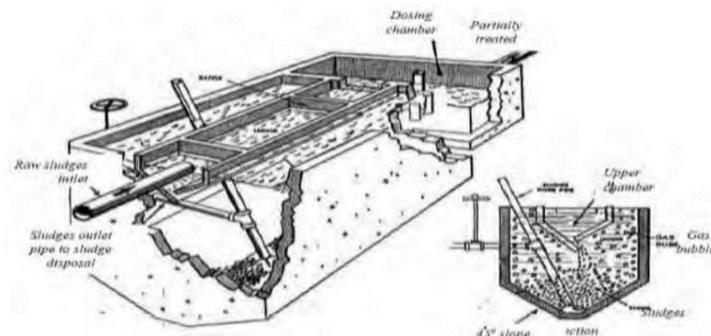
c. Tangki Imhoff

Unit ini berfungsi untuk memisahkan padatan dan cairan dalam lumpur tinja, serta proses *digestion* lumpur dalam satu sistem. Tangki Imhoff mampu mengolah air limbah domestik dengan beban yang tinggi, kemampuan mereduksinya mencapai 50-70% TSS, 25-50% COD, 10-40% BOD, dan berpotensi menghasilkan stabilisasi lumpur yang baik.

Pada tangki Imhoff terdapat sekat yang berfungsi untuk mencegah padatan masuk ke ruang sedimentasi. Pada ruang pencernaan, padatan akan terdekomposisi secara anaerobik sehingga menjadi lebih stabil dalam waktu 2-4 jam. Mekanisme aliran proses yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4 (Putri, 2015).



Gambar 4 Mekanisme aliran proses pengolahan tangki imhoff
Sumber: Kementerian PUPR (2017)



Gambar 5 Potongan tangki imhoff
Sumber: Novenda Cempaka Putri (2015)

Tabel 12 Kriteria desain unit tangki imhoff

Parameter	Satuan	Nilai
Total kedalaman	m	7 – 9,5
Ruang sedimentasi		
Waktu detensi	jam	2 – 4
Rasio panjang : lebar	-	2:1 – 5:1
Kemiringan terhadap horizontal	derajat	50 – 60
Lebar bukaan dasar	m	0,15 – 0,3
Panjang yang melebihi pada salah satu sisi menggantung	m	0,15 – 0,3
Freeboard	m	0,45 – 60
Ruang pencerna		
Waktu detensi	hari	30 – 60
Kemiringan terhadap horizontal	derajat	30 – 45
Kedalaman	m	3 – 4,5
Ruang ventilasi gas		
Luas permukaan	% dari total luas permukaan	15 – 30
Lebar	m	0,45 – 0,76

Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya (2017)

Adapun kelebihan dari unit tangki Imhoff ialah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

- 1) Menyisihkan padatan untuk mengurangi potensi penyumbatan dan membantu mengurangi dimensi pipa

2) Operasi dan pemeliharaan mudah sehingga tidak membutuhkan operator dengan keahlian khusus

3) Mampu bertahan ketika aliran debit masuk yang sangat berfluktuasi

Sedangkan kekurangan ialah (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

1) Membutuhkan pemeliharaan yang teratur

2) Membutuhkan pengoperasian dan perawatan yang sesuai dengan SOP, untuk menghindari resiko oenyumbatan pada pipa pengaliran

3) Membutuhkan pengolahan lebih lanjut untuk efluen baik pada frasa cair maupun padatan yang telah dipisahkan.

4) Efisiensi penyisihan rendah.

d. *Solid Separation Chamber (SSC)*

Unit ini berfungsi untuk memisahkan padatan-cairan dari lumpur tinja. Proses pemisahan padatan-cairan yang berlangsung pada kolam SSC dilakukan melalui sistem filtrasi (biasanya digunakan media pasir dan kerikil) dan evaporasi (memanfaatkan panas matahari).

Tabel 13 Kriteria desain SSC

Parameter	Satuan	Nilai
Ukuran Bak		
Lebar	m	8
Panjang	m	3
Area dibutuhkan		
SSC tanpa penutup atap	m ² /kapita	0,14 – 0,28
SSC dengan penutup atap	m ² /kapita	0,10 – 0,20
Waktu pengeringan <i>cake</i>	hari	5 – 12
Waktu pengambilan <i>cake</i> matang	hari	1
Ketebalan <i>cake</i>	cm	10 – 30
Ketinggian media filter		
Pasir	cm	20 – 30
Kerikil	cm	20 – 30
Kadar air	%	20
Kadar <i>solid</i>	%	80
Kemiringan dasar	-	1:20
Kemiringan dasar pipa	%	1

Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya (2017)

Adapun kelebihan dari unit *solid separation chamber (SSC)* ialah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

1) Pengoperasian sistem sederhana

2) Tidak membutuhkan operator berkeahlian khusus

Sedangkan kekurangan ialah (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

- 1) Diperlukan penggantian filter secara berkala untuk menjaga efisiensi proses filtrasi dan mencegah terjadinya penyumbatan
- 2) Pemindahan lumpur dari kolam SSC ke area pengering dilakukan secara manual atau dapat menggunakan crane dan
- 3) Membutuhkan area yang luas.

