



TUGAS AKHIR - RE 184804

## PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADIUN

EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
0321154000018

DOSEN PEMBIMBING:  
Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M. Eng.

Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RE 184804

## **PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADIUN**

EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
0321154000018

DOSEN PEMBIMBING  
Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M. Eng.

Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya, 2019



FINAL PROJECT - RE 184804

## **DESIGN OF FAECAL SLUDGE TREATMENT PLANT (FSTP) IN MADIUN CITY**

EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP. 0321154000018

ADVISOR  
Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M. Eng.

Department of Environmental Engineering  
Faculty of Civil Environmental and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya, 2019

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR TINJA  
(IPLT) DI KOTA MADIUN**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh:

**EMILIA FIRDAUS DAHNIAR**  
NRP. 03211540000018

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Ir. Bowo Dioko Marsono, M.Eng.  
NIP. 19650217 199102 1 001





# PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADIUN

Nama Mahasiswa : Emilia Firdaus Dahniar  
NRP : 0321154000018  
Departemen : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng

## ABSTRAK

Kota Madiun sebagai kota *Open Defecation Free* (ODF) sejak tahun 2014, hingga tahun 2017 memiliki jumlah penduduk sebanyak  $\pm 176.099$  jiwa, dengan jumlah penduduk yang cukup tinggi, diperkirakan timbunan lumpur tinja yang ada di Kota Madiun akan sebanding dengan tingginya jumlah penduduk. Sebanyak  $\pm 42.276$  KK atau 97,1% penduduk di Kota Madiun menggunakan sistem *individual on-site* berupa tangki septik, namun mayoritas penduduk pengguna tangki septik di Kota Madiun sebanyak 66,5% tidak pernah melakukan pengurasan, dan hanya 33,5% yang melakukan pengurasan lumpur tinja. Pengurasan lumpur tinja dilakukan oleh pihak swasta penyedia jasa layanan sedot tinja dan di buang di lahan terbuka atau badan air, hal ini disebabkan karena Kota Madiun belum memiliki Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) dan terkendala jarak dan waktu tempuh untuk menuju lokasi IPLT terdekat, yaitu IPLT Kabupaten Madiun dan IPLT Kabupaten Ponorogo, oleh karena itu diperlukan adanya Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun.

Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun direncanakan terletak di Kelurahan Winongo, Kecamatan Manguharjo, Kota Madiun, tahapan perencanaan dimulai dari perizinan, survey lapangan, pengambilan data primer menggunakan metode kuisioner semi terbuka kepada masyarakat Kota Madiun, wawancara terstruktur kepada penyedia jasa layanan sedot tinja, swasta,

observasi langsung untuk melihat lokasi perencanaan, dan uji karakteristik lumpur tinja yang dilakukan di IPLT Keputih, Surabaya, serta pengambilan data sekunder kepada Dinas PU Cipta Karya, Dinas Kesehatan dan Keluarga Berencana, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kota Madiun, dan Badan Pusat Statistik Kota Madiun.

Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun direncanakan dengan persen pelayanan 70% , sehingga pada periode akhir perencanaan di tahun 2038, kapasitas Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja di Kota Madiun dengan 7 hari kerja mencapai 30 m<sup>3</sup>/ hari. Unit alternatif pengolahan yang digunakan antara lain *Solid Separation Chamber*, *Anaerobik Baffled Reactor*, *Aerated Lagoon*, *Constructed Wetland*, Bak Desinfeksi , *Sludge Drying Bed* dan *Drying area* dengan total lahan yang dibutuhkan sebesar 477,85 m<sup>2</sup>. Berdasarkan HSPK Kota Madiun tahun 2018, estimasi dana yang dibutuhkan untuk pembangunan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) sebesar Rp 2.325.000.000. Perhitungan kelayakan ekonomi dengan menggunakan metode *Economic Net Present Value* (ENPV) menghasilkan nilai + Rp 31.357.581.626, dan metode *Economic Benefit Cost Ratio* (EBCR) menghasilkan nilai 6,6 sehingga proyek dinyatakan layak secara ekonomi.

**Kata kunci : IPLT, kelayakan ekonomi, lumpur tinja, Permen LHK 68/2018, tangki septik**

# **DESIGN OF FAECAL SLUDGE TREATMENT PLANT (FSTP) IN MADIUN CITY**

Name of student : Emilia Firdaus Dahniar  
NRP : 0321154000018  
Department : Environmental Engineering  
Supervisor : Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng

## **ABSTRACT**

Madiun as a city of Open Defecation Free (ODF) since 2014, until 2017 has a population of  $\pm 176,099$  inhabitants, with a fairly high population, it is estimated that the generation of sludge in the city of Madiun will be proportional to the high population.  $\pm 42,276$  households or 97.1% of the population in the city of Madiun use an individual on-site system in the form of a septic tank, but 66.5% of the population using septic tanks in Madiun never drained, and only 33.5% did drainage of sludge. Drainage sludge is carried out by private sewerage service providers and disposed of in open land or water bodies, this is due to the fact that Madiun City does not have a Faecal Sludge Treatment Plant (FSTP) and is constrained by distance and travel time to get to the nearest FSTP location, namely IPLT of Madiun Regency and IPLT in Ponorogo Regency. Therefore Faecal Sludge Treatment Plant (FSTP) is needed in Madiun City.

Planning for Fecal Sludge Treatment Plant (FSTP) is planned in Winongo Village, Manguharjo Subdistrict, Madiun City, planning stages start from licensing, field surveys, primary data collection using semi-open questionnaire methods to the people of Madiun City, structured interviews to private parties, direct observation for see the location of planning, and test the characteristics of fecal sludge carried out in Keputih FSTP, Surabaya, and secondary data collection to the General of Human Settlements Office, Health and Family Planning Office, Regional Development Planning Agency, and Madiun City Central Bureau of Statistics.

The planned Fecal Sludge Treatment Plant (IPLT) in the city of Madiun is planned to service 70%, so that in the final period of planning in 2038, the capacity of the Faecal Sludge

Treatment Plant in Madiun City with 7 working day reaches 30 m<sup>3</sup>/day. The alternative processing unit in the form of Solid Separation Chamber, Anaerobic Baffle Reactor, *Aerated Lagoon*, *Constructed Wetland*, Disinfection, Sludge Drying Bed and Drying area with a total area of 477, 85 m<sup>2</sup>. Based on HSPK Madiun 2018 estimated funds needed for the construction of Faecal Sludge Treatment Plant (FSTP) of Rp 2.325.000.000. The economic feasibility calculation using Economic Net Present Value (ENPV) method produces a value of + Rp 31.357.581.626, and *Economic Benefit Cost Ratio* (EBCR) method produces a value of 6,6 so that the project is declared economic feasible.

**Keywords: FSTP, economic feasibility, sewage sludge, LHK 68/2018, septic tank**

## KATA PENGANTAR

Tiada kata yang indah untuk bersyukur kecuali ucapan Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT atas segala karunia dan ridho-Nya dan juga utusan-Nya, yaitu Rasulullah SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja di Kota Madiun”. Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam kelancaran penulisan laporan tugas akhir ini, antara lain:

1. Kedua orang tua, saudara dan keluarga yang selalu memberikan doa, motivasi, dan dukungan moral maupun material.
2. Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng selaku dosen pembimbing tugas akhir atas segala ilmu dan kesediaan waktu yang diberikan selama proses bimbingan.
3. Ibu Ir. Atiek Moesriati, M.kes, Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, MSc., PhD, dan Bapak Welly Herumurti, ST., MSc selaku dosen pengarah yang telah memberikan saran dan masukan.
4. Seluruh sahabat, orang terdekat, teman-teman Teknik Lingkungan 2015 yang selalu mendukung dan memberikan semangat.
5. Instansi pemerintah Kota Madiun dan seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan bantuan dan masukan kepada penulis.

Penyusunan tugas akhir ini telah diusahakan semaksimal mungkin dan semoga dapat bermanfaat bagi seluruh pihak. Kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Terima kasih.

Surabaya, 2019

**Penulis**

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Ruang Lingkup .....	4
1.5 Manfaat .....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Air Limbah Domestik .....	5
2.2 Baku Mutu Air Limbah .....	5
2.3 Laju produksi lumpur tinja.....	6
2.4 Karakteristik Lumpur Tinja.....	6
2.5 Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) .....	10
2.5.1 Unit Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja .....	11
2.5.2 Jenis Pengolahan Lumpur Tinja .....	20
2.5.3 Anaerobic Baffled Reactor (ABR) .....	22
2.5.4 Sistem Lahan Basah Buatan ( Constructed Wetland) ...	27
2.5.5 Karakteristik Tanaman <i>Iris Pseudacorus</i> .....	34
2.5.6 Kapasitas Pengolahan Lumpur Tinja.....	36

2.6 Analisis Kelayakan Ekonomi.....	37
<b>BAB 3 GAMBARAN UMUM WILAYAH PERENCANAAN .....</b>	<b>39</b>
3.1 Gambaran Umum Wilayah Kota Madiun .....	39
3.1.1 Kependudukan .....	40
3.1.2 Kondisi Klimatologi dan Curah Hujan .....	43
3.1.3 Kondisi Geologi.....	44
3.2 Kondisi Pengelolaan Air Limbah Kota Madiun.....	44
3.3 Rencana Lokasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) . .....	48
<b>BAB 4 METODE PERENCANAAN.....</b>	<b>53</b>
4.1 Gambaran Umum Perencanaan.....	53
4.2 Kerangka Perencanaan.....	53
4.3 Rangkaian Kegiatan Perencanaan .....	55
4.3.1 Ide Perencanaan .....	55
4.3.2 Studi Literatur .....	55
4.3.3 Pengumpulan Data .....	56
4.4 Analisis Data dan Pembahasan.....	61
4.5 Kesimpulan dan Saran .....	69
<b>BAB 5 PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR TINJA (IPLT) .....</b>	<b>71</b>
5.1 Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja .....	71
5.1.1 Analisis Hasil Survei .....	71
5.1.2 Proyeksi Penduduk Kota Madiun.....	81
5.1.3 Debit Lumpur Tinja .....	86
5.1.4 Penentuan Alternatif Pengolahan .....	91
5.1.5 Perencanaan Teknik Terinci ( <i>Detail Engineering Design</i> ).....	97
5.2 Rencana Anggaran Biaya.....	152



5.2.1 Harga Satuan .....	152
5.2.2 Analisa HSPK .....	154
5.2.3 Perhitungan BOQ unit IPLT .....	166
5.2.4 Rencana Anggaran Biaya Operasional.....	189
5.3 Analisis Kelayakan Ekonomi.....	191
5.3.1 Nilai <i>Cost</i> .....	192
5.3.2 Nilai <i>Benefit</i> .....	192
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN .....	197
6.1 Kesimpulan.....	197
6.2 Saran.....	197
DAFTAR PUSTAKA .....	199
BIOGRAFI PENULIS .....	221

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Domestik .....	6
Tabel 2.2 Karakteristik lumpur tinja dari fasilitas sanitasi .....	9
Tabel 2.3 Karakteristik lumpur tinja di Indonesia .....	10
Tabel 2.4 Kriteria Desain Unit Penyaringan.....	11
Tabel 2.5 Kriteria Desain Unit Ekualisasi.....	12
Tabel 2.6 Kriteria Desain Pemisahan Partikel Diskrit .....	12
Tabel 2.7 Kriteria Desain Tangki Imhoff .....	13
Tabel 2.8 Kriteria Desain <i>Clarifier</i> .....	14
Tabel 2.9 Kriteria Desain Kolam Pemisahan Lumpur .....	15
Tabel 2.10 Kriteria Desain <i>Drying Area</i> .....	15
Tabel 2.11 Kriteria Desain <i>Anaerobic Sludge Digester</i> .....	16
Tabel 2.12 Kriteria Desain <i>Oxydation Ditch</i> .....	17
Tabel 2.13 Kriteria Desain <i>Sludge Drying Bed</i> .....	18
Tabel 2.14 Kriteria Desain <i>Filter Press</i> .....	19
Tabel 2.15 Kriteria Desain <i>Belt Filter Press</i> .....	20
Tabel 2.16 Karakteristik Media dalam SSCW.....	30
Tabel 2.17 Kinerja SSCW Berdasarkan Jenis Media .....	31
Tabel 3.1 Luas Wilayah Kota Madiun Per Kelurahan .....	39
Tabel 3.2 Luas Wilayah, dan Kependudukan Kota Madiun 2017	41
Tabel 3.3 Data Suhu Udara Menurut Bulan di Kota Madiun Tahun 2017 .....	43
Tabel 3.4 Data Curah Hujan Menurut Bulan di Kota Madiun Tahun 2017 .....	43
Tabel 3. 5 Persentase akses jamban sehat Kota Madiun .....	45
Tabel 4.1 Metode pemeriksaan sampel lumpur tinja .....	59
Tabel 4.2 Jumlah Responden <i>Proportional Random Sampling</i> ..	60
Tabel 4.3 Baku Mutu Air Limbah .....	62
Tabel 4.4 Unit Pengolahan berdasarkan Kandungan Air Limbah .....	63
Tabel 4. 5 Efisiensi Removal Unit Pengolahan Lumpur Tinja.....	64
Tabel 5.1 Jumlah Penyedotan dan Tarif Tiap Jasa Layanan Sedot Tinja.....	81

Tabel 5.2 Data Penduduk Kota Madiun Tahun 2010 - 2017.....	81
Tabel 5.3 Persentase Laju Pertumbuhan Penduduk di Kota Madiun 2010-2017.....	82
Tabel 5.4 Perhitungan Statistik Penduduk Kota Madiun.....	83
Tabel 5.5 Deviasi Standar dan Koefisien Korelasi dari Hasil Perhitungan Aritmatika .....	84
Tabel 5.6 Deviasi Standar dan Koefisien Korelasi dari Hasil Perhitungan Geometri .....	84
Tabel 5.7 Deviasi Standar dan Koefisien Korelasi dari Hasil Perhitungan <i>Least Square</i> .....	85
Tabel 5.8 Perhitungan Standar Deviasi dan Koefisien Korelasi sebagai Uji Kesesuaian Metode Proyeksi .....	85
Tabel 5. 9 Proyeksi Penduduk Kota Madiun Tahun 2019-2038 .	86
Tabel 5.10 Karakteristik Lumpur Tinja Awal .....	91
Tabel 5.11 Alternatif Pengolahan 1 .....	93
Tabel 5.12 Alternatif Pengolahan 2 .....	93
Tabel 5.13 Pembobotan untuk Pemilihan Alternatif Pengolahan	96
Tabel 5. 14 Keterangan Angka Pembobotan.....	97
Tabel 5.15 Penjadwalan Operasional Unit <i>Solid Separation Chamber</i> (SSC).....	98
Tabel 5. 16 Efisiensi Pengolahan Solid Separation Chamber (SSC).....	99
Tabel 5. 17 Efisiensi <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> .....	114
Tabel 5.18 Efisiensi Kolam Aerasi .....	126
Tabel 5.19 Efisiensi <i>Constructed Wetland</i> .....	133
Tabel 5.20 Efisiensi Removal Unit Desinfeksi .....	144
Tabel 5.21 Rekapitulasi <i>Headloss</i> Unit Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT).....	151
Tabel 5.22 Harga Satuan Upah.....	152
Tabel 5.23 Harga Satuan Material.....	153
Tabel 5.24 Harga Satuan Sewa Peralatan .....	154
Tabel 5.25 Analisa HSPK IPLT Kota Madiun .....	155
Tabel 5.26 RAB Unit Solid Separation Chamber .....	181
Tabel 5.27 RAB Unit Drying Area.....	182

Tabel 5.28 RAB Unit Anaerobic Baffled Reactor .....	183
Tabel 5.29 RAB Unit Aerated Lagoon .....	184
Tabel 5.30 RAB Unit <i>Constructed Wetland</i> .....	185
Tabel 5.31 RAB Unit Desinfeksi .....	186
Tabel 5. 32 RAB Unit Bak Indikator .....	187
Tabel 5.33 RAB Unit <i>Sludge Drying Bed</i> .....	188
Tabel 5.34 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) Pembangunan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun.....	189
Tabel 5.35 Biaya Tenaga Kerja .....	190
Tabel 5.36 Biaya Penunjang dan <i>Overhead</i> Kantor .....	190
Tabel 5.37 Biaya Kebutuhan Listrik.....	190
Tabel 5.38 Biaya Perawatan IPLT .....	191
Tabel 5.39 Rekapitulasi Biaya Pengolahan, Pengoperasian dan Pemeliharaan IPLT .....	191
Tabel 5.40 Rekapitulasi Nilai <i>Cost</i> Operasional dan Pemeliharaan IPLT.....	192

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> (ABR) .....	23
Gambar 2.2 <i>Rhizoma Iris Pseudacorus</i> .....	35
Gambar 2.3 Tanaman <i>Iris Pseudacorus</i> .....	35
Gambar 3.1 Peta Administrasi Kota Madiun.....	42
Gambar 3.2 Grafik Waktu Terakhir Pengurasan Tangki Septik..	46
Gambar 3.3 Diagram Sistem Sanitasi Pengelolaan Air Limbah Kota Madiun .....	47
Gambar 3.4 Peta Tata Ruang Wilayah Kota Madiun.....	50
Gambar 3.5 Peta Rencana Lokasi IPLT .....	51
Gambar 3.6 Kondisi Jalan Lokasi IPLT .....	51
Gambar 5.1 Persentase Pengguna Tangki Septik .....	72
Gambar 5.2 Letak Lokasi Tangki Septik.....	73
Gambar 5.3 Persentase Kapasitas Tangki Septik.....	74
Gambar 5.4 Bahan Material atau Konstruksi Pembangunan Tangki Septik.....	74
Gambar 5.5 Fasilitas lubang akses sedot tinja .....	75
Gambar 5.6 Interval Pengurasan Tangki Septik Terakhir.....	75
Gambar 5.7 Cara Pengurasan Tangki Septik.....	76
Gambar 5.8 Biaya Retribusi Penyedotan Tinja.....	77
Gambar 5.9 Retribusi yang diharapkan Responden.....	78
Gambar 5.10 Sumber Air Penduduk Kota Madiun .....	78
Gambar 5.11 Keluhan terhadap Air Bersih.....	79
Gambar 5.12 Sumber Keluhan terhadap Air Bersih .....	80
Gambar 5.13 Kapasitas IPLT .....	90

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## **DAFTAR LAMPIRAN**

LAMPIRAN 1 LEMBAR KUISIONER .....	205
LAMPIRAN 2 SPESIFIKASI AERATOR.....	211
LAMPIRAN 3 DOKUMENTASI .....	213
LAMPIRAN 4 HASIL UJI LABORATORIUM .....	215
LAMPIRAN 5 ANALISIS KELAYAKAN .....	217

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kota Madiun merupakan salah satu kota berkembang di Jawa Timur yang telah berhasil melakukan pencapaian sebagai kota *Open Defecation Free* (ODF) pada tahun 2014, hingga tahun 2017 memiliki jumlah penduduk sebanyak  $\pm 176.099$  jiwa (BPS, 2018) yang tersebar di 3 kecamatan yaitu Kecamatan Manguharjo, Kecamatan Kartoharjo, dan Kecamatan Taman, dengan jumlah penduduk yang cukup tinggi, diperkirakan timbulan lumpur tinja yang ada di Kota Madiun akan sebanding dengan jumlah penduduknya yang tinggi. Hingga saat ini,  $\pm 42.276$  KK atau 97,1% penduduk di Kota Madiun telah menggunakan sistem *individual on-site* berupa tangki septik untuk mengolah limbah tinja yang dihasilkan (Strategi Sanitasi Kota (SSK) Madiun, 2017). Pengolahan limbah dengan menggunakan sistem setempat (*on-site system*) memerlukan pengurasan yang dilakukan secara berkala, umumnya 1-3 tahun sekali, untuk menghindari kejenuhan atau penuhnya tangki septik (Dewi, 2014).