2.7.3 Unit stabilisasi cairan

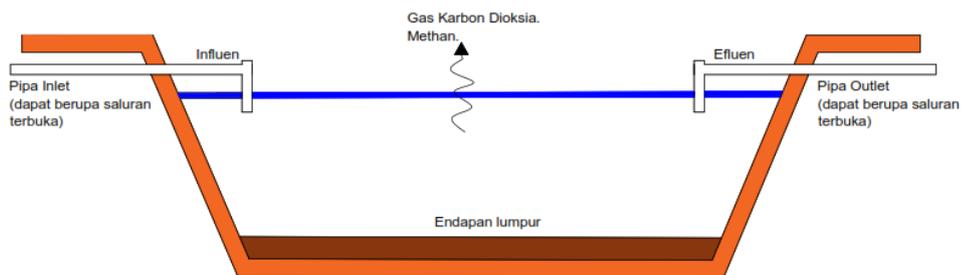
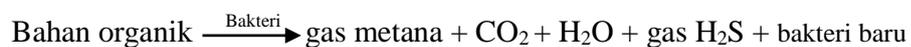
Unit stabilisasi cairan berfungsi untuk menyisahkan partikel organik terlarut dan koloid serta melanjutkan penyisihan padatan tersuspensi. Umumnya unit ini dilakukan dengan pengolahan biologis, namun tidak menutup kemungkinan untuk mengolahnya dengan pengolahan fisik, kimia, atau kombinasi ketiganya sehingga hasilnya dapat sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan. Proses stabilisasi cairan terdiri dari pengolahan anaerobik yang diikuti dengan pengolahan aerobik dan pengolahan lanjutan untuk menyisahkan organisme patogen.

a. Unit pengolahan anaerobik

Unit pengolahan anaerobik berfungsi untuk mendegradasi secara biologis beban organik yang tinggi; lumpur hasil pengolahan yang dihasilkan sedikit; menghasilkan gas metana; dan kebutuhan energi rendah.

1) Kolam anaerobik

Unit ini merupakan prasarana pengolahan air limbah yang beroperasi pada kondisi tanpa oksigen dengan memanfaatkan bakteri anaerob untuk menguraikan zat organik. Pada kolam anaerobik, terjadi proses berikut :



Gambar 6 Potongan kolam anaerobik
Tabel 14 Kriteria desain kolam anaerobik

Parameter	Satuan	Nilai
Waktu detensi, Θ_a	hari	≥ 1

Kedalaman, D_a	m	2 – 5
Rasio panjang dan lebar, P:L		(2 – 3):1
Rasio talud		1:3

Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya (2017)

Adapun kelebihan dari kolam anaerobik ialah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

- a) Konstruksi sederhana
- b) Biaya operasional rendah karena tidak membutuhkan energi listrik dalam mengoperasikannya dan
- c) Efisiensi penyisihan BOD tinggi

Sedangkan kekurangan ialah (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

- a) Berpotensi menimbulkan bau dan
- b) Kebutuhan lahan besar

2) Unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR)

Unit ABR merupakan unit pengolahan dengan metode *suspended growth* yang memodifikasi tangki septik dengan menambah sekat-sekat (baffle). Sekat ini berfungsi sebagai pengaduk (melalui aliran upflow dan downflow untuk meningkatkan kontak antara air limbah dan mikroorganismenya).

Tabel 15 Kriteria desain unit ABR

Parameter	Satuan	Nilai
Debit desain	m ³ /hari	2 – 200
Waktu retensi hidraulik	jam	12 – 96
Kecepatan <i>upflow</i>	m/jam	< 0,6
Jumlah kompartemen	buah	3 – 6
Efisiensi penyisihan BOD	%	70 – 95
COD	%	65 – 90

Sumber: Tilley, L, C, & Zurbrugg (2016)

Adapun kelebihan dari unit *anaerobic baffled reactor* (ABR) ialah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

- a) Tidak membutuhkan energi listrik
- b) Biaya operasional rendah
- c) Kemampuan menyisihkan konsentrasi BOD tinggi
- d) Lumpur yang dihasilkan rendah dan telah terstabilisasi
- e) Kebutuhan lahan tidak terlalu besar (dapat dibangun di bawah tanah)
- f) Pengoperasian sederhana

Sedangkan kekurangan ialah (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

- a) Kemampuan mereduksi bakteri patogen rendah
 - b) Supernatan dan lumpur yang ditimbulkan membutuhkan pengolahan lanjutan
 - c) Dibutuhkan pengolahan awal untuk mencegah penyumbatan
- b. Unit pengolahan aerobik

Unit pengolahan aerobik memanfaatkan kebutuhan oksigen sebagai sumber energi (dalam bentuk karbon organik).