Berdasarkan studi *Environmental Health Risk Assessment* (EHRA) (2016), mayoritas penduduk pengguna tangki septik di Kota Madiun sebanyak 66,5% tidak pernah melakukan pengurasan, dan hanya 33,5% yang melakukan pengurasan lumpur tinja. Pengurasan lumpur tinja sebanyak 70,1% dilakukan oleh pihak swasta penyedia jasa layanan sedot tinja, menurut (Strategi Sanitasi Kota (SSK) Madiun, 2017) praktik pengurasan lumpur tinja di Kota Madiun yang dilakukan oleh pihak swasta penyedia jasa layanan sedot tinja dibuang di lahan terbuka atau badan air, hal ini disebabkan karena Kota Madiun belum memiliki Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) sebagai salah satu upaya untuk mengolah lumpur tinja sebelum dilakukan pembuangan ke badan air, dan terkendala jarak dan waktu tempuh untuk menuju lokasi IPLT terdekat. Pembuangan lumpur tinja ke badan air seharusnya tidak dilakukan karena dapat meningkatkan pencemaran, meski lumpur tinja telah dilakukan pengolahan di tangki septik, namun lumpur tinja hasil pengurasan pada umumnya masih mengandung bakteri

*Eschericia Coli* dan telur cacing, yang berpotensi menimbulkan epidemik penyakit muntaber, diare, dan lainnya (Suryanto, 2018; Dewi, 2014).

Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) merupakan salah satu upaya pengendalian lingkungan, karena pengolahan limbah, khususnya lumpur tinja yang telah diolah secara setempat (*on-site*), yaitu menggunakan tangki septik masih perlu melalui pengolahan lanjutan dan hasil olahan harus memenuhi kriteria atau baku mutu layak untuk dibuang di lingkungan (Armawati, 2018; Mbéguéré *et al.*, 2010), namun secara umum Wardhana (2009) mengungkapkan hasil olahan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) berupa lumpur kering dan air dapat dimanfaatkan kembali, lumpur kering dapat dimanfaatkan menjadi pupuk dan air olahan dapat digunakan untuk keperluan irigasi.

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 Tahun 2017 pada Lampiran II menyatakan daerah dan/atau kawasan dengan jumlah penduduk minimal 50.000 (lima puluh ribu) jiwa dan telah memiliki tangki septik, diharapkan memiliki sebuah IPLT, sesuai hal tersebut maka Kota Madiun telah memenuhi standar pelayanan minimum yang di targetkan oleh pemerintah. Selain itu, menurut (Strategi Sanitasi Kota (SSK) Madiun, 2017) adanya pembangunan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) merupakan target utama pemerintah Kota Madiun untuk meningkatkan angka keamanan total sistem air limbah yang semula 0% menjadi 20% pada tahun 2022. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merencanakan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun guna mencegah pembuangan lumpur tinja sembarangan sehingga tidak membahayakan kesehatan dan lingkungan, dan hasil olahan dari Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan pertanian, selain itu mendukung target pemerintah Kota Madiun dalam peningkatan angka keamanan total sistem air limbah yang semula 0% menjadi 20% pada tahun 2022.

Dalam perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun dilakukan pendekatan perencanaan berupa aspek teknis dan aspek finansial. Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun akan dilakukan

berdasarkan pertimbangan kebutuhan lahan, efisiensi pengolahan, penggunaan energi, keahlian tenaga kerja. Sehingga diperlukan perhitungan anggaran biaya untuk memperkirakan biaya dalam tahap pembangunan hingga operasional, dan perhitungan kelayakan ekonomi sebagai gambaran manfaat ekonomi yang diterima masyarakat di Kota Madiun dengan adanya perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) ini. Berdasarkan aspek tersebut, maka diperlukan perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam perencanaan ini adalah :

1. Kota Madiun belum memiliki Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) sebagai tempat pengolahan lanjutan dari pembuangan hasil pengurasan tangki septik masyarakat.
2. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk memperkirakan biaya pembangunan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun.
3. Perhitungan kelayakan ekonomi dalam perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun.

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dari perencanaan ini adalah sebagai berikut :

1. Merencanakan unit Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun sesuai dengan kapasitas tampung dan efluen memenuhi baku mutu yang ditetapkan.
2. Menyusun Rencana Anggaran Biaya (RAB) perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun.
3. Menghitung kelayakan ekonomi perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun.

#### 1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam perencanaan ini adalah :

1. Lokasi perencanaan adalah Kota Madiun.
2. Periode perencanaan 20 tahun, disesuaikan dengan rencana tata ruang wilayah Kota Madiun dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 Tahun 2017.
3. Baku mutu air limbah domestik mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 68 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik.
4. Aspek yang dikaji adalah aspek teknis dan aspek finansial.
5. Perencanaan teknik terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun.
6. Alternatif Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) menggunakan sistem aerasi.
7. Perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) mengacu pada Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Madiun tahun 2018.
8. Perhitungan kelayakan ekonomi perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun dengan metode *Economic Net Present Value* (ENPV), *Economic Benefit Cost Ratio* (EBCR).

#### 1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari perencanaan adalah :

1. Memberikan alternatif pengolahan dalam penyusunan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) yang dapat diterapkan di Kota Madiun.
2. Memberikan solusi terkait kelayakan ekonomi untuk pembangunan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) yang akan direncanakan menggunakan metode *Economic Net Present Value* (ENPV), *Economic Benefit Cost Ratio* (EBCR).

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Air Limbah Domestik**

Air limbah domestik merupakan air bekas hasil kegiatan manusia sehari - hari yang sudah tidak terpakai lagi. Air limbah domestik biasanya mengandung patogen, padatan tersuspensi, nutrisi (nitrogen dan fosfor) serta polutan organik lainnya (Devi dan Dahiya, 2008). Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 112 tahun 2003 yang dimaksud dengan air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (restoran), perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama.

Air limbah domestik dapat dibagi menjadi 2 (dua) yaitu *blackwater* dan *grey water*. *Blackwater* adalah air limbah yang berasal dari kegiatan toilet seperti air siram toilet, air seni, tinja sedangkan *greywater* merupakan air limbah dari kegiatan dapur, kamar mandi, dan mencuci yang tidak ada campuran dengan kegiatan toilet. *Greywater* diperkirakan mencapai 70 – 75 % dari total air limbah domestik (Palmquist dan Hanæus, 2005; Hernandez *et al.*, 2007) sedangkan *black water* di produksi dalam volume yang lebih sedikit namun mengandung bagian utama organik patogen yang dapat menimbulkan risiko kontaminasi terbesar (Paulo *et al.*, 2013).

Dalam sistem pembuangan air limbah yang umum digunakan masyarakat yakni air limbah *blackwater* biasanya dialirkan ke dalam tangki septik dan air limpasan dari tangki septik diresapkan ke dalam tanah atau dibuang ke saluran umum, sedangkan air limbah *greywater* dibuang langsung ke saluran umum.

#### **2.2 Baku Mutu Air Limbah**

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016, baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang dan dilepas ke dalam sumber air dari suatu usaha dan atau kegiatan. Baku mutu air

limbah yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Domestik**

No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
1	pH	-	6-9
2	BOD	mg/L	30
3	COD	mg/L	100
4	TSS	mg/L	30
5	Minyak dan Lemak	mg/L	5
6	Amoniak	mg/L	10
7	Total Coliform	jumlah/100mL	3000

Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016

### 2.3 Laju produksi lumpur tinja

Lumpur tinja yang dihasilkan dari proses pengolahan pada unit pengolahan setempat memiliki laju pembentukan lumpur yang bervariasi. Berdasarkan penelitian yang dilaksanakan oleh Mills *et al.*, (2014) di beberapa kota di Indonesia, diperkirakan akumulasi lumpur tinja yang terbentuk pada unit pengolahan setempat berkisar antara 13 liter/orang/tahun – 130 liter/orang/tahun. Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 Tahun 2017 pada Lampiran II telah menetapkan debit timbulan lumpur tinja dapat menggunakan pendekatan 0,25 liter/orang/hari hingga 0,5 liter/orang/hari (pada umumnya menggunakan 0,5 liter/orang/hari). Tingkat akumulasi lumpur dipengaruhi oleh jumlah tahun akumulasi, volume sistem, keberadaan pipa dan frekuensi pengosongan.

### 2.4 Karakteristik Lumpur Tinja

Lumpur tinja berasal dari kotoran manusia (*human feces*) yang biasa disebut dengan “*black water*”. Lumpur tinja terdiri dari padatan yang terlarut di dalam air yang sebagian besar berupa bahan organik, biasanya dibuang pada tangki septik atau lubang kakus dan berpotensi sebagai sumber pencemar, karena lumpur tinja mengandung berbagai macam mikroorganismenya yang tinggi, sehingga lumpur tinja harus diolah terlebih dahulu sebelum



dibuang atau dimanfaatkan untuk menghindari penyebaran penyakit melalui air (*foodborne disease*) (Fakkaew *et al.*, 2017; Hidayat *et al.*, 2017). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Strande *et al.*, (2014) karakteristik lumpur tinja terdiri dari :

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.

- 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 (TKN-N), nitrat ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), nitrit ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) dan N organik.