1) Lumpur Aktif: Kolam Aerasi

Unit ini berfungsi untuk menyisihkan senyawa organik yang dapat didegradasi secara biologis dalam kondisi aerobik. Kolam aerasi pada dasarnya termasuk dalam sistem lumpur aktif, tanpa menerapkan resirkulasi lumpur. Efisiensi penyisihan BOD dari pengolahan pada kolam ini mampu mencapai lebih dari 90%.

Tabel 16 Kriteria desain kolam aerasi

Parameter	Satuan	Nilai
Waktu retensi	hari	2 – 6
Kedalaman	m	3 – 5
Laju beban volumetrik	gBOD/m ³ .hari	20 – 30

Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya (2017)

Adapun kelebihan dari unit kolam aerasi ialah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

- a) Memiliki ketaanan yang baik terhadap *shock loading*
- b) Kemampuan mereduksi bakteri patogen tinggi
- c) Kebutuhan lahan rendah dan biaya operasi lebih rendah dari unit lumpur aktif lain
- d) Tidak memiliki masalah yang berarti terhadap serangga dan bau

Sedangkan kekurangan ialah (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

- a) Efluen dan lumpur yang ditimbulkan memerlukan pengolahn lebih lanjut
- b) Membutuhkan desain dari seorang ahli dan pemantauan saat konstruksi
- c) Membutuhkan waktu operasional *full time* dan pemeliharaan oleh operator dengan keahlian khusus
- d) Membutuhkan energi listrik yang terus menerus

e) Biaya operasional sedang hingga tinggi, tergantung luas lahan dan penggunaan listrik

2) Lumpur aktif: *Oxydation Ditch* (OD)

Unit ini menggunakan proses pengolahan air limbah secara biologis dengan memanfaatkan mikroorganisme yang menjadikan senyawa polutan sebagai sumber makanan mereka. Mikroorganisme tersebut tumbuh dalam kondisi aerobik secara tersuspensi dan tidak melekat pada media. Pengolahan OD terdiri dari tiga bagian utama yaitu tangki aerasi, tangki pengendapan (*clarifier*) dan resirkulasi lumpur.

Tabel 17 Kriteria desain OD

Parameter	Satuan	Nilai
Waktu retensi solid (SRT)	hari	4 – 48
Waktu retensi hidraulik (HRT)	jam	16 – 24
Rasio F/M	kgBOD/hari.kgVSS	0,03 – 0,015
Konsentrasi lumpur dalam bak aerasi, MLSS	mg/L	3.000 – 6.000
Beban volumetrik	kgBOD/m ³ .hari	0,1 – 0,3
Laju <i>overflow</i>	m ³ /m ² .hari	8 – 16
Laju beban padatan pada tangki pengendapan, SLR	kgMLSS/m ² .hari	1,0 – 5
Waktu aerasi	jam	18 – 36
Rasio resirkulasi, Q_r/Q	-	0,5 – 20

Sumber: Metcalf dan Eddy (2003)

Adapun kelebihan dari unit *oxidation ditch* (OD) ialah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

a) Waktu retensi hidraulik yang panjang dan pengadukan yang sempurna mengurangi kemungkinan terjadinya *shock loading* organik dan hidraulik

b) Lumpur yang dihasilkan relatif sedikit

Sedangkan kekurangan ialah (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

a) Konsentrasi *solid* tersuspensi masih relatif tinggi jika dibandingkan unit lumpur aktif lainnya

b) Kebutuhan luas lahan besar

2.7.4 Unit pengolahan kombinasi (anaerobik dan aerobik)

Unit pengolahan kombinasi merupakan unit yang mengombinasikan proses pengolahan anaerobik dan aerobik dalam satu sistem. Sistem ini

menggunakan mikroorganisme anaerobik, aerobik, dan fakultatif yang dapat tumbuh dengan ada dan tidak ada oksigen untuk menyisihkan materi organik tersuspensi (partikulat BOD). Kebutuhan oksigen untuk proses oksidasi didapatkan dari hasil fotosintesis alga, sehingga terjadi keseimbangan konsumsi dan produksi oksigen dan karbon dioksida.