- Fosfor

Kandungan fosfor pada lumpur tinja umumnya cukup tinggi dengan kisaran 2-50 kali lebih tinggi dari konsentrasi air limbah domestik, bisa ditemukan dalam bentuk orthofosfat  $\text{H}_3\text{PO}_4/\text{PO}_4\text{-P}$  dan fosfat terikat.

b. pH

pH merupakan parameter yang dapat mempengaruhi tahapan stabilisasi biologi. pH pada lumpur tinja umumnya berkisar antara 6,5 – 8.

c. Padatan

Konsentrasi padatan pada lumpur tinja berasal dari berbagai materi organik (*volatile solid*) dan materi anorganik (*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)

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)*

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. Patogen

Berikut ini merupakan organisme patogen yang bisa terkandung dalam lumpur tinja:

- Bakteri Koliform

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

- Cacing dan Telur Cacing Telur

Cacing merupakan salah satu indikator dalam menentukan efektivitas penyisihan organisme patogen dalam lumpur tinja. Hal ini juga terkait dengan ketahanan telur cacing dalam pengolahan lumpur tinja. Cacing yang umumnya ada dalam sampel lumpur tinja terdiri dari nematoda, 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.

Berikut adalah karakteristik lumpur tinja dari fasilitas sanitasi dan karakteristik lumpur tinja di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

**Tabel 2.2 Karakteristik lumpur tinja dari fasilitas sanitasi**

Parameter	Sumber lumpur tinja		Sumber
	Toilet umum	Tangki septik	
pH	1,5-12,6 6,55-9,34		USEPA (1994) Kengne <i>et al.</i> , (2011)
Total Solids TS (mg/L)	52500	12.000-35.000	
	30000	22000 34106	NWSC (2008) USEPA (1994)
	≥3,5%	< 3%	Heinss <i>et al.</i> , (1998)
Total Volatile Solids, TVS (% dari TS)	68	50-73	Kone dan Strauss (2004)
	65	45	NWSC (2008)
COD	49000	1.200-7.800	Kone dan Strauss (2004)
	30000	10000	NWSC (2008)
	20.000-50.000	10000	Heinss <i>et al.</i> , (1998)
BOD	7600	840-2.600	Kone dan Strauss (2004)
		190-300	Kone dan Strauss (2004)
Total Nitrogen, TN (mg/L)	-		
Total Kjedadhl Nitrogen, TKN (mg/L)	3400	1000	Katukiza <i>et al.</i> , (2012)
NH4-N (mg/L)	3300	150-1.200	Kone dan Strauss (2004)
	2000	400	NWSC (2008)
	2000-5000	1000	Heinss <i>et al.</i> , (1998)
		0.2-21	Koottatep <i>et al.</i> ,(2005)
Nitrogen, NO3- (mg N/L)			
Total Phosphorus, TP	450	150	NWSC (2008)

Parameter	Sumber lumpur tinja		Sumber
	Toilet umum	Tangki septik	
(mg P/L) Faecal coliforms (cfu/100mL)	1x10 <sup>5</sup>	1x10 <sup>5</sup>	NWSC (2008)

Sumber : ( Strande *et al.*, 2014 )

**Tabel 2.3 Karakteristik lumpur tinja di Indonesia**

Parameter	Besaran
BOD (mg/L)	2000-5000
COD (mg/L)	6000-15000
pH	7-7,5
Total Solid (mg/L)	14000-24000
Total Suspended Solid (mg/L)	10000-20000
Sludge Volume Index (mg/L)	31-40
Ammonia (mg/L)	100-250
Minyak dan Lemak (mg/L)	1000-2000
Total Coliform	1600000-5000000
Fosfat (mg/L)	8 - 20

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Cipta Karya, 2018)

## 2.5 Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)

Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) merupakan salah satu upaya terencana untuk meningkatkan pengolahan dan pembuangan limbah yang baik untuk lingkungan, Dewi (2014) menyatakan bahwa pengolahan lumpur tinja di IPLT merupakan pengolahan lanjutan karena lumpur tinja yang telah diolah di tangki septik, dan belum layak dibuang ke media lingkungan. Oleh karena itu, pengolahan lumpur tinja di IPLT ditujukan untuk memastikan bahwa lumpur tinja tidak mencemari lingkungan. Adapun parameter-parameter penting yang dapat mewakili kondisi kualitas air limbah tinja diantaranya adalah:

BOD<sub>5</sub> = 2.000-20.000 mg/L

VSS = 30.000 mg/L

TSS = 40.000 mg/L

E.Coli = 10<sup>7</sup> MPN/100 mL

Lumpur tinja diambil dari unit pengolah limbah tinja seperti tangki septik dan cubluk tunggal ataupun endapan lumpur dari

*underflow* unit pengolahan air limbah lainnya (Oktariana dan Haki, 2013).

### 2.5.1 Unit Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja

Unit pengolahan lumpur tinja berdasarkan Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 tahun 2017 adalah sebagai berikut :

#### 1. Unit Penyaringan

Unit penyaringan berfungsi untuk memisahkan atau menyaring benda kasar di dalam lumpur tinja, yang dapat dilakukan dengan menggunakan *bar screen* manual atau mekanik. Prinsipnya kotoran seperti pecahan batuan plastik dan sebagainya, yang berukuran lebih besar dari jarak bukaan (*openings*) alat saringan akan tertahan di media saringan, kriteria desain unit penyaringan dapat dilihat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4 Kriteria Desain Unit Penyaringan**

Parameter	Simbol	Besaran		Satuan
		Pembersihan secara Manual	Pembersihan dengan Alat Mekanik	
Kecepatan aliran lewat bukaan	V	0,3 – 0,6	0,6 – 1	m/detik
<b>Ukuran Penampang Batang</b>				
<b>Lebar</b>	W	4 – 8	8 – 10	mm
<b>Tebal</b>	L	25 – 50	50 – 75	mm
<b>Jarak Bukaan</b>	B	25 – 75	10 – 5	mm
<b>Kemiringan terhadap Horizontal</b>	A	45 – 60	75 – 85	Derajat
<b>Kehilangan Tekanan Lewat Bukaan</b>	HLbukaan	150	150	mm
<b>Kehilangan Tekanan Maksimal (Clogging)</b>	HLmax	800	800	mm

Sumber : Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 tahun 2017

## 2. Unit Ekualisasi

Unit ekualisasi atau unit pengumpul berfungsi untuk mengatur agar debit aliran lumpur yang masuk ke unit berikutnya menjadi konstan dan tidak berfluktuasi dan menghomogenkan karakteristik lumpur tinja. Kriteria desain perencanaan unit ekualisasi dapat dilihat pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.5 Kriteria Desain Unit Ekualisasi**

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
Waktu detensi	Td	< 2	Jam
Kecepatan aliran	v	0,3 – 3	m/detik
Slope bak	S	1 : 1	-
Kedalaman	H	1 – 3*	Meter

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

Sumber : Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 tahun 2017

## 3. Unit Pemisah Partikel Diskrit

Unit partikel diskrit berfungsi untuk menyisahkan butiran-butiran pasir yang ada di dalam air limbah lumpur tinja sehingga dapat melindungi pompa dari kerusakan, mencegah terjadinya efek *clogging* di dalam pipa, mencegah efek *cementing* pada dasar unit digester dan bak pengendapan, dan mengurangi akumulasi materi *inert* di bak aerasi dan digester yang dapat mengurangi volume tangki. Kriteria desain pemisahan partikel diskrit dapat dilihat pada Tabel 2.6.

**Tabel 2.6 Kriteria Desain Pemisahan Partikel Diskrit**

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan	Sumber
Waktu detensi	td	45 – 90	detik	Metcalf & Eddy, 1991
Kecepatan horizontal	Vh	0,24 – 0,4	m/detik	Edward JM
Kecepatan pengendapan:	Vs	3,2 – 4,2	ft/menit	Metcalf & Eddy, 1991
Diameter 0,2 mm		2 – 3	ft/menit	
Diameter 0,15 mm				
<i>Specific gravity</i>	Sg	1,5 – 2,7		Qasim

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan	Sumber
<b>Specific gravity material organik</b>	-	1,02		Qasim
<b>Overflow rate debit maksimum</b>	OR	0,021 – 0,023	m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> / detik	Qasim
<b>Jumlah grit yang disisihkan</b>	-	5 – 200	m <sup>3</sup> / 10 <sup>6</sup> /m <sup>6</sup>	Qasim
<b>Headloss melalui grit</b>	hL	30 – 40	%	Qasim
<b>Jumlah bak minimal</b>	-	2	Unit	Qasim

Sumber : Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 tahun 2017

#### 4. Unit Pemekatan

##### a. Tangki Imhoff

Tangki imhoff berfungsi untuk memisahkan zat padat yang dapat mengendap dengan cairan yang terdapat dalam lumpur tinja. Tangki dibagi menjadi dua kompartemen (ruangan) yang diberi sekat. Kompartemen bagian tengah atas berfungsi sebagai ruangan pengendap/sedimentasi (*settling compartment*) dan kompartemen bagian bawah berfungsi sebagai ruang pengolahan (*degestion compartment*). Perencanaan tangki imhoff dilaksanakan berdasarkan kriteria desain tangki imhoff dapat dilihat pada Tabel 2.7.

**Tabel 2.7 Kriteria Desain Tangki Imhoff**

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
<b>Waktu detensi ruang sedimentasi</b>	td	2 – 4	jam
<b>Waktu detensi ruang pengolahan</b>		1 – 2	bulan
<b>Efisiensi penurunan TSS</b>	H	45 – 60	%
<b>Kedalaman kolam</b>	h	6 – 9	meter
<b>Rasio panjang dan lebar</b>	p : l	(2 – 4) : 1	-
<b>Kapasitas ruang pengolahan</b>		2,5	m <sup>3</sup> / kapita
<b>Laju endapan lumpur tinja pada ruang sedimentasi</b>		0,5	L/orang.hari
<b>Laju endapan lumpur pada ruang pengolahan</b>		0,06	L/orang.hari
<b>Diameter pipa lumpur</b>		15	cm

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
Beban permukaan ( <i>surface loading</i> ) ruang sedimentasi		30	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .hari)
Kecepatan aliran horizontal ruang sedimentasi		< 1	cm / detik
<b>Ventilasi gas dibuat minimal 20% dari luas permukaan tangki imhoff atau lebar bukaan masing-masing (45-60) cm pada kedua sisi tangki</b>			

Sumber : Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 tahun 2017

b. *Clarifier*

Fungsi unit *clarifier* untuk proses pemisahan, pengendapan material hasil proses pengolahan oleh bakteri dari hasil proses biologi yaitu partikel yang mengelompok oleh gaya saling tarik menarik menjadi gumpalan lebih besar, lebih berat sehingga mudah mengendap. Kriteria desain unit *clarifier* dapat dilihat pada Tabel. 2.8.

**Tabel 2.8 Kriteria Desain *Clarifier***

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
Waktu detensi ruang sedimentasi	td	2 (puncak) 4,5 – 6 (rata-rata)	Jam
Konsentrasi BOD	BOD	10.000	mg/L
<i>Solid loading</i>	SS	25 – 50	Kg SS/m <sup>3</sup> .hari
<i>Surface loading (Q/A)</i>		20 – 35	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari
Kedalaman bak pengendap dari weir minimal	H	3	meter
Beban pelimpah		100 – 254	m <sup>3</sup> /m.hari

Sumber : Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 tahun 2017

c. Kolam Pemisahan Lumpur (*Solid Separation Chamber – SSC*) dan Bak Pengering (*Drying Area*) Prinsip kerja dari SSC dan DA dengan mengandalkan proses fisik untuk pemisahan padatan dari lumpur tinja. *Solid Separation Chamber* berfungsi untuk memisahkan padatan dan cairan dari air limbah domestik. Lumpur tinja



yang dihamparkan secara merata diatas SSC akan mengalami pemisahan antara padatan di bagian bawah dan cairan di bagian atas. Sebagian cairan dapat terpisah dari lumpur tinja melalui proses infiltrasi pada media SSC, selanjutnya cairan yang telah terpisah diolah lebih lanjut pada unit stabilisasi yang terdapat dalam IPLT. Sementara padatan yang telah mengalami penirisan dikeringkan lebih lanjut di unit pengeringan lumpur. Kriteria *Solid Separation Chamber* dapat dilihat pada Tabel 2.9.

**Tabel 2.9 Kriteria Desain Kolam Pemisahan Lumpur (*Solid Separation Chamber*)**

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
Waktu Pengeringan <i>cake</i>	t	5 – 12	Hari
Waktu pengambilan <i>cake</i> matang	T	1	Hari
Ketebalan <i>cake</i>	hc	10 – 30	Cm
Tebal lapisan kerikil	hk	20 – 30	Cm
Tebal lapisan pasir	hp	20 – 30	Cm
Kadar air	P	20	%
Kadar solid	Pi	80	%

Sumber : Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 tahun 2017

*Drying Area* merupakan proses pengeringan lumpur yang sudah setengah kering dan sekaligus proses desinfeksi mikroorganismenya terkandung dalam lumpur melalui sinar matahari (ultra violet). Proses pengeringan ini pada dasarnya dihitung berdasarkan koefisien laju kematian mikroorganismenya, yang apabila dihitung berada pada kisaran. Perencanaan *drying area* dapat dilihat pada Tabel 2.10.

**Tabel 2.10 Kriteria Desain *Drying Area***

Parameter	Besaran	Satuan
Waktu Pengeringan <i>cake</i>	7-15	hari
Waktu pengambilan <i>cake</i> matang	1	hari
Ketebalan ( $A = \pi r^2 \text{ cake}$ )	10-30	cm
Tebal lapisan kerikil	15-30	cm

Parameter	Besaran	Satuan
Kadar air	20	%

Sumber : Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 tahun 2017

## 5. Unit Stabilisasi

Alternatif teknologi pengolahan pada unit stabilisasi dapat diterapkan pada IPLT, terdiri dari :

- a. Sistem kolam, anaerobik – fakultatif – aerobik  
Sistem kolam adalah sistem pengolahan yang terdiri dari kolam-kolam yang diatur sedemikian rupa sesuai dengan tujuan pengolahan tanpa adanya penggunaan energi listrik ataupun peralatan mekanik.
- b. *Anaerobic Sludge Digester*  
*Anaerobic Sludge Digester* berfungsi untuk menguraikan senyawa organik yang terdapat dilumpur tinja menggunakan mikroba anaerobik berupa kolam tertutup yang dapat dilengkapi dengan pengadukan. Lumpur biologis selanjutnya diolah di unit pengolahan lumpur. Filtrat atau air hasil olahan diolah kembali melalui unit pengolahan cairan sebelum filtrat dibuang ke badan air penerima. Pada unit *Anaerobic Sludge Digester* tanpa pengaduk, lumpur mikroba akan mengendap kebawah karena tidak ada pengadukan, sehingga bagian bawah dasar bak dirancang berbentuk kerucut agar mudah mengendap secara gravitasi. Pada unit *Anaerobic Sludge Digester* dengan pengaduk, harus diikuti oleh unit pengolahan aerobik sebagai pelengkap. Lumpur biologis yang terbentuk dipisahkan pada unit pemekatan/pemisah padatan dan cairan. Kriteria desain *Anaerobic Sludge Digester* dapat dilihat pada Tabel 2.11.

**Tabel 2.11 Kriteria Desain *Anaerobic Sludge Digester***

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
BOD	BOD	5,0	Kg/m <sup>3</sup>

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
SS	SS	20	Kg/m <sup>3</sup>
VSS Loading (Volumetric Loading)	SS	1 – 3,5	Kg VSS /m <sup>3</sup> . Hari
Solid Retention Time	SRT	10 – 25	Hari
Hydraulic Retention Time	HRT	10 – 25	Hari
Rasio Panjang dan lebar	P : L	2 : 1	-
% Reoval SS	%SS	50 – 75	%
Kedalaman	h	>6	Meter

Sumber : Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 tahun 2017

c. *Oxydation Ditch*

Unit pengolahan *oxydation ditch* merupakan unit menggunakan *extended aeration* yang semula dikembangkan berdasarkan saluran sirkular dengan kedalaman 1-1.5 m. Lumpur tinja yang masuk dialirkan berputar mengikuti saluran sirkular yang cukup panjang dengan tujuan adanya proses aerasi. Alat aerasi yang digunakan berupa alat mekanik rotor berbentuk tabung dengan sikat baja. Rotor diputar melalui poros (*axis*) horizontal dipermukaan air yang disebut *cage rotor*. Kriteria *Oxydation Ditch* dapat dilihat pada Tabel 2.12.

**Tabel 2.12 Kriteria Desain *Oxydation Ditch***

Parameter	Simbol	Besaran	Satuan
Rasio BOD dan BOD removal	-	85 – 90	%
Rasio removal SS	-	80 – 90	%
Rasio Removal Nitrogen	-	70	%
Letak Aerator (pada kedalaman)	-	1,0 – 1,3	Meter
Rasio <i>sludge generated</i> (dari BOD atau SS removal)	-	75	%
Kecepatan rata-rata dalam saluran minimum	V <sub>min</sub>	0,3	m/detik
Rasio F/M	-	0,03 – 0,15	Kg BOD/ hari. Kg VSS
Konsentrasi lumpur dalam bak aerasi	-	3000 - 6000	Mg/L

Sumber : Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 tahun 2017

## 6. Unit Pengering Lumpur

### a. *Sludge Drying Bed* (SDB)

*Sludge Drying Bed* berfungsi untuk mengeringkan lumpur yang telah stabil. Lumpur yang telah dikeringkan di *Sludge Drying Bed* diharapkan sudah memiliki kandungan padatan yang tinggi (20-40% padatan). *Sludge Drying Bed* terdiri dari :

- I. Bak pengering, berupa bak dangkal berisi pasir sebagai media penyaring dan batu kerikil sebagai penyangga pasir; dan
- II. Saluran air tersaring (filtrat) yang terdapat di bagian bawah dasar bak.

Kriteria desain *Sludge Drying Bed* dapat dilihat pada Tabel 2.13.

**Tabel 2.13 Kriteria Desain *Sludge Drying Bed***

No.	Parameter	Keterangan
1	Ukuran Bak (m <sup>2</sup> )	
	Panjang Bak (m)	30
	Lebar Bak (m)	8
2	Area yang Dibutuhkan Dengan Penutup Atap	0,1 – 0,2 m <sup>2</sup> / kapita
	Tanpa Penutup Atap	0,14 – 0,28 m <sup>2</sup> / kapita
3	<i>Sludge Loading Rate</i> dengan Penutup Atap	150 – 400 kg lumpur kering /m <sup>2</sup> .tahun
	tanpa Penutup Atap	100 – 300 kg lumpur kering /m <sup>2</sup> .tahun
4	<i>Sludge Cake</i>	20 – 40% padatan
5	Kemiringan dasar	1 : 20
6	Kemiringan Dasar Pipa	1%

Sumber : Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 tahun 2017

### b. *Filter Press*

*Filter Press* berfungsi sebagai alat pengolahan lumpur, dengan memberikan tekanan pada lumpur di antara rangkaian filter (*filter plate*) agar air dan

lumpur dapat dipisahkan. Tekanan unit *Filter Press* diberikan oleh sistem hidrolik yang bekerja pada kedua sisi lempeng. Berikut Tabel 2.14 adalah kriteria desain *filter press*.

**Tabel 2.14 Kriteria Desain *Filter Press***

No	Parameter	Keterangan
1	<b><i>Complete Filtration Cycle Time</i></b>	1,5 - 2,5 jam
2	<b>Tekanan filter</b>	690 - 1700 kPa
3	<b>Kadar solid setelah diolah dengan <i>folter press</i></b>	
	<b>a. Lumpur bak sedimentasi I</b>	45-50%
	<b>b. Lumpur bak sedimentasi I dan lumpur aktif segar</b>	45-50%
	<b>c. Lumpur aktif segar</b>	50%
	<b>d. Lumpur dari digester dan lumpur aktif</b>	45-50%

Sumber : Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 tahun 2017

c. *Belt Filter Press*

*Belt Filter Press* memiliki fungsi sebagai alat pengolahan lumpur dimana penekanan lumpurnya dilakukan oleh sepasang lembar plastik elastis berpori (*filter belt*), sehingga air dapat dipaksa keluar dari lumpur. Pengoperasian *Belt Filter Press* dibagi menjadi 2 tahap, yaitu :

- I. Tahap penirisan (*draining*), dengan mengalirkan dan menyebarkan lumpur secara merata di atas lembar elastis berpori halus. Pemisahan air dan lumpur dilakukan tanpa tekanan, hanya mengandalkan secara gravitasi.
- II. Tahap penekanan (*pressing*); dengan menekan lumpur di antara dua belt bertekanan secara bertingkat yang diberikan oleh beberapa besi penggulung (*roll*). Pada saat ditekan, air dipisahkan dari lumpur semaksimal mungkin.