1) Kolam fakultatif

Kolam fakultatif didesain untuk menyisihkan beban BOD permukaan rendah (100-400 kgBOD/ha.hari) dengan menggunakan alga yang tumbuh secara alami di permukaan kolam. Keberadaan alga pada kolam fakultatif membantu proses penyisihan BOD melalui oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis.

Tabel 18 Kriteria desain kolam fakultatif

Parameter	Satuan	Nilai
Waktu retensi, Θ_f	hari	≥ 4
Efisiensi penurunan BOD, η	%	70 – 90
Kedalaman, D_f	m	1,5 – 2,5
Rasio panjang : lebar	-	(2 – 3) : 1
Periode pengurasan	tahun	5 – 10

Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya, (2017)

Adapun kelebihan dari kolam fakultatif ialah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

- a) Konstruksi sederhana
- b) Biaya operasional rendah karena tidak membutuhkan energi listrik dalam operasinya
- c) Tidak membutuhkan operator berkeahlian khusus

Sedangkan kekurangan ialah (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

- a) Kebutuhan lahan besar

2.7.5 Unit penghilang organisme patogen

Unit ini berfungsi untuk menyisihkan organisme patogen dalam pengolahan air limbah agar menghasilkan efluen yang aman dan memenuhi baku mutu air limbah.

1) Kolam maturasi/ *polishing*

Unit ini berfungsi untuk menurunkan mikroorganisme patogen (bakteri fekal dan virus). Oleh karena itu, kolam maturasi didesain dengan kedalaman yang

lebih dangkal dibandingkan sistem kolam lainnya yaitu 1-2 m. Hal ini disebabkan karena kedalaman kolam memungkinkan peningkatan efisiensi penyisihan bakteri patogen dan virus melalui penetrasi cahaya.

Tabel 19 Kriteria desain kolam maturasi

Parameter	Satuan	Nilai
Waktu retensi, Θ_m	hari	3
Efisiensi penurunan BOD, η	%	> 60
Kedalaman, D_f	m	1 – 2
Rasio panjang:lebar	-	hingga 10:1

Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya, (2017)

Adapun kelebihan dari kolam maturasi ialah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

- a) Biaya konstruksi sederhana
- b) Biaya operasional rendah karena tidak membutuhkan energi listrik dalam operasinya

Sedangkan kekurangan ialah (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

- a) Kebutuhan lahan besar
- 2) Lahan basah buatan (*constructed wetland*)

Unit ini merupakan suatu area yang dirancang sehingga menyerupai lahan basah alami (rawa) untuk mengolah air limbah yang memiliki rasio BOD/COD > 0,3 (mengindikasikan *biodegradable*). Sistem ini tergolong sebagai metode pengolahan yang kompleks karena mengintegrasikan bermacam-macam sistem, meliputi vegetasi lahan basah, tanah, dan berbagai jenis organisme yang ada di dalamnya untuk mengolah air limbah.

Tabel 20 Kriteria desain *constructed wetland*

Parameter	Satuan	Nilai
Waktu detensi (untuk menyisihkan polutan terlarut)	hari	5 – 14
Waktu detensi (untuk menyisihkan polutan tersuspensi)	hari	0,5 – 3
Laju beban BOD ₅ maksimum	kg/ha.hari	80 – 112
Laju beban hidraulik	m/hari	0,01 – 0,05
Laju permukaan dibutuhkan	ha/m ³ .hari	0,002 – 0,004
Rasio panjang:lebar		4:1 – 6:1
Kedalaman air – kondisi rerata	m	0,1 – 0,5
Rasio kemiringan dasar		3:1 – 10:1

Sumber: Crites (1994); Bendoricchio *et al* (2000)

Adapun kelebihan dari unit penyaring *constructed wetland* ialah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

- a) Mampu menerima beban yang tinggi
- b) Biaya konstruksi dan operasional lebih murah dibanding unit pengolahan lainnya
- c) Konstruksi sederhana (dapat dibangun menggunakan material lokal)
- d) Menambah nilai estetika

Sedangkan kekurangan ialah (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

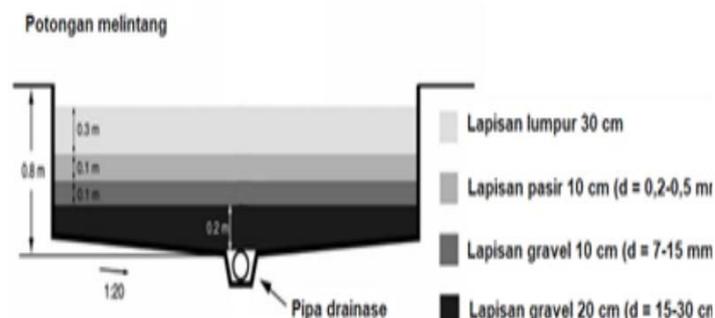
- a) Luas lahan yang dibutuhkan besar
- b) Pengolahan menggunakan *wetland* dinilai lebih ekonomis dibanding pengolahan lain hanya ketika lahan yang dibutuhkan tersedia dan tidak terlalu mahal.