Perencanaan *Belt Filter Press* dilaksanakan berdasarkan kriteria desain yang tertera pada Tabel 2.15.

**Tabel 2. 15 Kriteria Desain *Belt Filter Press***

No	Parameter	Besaran
1	Lebar Belt	0,5 - 3,5
2	<i>Sludge Loading</i>	90 - 680
3	<i>Hydraulic Loading</i>	1,6 - 6,3

Sumber : Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 tahun 2017

### 2.5.2 Jenis Pengolahan Lumpur Tinja

Melakukan pengolahan terhadap lumpur tinja ada tiga jenis pengolahan, antara lain pengolahan secara fisik, biologis dan kimia.

- **Pengolahan Fisik**

Salah satu proses penting dalam pengolahan lumpur tinja adalah proses *dewatering* atau *thickening* (penghilangan air sehingga lumpur menjadi lebih pekat). Proses ini memang menggunakan prinsip pengolahan fisik, yaitu penguapan, penyaringan, gravitasi, gaya tarik permukaan, gaya sentrifugal dan tekanan.

1. Pemisahan secara Gravitasi

Gravitasi merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam pemisahan padatan dan cairan. Partikel atau padatan yang berat jenisnya lebih besar dibanding berat jenis air akan terendapkan di bagian dasar tergantung pada ukuran partikel, konsentrasi padatan tersuspensi dan flokulasi. Unit pengolahan yang biasa digunakan adalah bak pengendap dan *Grit Chamber*. Tiga gaya yang mempengaruhi pemisahan padatan dan cairan yaitu gaya gravitasi, gaya drag dan gaya *buoyancy*.

2. Penyaringan

Penyaringan juga sering digunakan untuk memisahkan padatan dan cairan. Beberapa media saringan (membran, granul) dan tipe saringan (cepat, lambat, bertekanan) biasa digunakan untuk pengolahan

air, pengolahan air limbah dan juga pengolahan lumpur. Parameter yang sangat berpengaruh dalam proses penyaringan adalah karakteristik influen, tipe media saringan, dan beban saringan (Metcalf dan Eddy, 2003).

3. Penguapan

Penguapan adalah proses dimana air lepas ke udara bebas dalam bentuk uap. Proses ini sangat dipengaruhi oleh panas matahari, sehingga bergantung pada iklim serta kelembaban dan panas lingkungan sekitar. Parameter yang penting dalam penguapan adalah total luas area dan kedalaman dari tempat pengeringan. Semakin besar massa lumpur yang akan dikeringkan, maka semakin besar juga energi yang digunakan untuk menghilangkan kandungan air di dalam lumpur.

4. Sentrifugasi

Proses ini biasa digunakan untuk memisahkan padatan dan cairan, tetapi juga bisa memisahkan padatan dengan ikatan air. Lumpur dimasukkan ke dalam alat sentrifugal dan diputar dengan kecepatan tinggi dan dengan gaya sentrifugal, sehingga terjadi proses pengendapan.

5. Pemanasan

Prinsip proses ini seperti proses penguapan tapi menggunakan konduksi, konveksi, radiasi, dan kombinasi.

6. *Screening*

Digunakan untuk menyaring partikel solid yang berukuran besar, untuk mencegah penyumbatan dan kegagalan pompa.

- **Pengolahan Biologis**

Pengolahan air limbah biologis secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga yakni proses biologis dengan biakan tersuspensi (*suspended culture*), proses biologis dengan biakan melekat (*attached culture*) dan proses pengolahan dengan sistem lagoon atau kolam (Said, 2010). Proses biologis dengan biakan tersuspensi adalah sistem pengolahan dengan menggunakan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa polutan yang ada di dalam air dan mikroorganisme yang digunakan atau

dibiakkan secara tersuspensi di dalam suatu reaktor. Beberapa contoh proses pengolahan dengan sistem ini antara lain : proses lumpur aktif standar atau konvensional (*standard activated sludge*), *step aeration*, *contact stabilization*, *extended aeration*, *oxidation ditch* (kolam oksidasi sistem parit) dan lainnya.

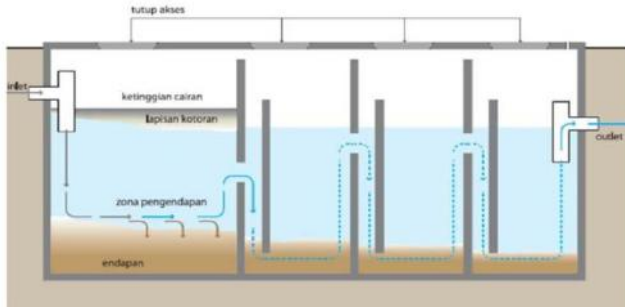
Lumpur aktif dapat mengolah air limbah dengan beban BOD yang besar, sehingga tidak memerlukan tempat yang besar. Proses ini cocok digunakan untuk mengolah air limbah dalam jumlah yang besar. Sedangkan beberapa kelemahannya antara lain yakni kemungkinan dapat terjadi *bulking* pada lumpur aktifnya, terjadi buih, serta jumlah lumpur yang dihasilkan cukup besar.

### **2.5.3 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)**

*Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) serupa dalam desain dan aplikasi dengan *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) namun ABR tidak memerlukan butiran granula untuk operasinya. ABR memiliki sekat yang menggantung dan berdiri tegak yang membagi ABR menjadi beberapa kompartemen. Aliran air limbah bergantian naik dan turun antar kompartemen, sedangkan lumpur akan terakumulasi di dasar kompartemen. Pada ABR terjadi kontak yang baik antara air limbah dan biomassa aktif (Foxon, 2006).

Berdasarkan Wang (2004), ruang sedimentasi pada ABR bertujuan untuk *pre-treatment* air limbah, sedangkan sekat atau *baffle* bertujuan untuk menghasilkan turbulensi. Air limbah akan mengalami kontak dengan lumpur aktif setiap menuju kompartemen berikutnya. Laju pengolahan yang tinggi pada ABR disebabkan oleh adanya kontak langsung antara air limbah dengan mikroba serta *Solid Retention Time* (SRT) yang tinggi sehingga produksi lumpurnya rendah. Sedangkan menurut Tilley *et al.*, (2008), ABR dirancang agar alirannya naik turun seperti terlihat pada **Gambar 2.1**. Aliran tersebut menyebabkan kontak antara air limbah yang masuk dengan biomassa lebih intensif sehingga akan meningkatkan kinerja pengolahan. Penurunan BOD pada ABR adalah sekitar 70-90% dimana penurunannya lebih tinggi dari pada tangki septik. Untuk operasi awal ABR perlu penstabilan biomassa selama 3 bulan.





**Gambar 2.1 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)**

(Sumber: Tilley *et al.*, 2008)

Menurut Sasse (2009) ABR memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan, yaitu sebagai berikut.

**Kelebihan ABR:**

- Tahan terhadap beban kejutan hidrolis dan zat organik
- Tidak memerlukan energi listrik
- *Grey water* dapat dikelola secara bersamaan
- Dapat dibangun dan diperbaiki dengan material lokal yang tersedia
- Umur pelayanannya panjang
- Penurunan zat organik yang tinggi
- Biaya investasi dan operasi yang rendah

**Kekurangan ABR:**

- Memerlukan sumber air yang konstan
- Efluen memerlukan pengolahan sekunder sebelum dibuang ke badan air
- Penurunan bakteri *pathogen* yang rendah
- Pengolahan *pre-treatment* diperlukan untuk mencegah penyumbatan

Di bawah ini adalah kriteria desain dari unit ABR yang diperoleh dari Metcalf and Eddy (2003).

**Kriteria Desain:**

- Panjang *baffle* = 50-60% dari ketinggian
- *Upflow velocity* = < 2 m/jam
- Removal BOD = 70-95%
- Removal COD = 65-90%
- Removal TSS = 80%

- *Organic loading* = < 3 kg BOD/m<sup>3</sup>.hari
- HRT = 6-24 jam
- SRT = > 30 hari

Pada ABR terdapat aksesoris tambahan berupa pipa *vent*. Pipa *vent* ini bertujuan untuk mengalirkan atau mengeluarkan gas-gas yang dihasilkan dari proses anaerobik di ABR. Pipa *vent* adalah bagian penting dari sistem pembuangan pada ABR. Pipa *vent* ini akan mensirkulasikan udara dalam proses pembuangan, menjaga kedalaman air sesuai yang direncanakan, serta menjaga sekat dari efek tekanan.

Persamaan perhitungan desain ABR adalah sebagai berikut.

- Waktu Tinggal Hidrolik (HRT)

$$\text{HRT} = V / Q \quad (2.1)$$

Dimana:

HRT = Waktu tinggal hidrolik (hari)

V = volume (m<sup>3</sup>)

Q = Debit (m<sup>3</sup>/hari)

- *Organic Loading Rate* (OLR)

$$\text{OLR} = Q \times S_o / \text{volume} \quad (2.2)$$

Dimana :

Q = debit (m<sup>3</sup>/hari)

S<sub>o</sub> = Total COD inlet (mg/L)

- *Upflow Velocity* (V<sub>up</sub>)

$$V_{up} = Q / (p \times l) \quad (2.3)$$

Dimana :

p = panjang satu kompartemen (m)

l = lebar satu kompartemen (m)

- *Headloss* (H<sub>f</sub>)

$$H_f = f \times \frac{L}{4R} \times \frac{V^2}{2g} \quad (2.4)$$

$$f = 1,5 \times (0,01989) + \frac{0,0005078}{4R}$$

Dimana:

L = panjang ABR (m)

R = jari-jari hidrolis (m)

V = kecepatan (m/s)

g = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

Berikut adalah rumus-rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010) yang digunakan pada perhitungan ABR.

a. Removal COD pada ruang *settlers* berdasarkan waktu detensi (HRT):

- HRT < 1 jam:

$$\text{Faktor} = \text{HRT} \times 0,3$$

- HRT < 3 jam:

$$\text{Faktor} = (\text{HRT} - 1) \times 0,1/2 + 0,3$$

- HRT < 30 jam:

$$\text{Faktor} = (\text{HRT} - 3) \times 0,15/27 + 0,4$$

- HRT  $\geq$  30 jam:

$$\text{Faktor} = 0,58$$

b. Reduksi volume lumpur berdasarkan waktu pengurasan:

- HRT < 36 bulan:

$$\text{Faktor} = 1 - (\text{HRT} \times 0,014)$$

- HRT < 120 bulan:

$$\text{Faktor} = 0,5 - (\text{HRT} - 36) \times 0,002$$

- HRT  $\geq$  120 bulan:

$$\text{Faktor} = 1/3$$

c. BOD removal pada ABR berdasarkan *organic loading*:

- *Load* < 6  $kg/m^3$ .hari

$$\text{Faktor} = 1$$

- *Load*  $\geq$  6  $kg/m^3$ .hari

$$\text{Faktor} = 1 - (\text{load} - 6) \times 0,28/14$$

d. BOD removal pada ABR berdasarkan konsentrasi BOD influen:

- $BOD_{in} < 150$  mg/L:

$$\text{Faktor} = BOD_{in} \times 0,37/150 + 0,4$$

- $BOD_{in} < 300$  mg/L:

$$\text{Faktor} = (BOD_{in} - 150) \times 0,1/150 + 0,77$$

- $BOD_{in} < 500 \text{ mg/L}$ :  
Faktor =  $(BOD_{in} - 300) \times 0,08/200 + 0,87$
  - $BOD_{in} < 1000 \text{ mg/L}$ :  
Faktor =  $(BOD_{in} - 500) \times 0,1/500 + 0,95$
  - $BOD_{in} < 3000 \text{ mg/L}$ :  
Faktor =  $(BOD_{in} - 1000) \times 0,1/2000 + 1,05$
  - $BOD_{in} \geq 3000 \text{ mg/L}$ :  
Faktor = 1,15
- e. BOD removal pada ABR berdasarkan temperatur:
- Temperatur  $< 15^{\circ}\text{C}$ :  
Faktor =  $(\text{temp} - 10) \times 0,25/5 + 0,55$
  - Temperatur  $< 20^{\circ}\text{C}$ :  
Faktor =  $(\text{temp} - 15) \times 0,11/5 + 0,8$
  - Temperatur  $< 25^{\circ}\text{C}$ :  
Faktor =  $(\text{temp} - 20) \times 0,09/5 + 0,91$
  - Temperatur  $< 30^{\circ}\text{C}$ :  
Faktor =  $(\text{temp} - 25) \times 0,05/5 + 1$
  - Temperatur  $\geq 30^{\circ}\text{C}$ :  
Faktor =  $(\text{temp} - 30) \times 0,03/5 + 1,05$
- f. BOD removal pada ABR berdasarkan jumlah kompartemen ABR:
- Jumlah = 1:  
Faktor = 0,4
  - Jumlah = 2:  
Faktor = 0,7
  - Jumlah = 3:  
Faktor = 0,9
  - Jumlah  $> 3$ :  
Faktor =  $(\text{jumlah} - 3) \times 0,06 + 0,9$
- g. BOD removal pada ABR berdasarkan HRT:
- HRT  $< 5 \text{ jam}$ :  
Faktor =  $HRT \times 0,51/5$
  - HRT  $< 10 \text{ jam}$ :  
Faktor =  $(HRT - 5) \times 0,31/5 + 0,51$
  - HRT  $< 25 \text{ jam}$ :  
Faktor =  $(HRT - 12) \times 0,18/15 + 0,82$
  - HRT  $\geq 25 \text{ jam}$ :  
Faktor = 1

h. COD removal pada ABR berdasarkan BOD removal:

- $BOD_{rem} < 0,5$  (%):  
Faktor = 0,9434
- $BOD_{rem} < 0,75$  (%):  
Faktor =  $0,9434 - (BOD_{rem} - 0,5) \times 0,0545/0,25$
- $BOD_{rem} < 0,85$  (%):  
Faktor =  $(BOD_{rem} - 0,75) \times 0,0867/0,1 + 0,8889$
- $BOD_{rem} \geq 0,85$  (%):  
Faktor = 0,9756

#### 2.5.4 Sistem Lahan Basah Buatan ( Constructed Wetland)

*Constructed Wetland* atau lahan basah buatan adalah sistem pengolahan terencana atau terkontrol yang didesain menggunakan proses alami. Proses ini melibatkan vegetasi, media dan mikroorganisme untuk mengolah air limbah (Risnawati dan Damanhuri, 2009). *Constructed Wetland* dirancang dengan dengan perlakuan lebih terkontrol, misalnya dengan pengaturan *Hydraulic Retention Time* (HRT) dan *Hydraulic Loading Rate* (HLR) untuk mempertimbangkan dimensinya (Vymazal, 2010). *Constructed Wetland* merupakan suatu teknologi ramah lingkungan dengan biaya operasional yang rendah (Hoffman *et al.*, 2011). Ketika air limbah dialirkan ke *constructed wetland* terjadi berbagai proses, diantaranya adalah proses sedimentasi, filtrasi, oksidasi, reduksi, adsorpsi, metabolisme bakteri, nitrifikasi, denitrifikasi dan penyerapan oleh tumbuhan (Vymazal, 2010). Tujuan dari *constructed wetland* adalah untuk memperbaiki kualitas dan mengurangi efek berbahaya dari limbah, serta menyumbang upaya konservasi air (Suswati *et al.*, 2013). Menurut Tangahu dan Warmadewanthi (2001), pengolahan air limbah dengan sistem *constructed wetland* lebih dianjurkan karena beberapa alasan sebagai berikut :

1. Dapat mengolah limbah domestik pertanian dan sebagian limbah industri termasuk logam berat.
2. Efisiensi pengolahan tinggi
3. Biaya perencanaan, pengoperasian dan pemeliharaan murah dan tidak membutuhkan keterampilan yang tinggi.

*Constructed Wetland* secara umum ada 2 tipe, yaitu sistem aliran permukaan (*Surface Flow Constructed Wetland*) atau FWS (*Free Water Surface System*) dan sistem aliran bawah

permukaan (*Sub-Surface Flow Constructed Wetland*) atau biasa dikenal dengan *SSF-Wetlands* (Leady, 1997). Sedangkan klasifikasi lahan basah buatan (*Constructed Wetland*) berdasarkan jenis tumbuhan yang digunakan menurut Suriawiria (1996), terbagi menjadi (tiga) kelompok, yaitu:

1. Sistem yang menggunakan tumbuhan *makrophyta* mengambang atau sering disebut dengan lahan basah sistem tumbuhan air mengambang (*Floating Aquatic Plant System*)
2. Sistem yang menggunakan tumbuhan *makrophyta* dalam air (*submerged*) dan umumnya digunakan pada sistem lahan basah buatan tipe air permukaan (*surface flow wetland*)
3. Sistem yang menggunakan tumbuhan *makrophyta* yang akarnya tenggelam atau sering disebut dengan *amphibious plants* dan biasanya digunakan untuk lahan basah buatan tipe aliran bawah permukaan (*subsurface flow wetland*).

#### **2.5.3.1 Prinsip Kerja *Subsurface Flow Constructed Wetland***

*Constructed Wetland* pada umumnya terdiri dari 3 kompartemen. Kompartemen pertama berupa inlet yang berisi kerikil, kompartemen kedua berisi campuran pasir dan tanah (padat) dan tumbuhan air, sedangkan kompartemen ketiga merupakan outlet yang berisi kerikil.

Prinsip kerja sistem pengolahan ini yaitu dengan memanfaatkan simbiosis antara tumbuhan air dengan mikroorganisme dalam media di sekitar sistem perakaran (*rhizosphere*) tumbuhan tersebut. Bahan organik yang terdapat dalam air limbah akan dirombak oleh mikroorganisme menjadi senyawa yang lebih sederhana dan akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai nutrisi, sedangkan sistem perakaran tumbuhan air akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi/katalis untuk rangkaian proses metabolisme bagi kehidupan mikroorganisme.

Proses pengolahan limbah dalam *constructed wetland* dapat terjadi secara fisik, kimia maupun biologi. Proses pengolahan secara fisik dan kimia yang terjadi antara lain:

- *Settling* dan sedimentasi, efektif untuk menghilangkan partikulat dan padatan tersuspensi.
- *Adsorpsi* dan *absorpsi*, merupakan proses kimiawi yang terjadi pada tanaman, substrat, sedimen maupun air limbah yang berkaitan dengan waktu retensi air limbah.
- Oksidasi dan reduksi, efektif untuk mengikat logam-logam B3 dalam *constructed wetland*.
- Photodegradasi/oksidasi, penurunan berbagai unsur polutan yang berkaitan dengan adanya sinar matahari.
- Volatilisasi, penurunan polutan akibat menguap dalam bentuk gas.