2.7.6 Unit pengering lumpur

Lumpur tinja yang telah melalui tahap stabilisasi lumpur kemudian dikeringkan pada unit pengering lumpur. Proses pengeringan lumpur bertujuan untuk memudahkan tahap pembuangan lumpur. Setelah melalui proses ini, diharapkan konsentrasi padatan kering dalam lumpur dapat meningkat dan kandungan kelembabannya banyak berkurang.

a. *Sludge Drying Bed* (SDB)

Sludge drying bed berfungsi untuk mengeringkan lumpur yang telah distabilisasi. Pada unit ini, berlangsung proses pengeringan di mana terjadi filtrasi lumpur oleh media pasir dan kerikil, dan evaporasi cairan ke atmosfer. Kemudian, saluran air tersaring (filtrat) yang terdapat di bagian dasar bak berfungsi untuk mengalirkan kembali filtrat ke unit stabilisasi cairan. Gambar 7 merupakan contoh potongan unit *Sludge Drying Bed*.



Gambar 7 Potongan Unit *Sludge Drying Bed* (SDB)
Sumber: Kementerian PUPR (2018)

Tabel 21 Kriteria desain SDB

Parameter	Nilai
Ukuran bak	
Lebar	8 m
Panjang	30 m
Area yang dibutuhkan	
SDB tanpa penutup atap	0,14 – 0,28 m ² /kapita
SDB dengan penutup atap	0,10 – 0,20 m ² /kapita
<i>Sludge loading rate</i>	
SDB tanpa penutup atap	100 – 3 kg lumpur kering/m ² .tahun
SDB dengan penutup atap	150 – 400 kg lumpur kering/ m ² .tahun
<i>Sludge cake</i>	20 – 40% padatan
Kemiringan dasar	1:20
Kemiringan dasar pipa	1%

Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya (2017)

Adapun kelebihan dari unit *sludge drying area* (SDB) ialah sebagai berikut (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

- 1) Mudah untuk dioperasikan sehingga tidak membutuhkan operator berkemampuan khusus
- 2) Padatan hasil pengeringan dapat dijadikan campuran bahan pengomposan
- 3) Reduksi volume yang dihasilkan tinggi
- 4) Dapat menyisihkan bakteri patogen

Sedangkan kekurangan ialah (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017) :

- 1) Luas lahan yang dibutuhkan besar
- 2) Hasil pengeringan tergantung pada kondisi cuaca
- 3) Hanya dapat diaplikasikan pada musim kemarau atau dilengkapi dengan atap pada musim penghujan
- 4) Pembersihan padatan kering dilakukan secara manual atau menggunakan alat khusus
- 5) Berpotensi menimbulkan bau

2.8 Perencanaan Pembangunan IPLT

Menurut Novenda Cempaka Putri (2015), perencanaan pembangunan IPLT harus melalui beberapa tahapan sebagai berikut :

2.8.1 Kebutuhan dan pengumpulan data perencanaan IPLT

Kebutuhan data dalam perencanaan IPLT ialah data sekunder dan data primer. Secara umum, data yang diperlukan untuk perencanaan IPLT diantaranya ialah:

- a. Peta wilayah yang dilengkapi dengan data topografi.
- b. Data sosial dan ekonomi.
- c. Data geologi, hidrologi dan hidrogeologi seperti jenis tanah, sungai sebagai badan air efluen IPLT, dan elevasi muka air tanah dan arah alirannya.
- d. Data lainnya yang relevan dengan perencanaan IPLT.

2.8.2 Penentuan daerah pelayanan IPLT

Menentukan daerah pelayanan IPLT merupakan hal penting dalam perencanaan IPLT. Untuk itu perlu dilakukan pengumpulan data dan kajian terhadap rencana induk sistem penanganan air limbah yang ada di daerah bersangkutan. Umumnya, IPLT hanya akan menerima lumpur tinja yang berasal dari tangki septik dan bukan campuran lumpur tinja dengan air limbah industry, rumah sakit, ataupun air limbah laboratorium.

Selain itu, dalam menentukan wilayah/daerah layanan, perlu ditetapkan target pelayanan IPLT. Menurut Permen PUPR (2017), target pelayanan IPLT berupa presentasi dari jumlah penduduk kota yang akan dilayani oleh sarana IPLT, yaitu sebesar 60%. Rencana induk (master plan) air limbah dan target pelayanan IPLT digunakan sebagai data bagi perencana dalam membuat peta rencana daerah pelayanan sarana IPLT yang akan dibangun.

2.8.3 Penentuan lokasi IPLT

Setelah daerah pelayanan ditentukan, langkah selanjutnya ialah menentukan lokasi IPLT yang akan dibangun. Beberapa aspek penting dalam menentukan lokasi IPLT diantaranya:

- a. Efisiensi dan efektifitas sistem IPLT (investasi, operasi dan pemeliharaan).
- b. Kemudahan transportasi lumpur tinja dari daerah layanan ke lokasi IPLT.
- c. Aman terhadap lingkungan disekitarnya (banjir, gempa bumi, resiko populasi, gunung merapi).
- d. Dapat dikembangkan pada waktu yang akan datang seiring dengan berkembangnya kota atau daerah layanan.

2.8.4 Penentuan kapasitas IPLT

Kapasitas IPLT ditentukan dengan menghitung jumlah sarana tangka septik yang berada di wilayah terkait. Namun bila data jumlah tangki septik sulit untuk didapatkan atau diinventarisasi, dapat digunakan pendekatan 60% sebagai minimal pelayanan pada daerah terkait (Permen PUPR, 2017). Kapasitas (debit) IPLT dihitung dengan menggunakan Persamaan 1.

$$V \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) = \frac{\% \text{ pelayanan} \times P \times Q}{1000} \quad (1)$$

Keterangan :

V = debit total yang akan masuk ke IPLT (m^3)

P = jumlah penduduk yang dilayani pada akhir periode desain (orang)

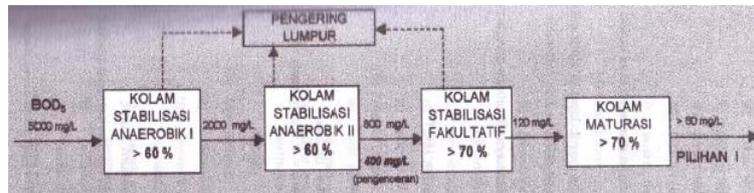
Q = debit timbulan lumpur tinja (L/orang/hari), dapat digunakan pendekatan (0,25 L/orang/hari – 0,5 L/orang/hari)

% = persentase pelayanan dengan menggunakan pendekatan minimal 60%

2.9 Pemilihan Alternatif Sistem Pengolahan.

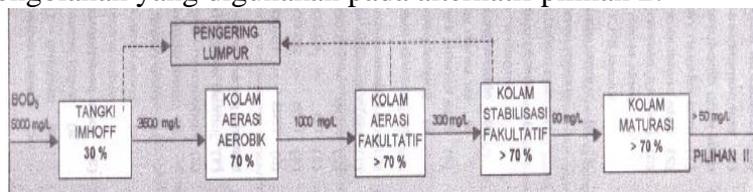
Menurut Hasanah, Nindito dan Kamiana (2017), alternatif metode pengolahan yang direkomendasikan oleh Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Cipta Karya berdasarkan jumlah penduduk yang dilayani (berdasarkan CT/AL/RE-TC/001/98), yaitu :

1. Alternatif pilihan 1 digunakan untuk pelayanan maksimal 50.000 orang dan jarak IPLT ke permukiman terdekat minimal 500 m. Gambar 8 merupakan unit pengolahan yang digunakan pada alternatif pilihan 1 .



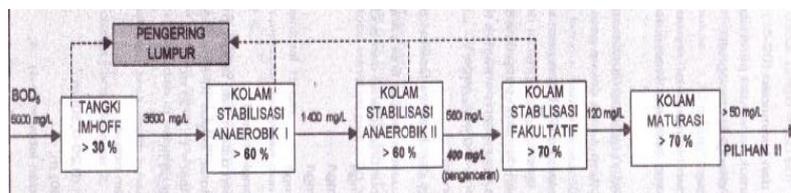
Gambar 8 Alternatif unit pengolahan IPLT pilihan 1
Sumber : Hasanah dkk (2017)

2. Alternatif pilihan 2, digunakan untuk pelayanan 50.000 – 100.000 orang dan jarak ke IPLT ke permukiman terdekat minimal 250 m. Gambar 9 merupakan unit pengolahan yang digunakan pada alternatif pilihan 2.



Gambar 9 Alternatif unit pengolahan IPLT pilihan 2
Sumber: Hasanah dkk (2017)

3. Alternatif pilihan 3, digunakan untuk pelayanan > 100.000 orang dan jarak IPLT ke pemrukiman terdekat minimal 250 m. Gambar 10 merupakan unit pengolahan yang digunakan pada alternatif pilihan 3.



Gambar 10 Alternatif unit pengolahan IPLT pilihan 3.
Sumber : Hasanah dkk (2017)

2.10 Proyeksi Jumlah Penduduk

Proyeksi jumlah penduduk adalah suatu metode yang dipakai untuk memperkirakan jumlah penduduk dimasa yang akan datang dengan dasar kondisi perkembangan penduduk dari tahun ke tahun. Pendekatan (metode) untuk memperkirakan laju pertumbuhan penduduk ada beberapa cara, dimana dasar penyelesaiannya dengan melakukan kajian terhadap data terlebih yang ada

sebelumnya (Khotami, 2017). Menurut Khotami (2017), terdapat beberapa metode untuk menentukan proyeksi pertumbuhan penduduk antara lain:

2.10.1 Metode aritmatika

Metode aritmatika digunakan apabila terjadi penambahan populasi secara periodik dan relatif konstan. Pertumbuhan penduduk ini terjadi pada kota dengan luas wilayah yang kecil, tingkat pertumbuhan ekonomi rendah, dan pengembangan kota tidak terlalu pesat (Latifah, 2019).

Rumus umum yang digunakan dalam metode aritmatika adalah :

$$P_n = P_o (1 + r \times n) \quad (2)$$

Dimana :

- P_n = jumlah penduduk pada tahun ke-n (jiwa)
- P_o = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)
- r = angka pertambahan penduduk per tahun (%)
- n = jumlah tahun proyeksi (tahun)

2.10.2 Metode berganda (geometrik)

Proyeksi dengan metode ini menganggap bahwa perkembangan penduduk secara otomatis berganda, dengan pertumbuhan penduduk. Rumus umum yang digunakan dalam metode ini adalah :

$$P_n = P_o (1+r)^n \quad (3)$$

Dimana :

- P_n = jumlah penduduk pada tahun ke-n (jiwa)
- P_o = jumlah penduduk pada awal tahun data (jiwa)
- r = Rata-rata pertambahan penduduk tiap tahun (%)
- n = jangka waktu tahun proyeksi

2.10.3 Metode eksponensial

Metode eksponensial dapat digunakan jika pertumbuhan penduduk meningkat secara terus menerus. Metode ini menghasilkan tingkat keakuratan yang lebih tinggi.

$$P_n = P_o \times e^{r \cdot n} \quad (4)$$

$$r = \frac{\left\{ \ln \left(\frac{P_n}{P_o} \right) \right\}}{t} \quad (5)$$

Dimana :

- P_n = jumlah penduduk pada akhir tahun ke-n (jiwa)
- P = Jumlah penduduk pada awal tahun (jiwa)
- r = angka pertambahan penduduk (%)
- e = bilangan logaritma natural (2,7182818)
- n = periode tahun yang ditinjau
- t = periode antara tahun dasar dengan tahun n

2.11 Uji Kesesuaian Metode Proyeksi

Dalam menentukan metode yang paling tepat yang digunakan dalam perencanaan, diperlukan perhitungan koefisien korelasi dan standar deviasi. Koefisien korelasi dan standar deviasi diperoleh dari hasil perhitungan data kependudukan dengan metode yang telah diproyeksikan (Nurdiansyah, 2018).

1. Standar Deviasi

Standar deviasi diartikan sebagai nilai atau standar yang menunjukkan besar jarak sebaran nilai rata-rata. Jadi semakin besar nilai standar deviasi, maka data menjadi kurang akurat. Berikut merupakan rumusan dari perhitungan standar deviasi (Nurdiansyah, 2018).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (6)$$

Dimana :

- S = Standar deviasi
- X_i = Nilai varian (penduduk proyeksi)
- \bar{X} = Nilai rata – rata
- n = banyaknya data

2. Koefisien Korelasi

Pemilihan metode proyeksi pertumbuhan penduduk berdasarlan cara pengujian statistik yakni berdasarkan pada nilai koefisien yang terbesar mendekati +1. Adapun rumusan untuk menentukan besarnya koefisien korelasi adalah sebagai berikut (Nurdiansyah, 2018):

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(nX^2 - (\sum X)^2)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (7)$$

2.12 Penelitian Terdahulu

Perencanaan unit Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) sudah pernah dilakukan melalui beberapa penelitian. Berikut pada Tabel 22 merupakan beberapa hasil dari penelitian terdahulu terkait evaluasi IPLT

Tabel 22 Penelitian terdahulu perencanaan unit Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)

No	Nama	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Ananda Amelia Shahab 2020	Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Di Perumahan Citra Wisata Dengan Menggunakan <i>Anaerobic Digestion</i>	Sistem pengolahan lumpur tinja yang direncanakan di Perumahan Citra Wisata dimulai dari bak penerima, <i>bar screen</i> , bak ekualisasi, <i>anaerobic digester</i> , kolam fakultatif, <i>sludge drying bed</i> dan penampung padatan kering. IPLT yang direncanakan mampu mereduksi konsentrasi BOD, COD, TSS dan Total Koliform masing-masing 98%, 97%, 92% dan 99% dengan waktu tinggal 67,6 hari.
2	Trio Handoko 2021	Perencanaan Instalasi Pengolahan Limbah Tinja (IPLT) Kabupaten Tulang Bawang Barat Sistem Kolam Stabilisasi (Studi Kasus: IPLT Penunangan Kabupaten Tulang Bawang Barat)	Teknologi pengolahan lumpur tinja di IPLT Kabupaten Tulang Bawang Barat menggunakan sistem kolam stabilisasi. Rencana sistem pengolahan yang akan diterapkan merupakan sistem pengolahan yang paling efisien. Berdasarkan analisis, maka sistem pengolahan lumpur tinja di IPLT Kabupaten Tulang Bawang Barat direncanakan terdiri dari Kolam SSC, Kolam Anaerobik, Kolam Fakultatif dan Kolam Maturasi.
3	Neny Mulyani, Mukhamad Solikhin 2018	Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Babakan Karet Kabupaten Cianjur Menggunakan Kolam Stabilisasi Tahun 2017	IPLT Babakan Karet didesain dengan debit layanan limbah domestik pada tahun 2028 adalah 71 m ³ /hari. Pengolahan lumpur tinja didesain menggunakan kombinasi unit pemisa padatan cairan yang terdiri dari tangki <i>Imhoff</i> , kolam anaerobik, kolam fakultatif, kolam maturase, kolam aerasi dan bak pengering lumpur (<i>sludge drying bed</i>)
4	Hafizhul Hidayat, Aryo Sasmita, Muhammad	Perencanaan Pembangunan Instalasi Pengolahan	Debit lumpur tinja pada tahun rencana 2030 di Kecamatan Tampan adalah 135 m ³ /hari. Pengolahan lumpur tinja yang pilih berdasarkan hasil analisis ialah

No	Nama	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
	Reza 2017	Lumpur Tinja (IPLT) Di Kecamatan Tampan Kota Pekanbaru	<i>sludge separation chamber</i> (SSC) sebagai pengolahan secara fisik dengan efisiensi pengolahan untuk BOD dan TSS yaitu 35% dan 85%. Pengolahan biologi dengan 2 unit <i>anaerobic baffle reactor</i> (ABR) memiliki efisiensi pengolahan BOD sebesar 95% dan 85% serta TSS sebesar 85% dan 80%.
5	Ainun Hasanah, Dwi Anung Nindito dan I Made Kamiana 2017	Studi Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) DI Kota Kuala Kapuas Kabupaten Kapuas	Perencanaan IPLT di Kota Kuala Kapuas, Kabupaten Kapuas menggunakan unit tangka <i>Imhoff</i> , kolam anaerobik, kolam fakultatif, kolam maturasi dan unit pengering lumpur.
6	Dedy Sukma Ramadhandi 2016	Desain Umum Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Di Kecamatan Tenggarong	Hasil dari perencanaan ini didapatkan jumlah lumpur tinja yang dihasilkan penduduk sebesar 87 m ³ /hari. Unit pengolahan yang direncanakan berdasarkan hasil analisis ialah tangki <i>Imhoff</i> , kolam anaerobik 1, kolam anaerobik 2, kolam fakultatif, kolam maturase dan 5 bak pengering lumpur.
7	Dwi Oktarina, Helmi Haki 2013	Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Sistem Kolam Kota Palembang (Studi Kasus: IPLT Sukawinatan)	Debit lumpur tinja terencana yang akan diolah di IPLT Sukawinatan sebesar 70 m ³ /hari. Dari hasil perhitungan perencanaan, unit yang digunakan ialah tangki <i>Imhoff</i> , kolam anaerobik dengan waktu detensi 10 hari, kolam fakultatif dengan waktu retensi 41 hari, kolam maturase dengan waktu detensi 5 hari dan bak pengering lumpur dengan waktu pengeringan lumpur (<i>sludge</i>) selama 7 hari.