Beberapa proses pengurangan polutan yang dilakukan oleh mikrobia dan tumbuhan dalam *constructed wetland* antara lain sebagai berikut :

- Biodegradasi secara aerobik/anaerobik, merupakan proses metabolisme mikroorganisme yang efektif menghilangkan bahan organik dalam *constructed wetland*.
- Phytoakumulasi, proses pengamilan dan akumulasi bahan anorganik oleh tumbuhan
- Phytostabilisasi, bentuk kemampuan tumbuhan untuk memisahkan bahan anorganik pada akar tumbuhan.
- Phytodegradasi, tumbuhan dapat menghasilkan enzim yang dapat memecah bahan organik maupun anorganik dari polutan sebelum diserap selama proses transpirasi.
- Rhizodegradasi, akar tumbuhan dapat melakukan penyerapan bahan polutan dari hasil degradasi bahan organik yang dilakukan oleh mikroba.
- Phytovolatilisasi atau evapotranspirasi, penyerapan dan transpirasi pada daun tumbuhan terhadap bahan- bahan volatil.

Proses penurunan polutan dalam bentuk bahan organik tinggi, merupakan nutrisi bagi tumbuhan. Melalui proses dekomposisi bahan organik oleh jaringan akar tumbuhan akan memberikan sumbangan yang besar terhadap penyediaan C, N dan energi bagi kehidupan mikroba (Handyanto dan Hairiah, 2007). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Supradata (2005), dibawah permukaan tanah, akar tumbuhan akuatik akan mengeluarkan oksigen sehingga terbentuk zona rizosfer yang

kaya akan oksigen di seluruh permukaan rambut akar. Oksigen tersebut mengalir ke akar melalui batang setelah berdifusi dari atmosfer melalui pori-pori daun. Sedangkan jumlah oksigen yang dilepaskan oleh tumbuhan *hydrophyte* sebesar  $12 \text{ g O}_2/\text{m}^2/\text{hari}$ , dengan sistem perakaran tiap batangnya mempunyai 10 akar adventif, dimana tiap akar adventif berisi 600 akar lateral.

### 2.5.3.2 Faktor yang Mempengaruhi *Subsurface Flow Constructed Wetland*

Dalam proses pengolahan air limbah dengan menggunakan *Subsurface Flow Constructed Wetland* terdapat 4 faktor yang mempengaruhi kinerja sistem, yaitu :

#### 1. Media

Media yang digunakan dalam *subsurface flow constructed wetland* secara umum dapat berupa tanah, pasir, kerikil, batuan atau bahan-bahan lainnya. Tingkat permeabilitas dan konduktivitas hidrolis media tersebut sangat berpengaruh terhadap waktu detensi air limbah, dimana waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak antara mikroorganisme dengan air limbah, serta oksigen yang dikeluarkan oleh akar tumbuhan (Tangahu dan Warmadewanthi, 2001). Karakteristik media *subsurface flow constructed wetland* dapat dilihat pada Tabel 2.16.

**Tabel 2.16 Karakteristik Media dalam *Subsurface Flow Constructed Wetland***

Tipe Media	Diameter Butiran (mm)	Porositas	Konduktivitas Hidrolik (ft/d)
<i>Medium Sand</i>	1	0,3	1.640
<i>Coarse Sand</i>	2	0,32	3.280
<i>Gravelly Sand</i>	8	0,35	16.400
<i>Medium Gravel</i>	32	0,4	32.800
<i>Coarse Gravel</i>	128	0,45	328.000

Sumber : Tchobanoglous et al., 2003

Penyumbatan merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan pada filtrasi horisontal. Bila penyumbatan ini terjadi maka konstruksi tersebut tidak akan berfungsi dengan semestinya dan perlu dilakukan pembongkaran dan pergantian media dan hal tersebut merupakan pekerjaan yang menyulitkan,



karena itu pemilihan media merupakan salah satu masalah yang penting dalam mendesain filtrasi horisontal. Peranan media pada *subsurface flow constructed wetland* adalah sebagai berikut :

- Tempat tumbuh bagi tumbuhan
- Media berkemang biaknya mikroorganisme
- Membantu terjadinya proses sedimentasi
- Membantu penyerapan bau dari gas hasil biodegradasi

Berdasarkan Khatuddin dalam Supradata (2005), kinerja *subsurface flow constructed wetland* berdasarkan media yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.17.

**Tabel 2.17 Kinerja *Subsurface Flow Constructed Wetland* Berdasarkan Jenis Media**

<i>Jenis Media</i>	Persentase Pengurangan Polutan (%)		
	BOD	SS	Coliform
<b>Kerikil</b>	55-95	51-98	99
<b>Tanah</b>	62-85	49-85	-
<b>Pasir</b>	96	94	100
<b>Tanah liat</b>	92	91	-

Sumber : Khatuddin dalam Supradata (2005)

## 2. Tumbuhan

Jenis tumbuhan yang sering digunakan untuk *subsurface flow constructed wetland* adalah jenis tumbuhan air atau tumbuhan yang tahan hidup di air tergenang (*submerged plants*) atau *amphibious plants*)

Menurut Cronk dan Fennessy (2011) pada umumnya, berdasarkan hubungan fisik dengan air, tanah dan udara, jenis tumbuhan air dibagi menjadi 4 kelompok yaitu :

- Tumbuhan mengapung bebas (*free floating plants*) yaitu tumbuhan yang seluruh organ tubuhnya (daun, batang, akar dan alat reproduksi) mengapung diatas permukaan air.
- Tumbuhan tenggelam (*submerged plant*) yaitu tumbuhan yang selama fase hidupnya terendam dalam air. Seluruh bagian tumbuhan tersebut berada di bawah permukaan air dan daunnya tidak atau jarang terpapar langsung di atas permukaan air.

- Tumbuhan berdaun mengambang (*floating leaved plant*), yaitu tumbuhan dengan akar menempel di dasar substrat dan daun yang mengambang di atas permukaan air. Tumbuhan tersebut memiliki batang atau tangkai daun yang terendam di dalam air panjang, dan lentur.
- *Emergent Plant*, yaitu tumbuhan yang akarnya tertanam dalam substrat dan terendam di bawah permukaan air, sedangkan batang, daun dan organ reproduksinya muncul ke atas permukaan air.

Menurut Leady (1997) tumbuhan yang sering digunakan dalam *subsurface flow constructed wetland* adalah jenis tumbuhan seperti *cattail*, *bulrushes*, *reeds*, *rushes* dan *sedges*. Pentingnya karakteristik dari tumbuhan berhubungan dengan kedalaman rizoma dan penetrasi akar untuk sistem *subsurface flow constructed wetland*. *Cattail* cenderung untuk mendominasi pada kedalaman air lebih dari 6 in (0,15 m). *Bulrushes* tumbuh dengan baik pada kedalaman 2 hingga 10 in (0,05 m – 0,25 m). *Reeds* tumbuh sepanjang pesisir pantai pada kedalaman hingga 5 ft (1,5 m). *Sedges* umumnya berada sepanjang garis pantai dan pada air yang lebih dangkal daripada *bulrushes*. Rizoma dan akar *cattail* bertahan pada kedalaman air hingga kira-kira 12 in (0,3 m), sedangkan *reeds* dapat bertahan pada lebih dari 24 in (0,6 m) dan *bulrushes* hingga lebih dari 30 in (0,76 m).

### 3. Mikroorganisme

Mikroorganisme yang diharapkan tumbuh dan berkembang dalam media *subsurface flow constructed wetland* adalah jenis heterotrofik aerobik, karena pengolahan yang terjadi berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan mikroorganisme jenis aerobik (Tangahu dan Warmadewanthi, 2001). Untuk menjamin kehidupan mikroorganisme tersebut dapat tumbuh dengan baik maka transfer oksigen dari akar tumbuhan harus dapat mencukupi kebutuhan mikroorganisme. Kandungan oksigen dalam media akan disuplai oleh akar tumbuhan yang merupakan hasil samping dari proses fotosintesis tumbuhan dengan bantuan sinar matahari. Dengan demikian, maka pada siang hari akan lebih banyak terjadi pelepasan oksigen.

#### 4. Temperatur

Temperatur atau suhu pada air limbah akan berpengaruh pada aktivitas mikroorganisme maupun tumbuhan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Suriarwiria (1996), temperatur/suhu akan dapat mempengaruhi reaksi, dimana setiap kenaikan suhu 10°C akan dapat meningkatkan reaksi 2 – 3 kali lebih cepat.

#### 2.5.3.2 Kriteria Desain *Subsurface Flow Constructed Wetland*

Kriteria desain dalam perencanaan *subsurface flow constructed wetland* yang perlu diperhatikan adalah waktu detensi hidrolis, kedalaman bak, dan laju beban hidrolis. Rentang tipikal yang untuk menunjang perencanaan adalah sebagai berikut :

- Removal TSS : 60 – 75% (EPA, 1997)
- Removal BOD : 75 – 95% (Vymazal, 2001)
- HLR : 0,2 – 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari (Ellis *et al.*, 2003)
- L/W ratio : 4:1 – 10:1 (Hlavinek *et al.*, 2007)

Berdasarkan Metcalf dan Eddy (2001), rumus perhitungan *subsurface flow constructed wetland* sebagai berikut :

##### 1. Waktu Detensi

$$\bullet \frac{C_e}{C_o} = e^{-kt-td} \quad (2.5)$$

$$\bullet K_t = K_{20} (1,1)^{T-20} \quad (2.6)$$

$$\bullet Td = \frac{-\ln \frac{C_e}{C_o}}{N_t} \quad (2.7)$$

$$\bullet A_c = d \times W = \frac{Q}{K_s \times S} \quad (2.8)$$

$$\bullet L = \frac{td \times Q}{W \times d \times a} \quad (2.9)$$

$$\bullet A_s = L \times W \quad (2.10)$$

Keterangan :

Q = debit rata-rata (m<sup>3</sup>/hari)

A<sub>s</sub> = luas permukaan (m<sup>2</sup>)

T = temperatur (°C)

K<sub>s</sub> = konduktivitas hidrolik (m/hari)

A = porositas media (desimal)

K<sub>20</sub> = koefisien standar pada suhu 20°C (perhari)

C<sub>o</sub> = BOD influen (mg/L)

C<sub>e</sub> = BOD efluen (mg/L)

S = slope media

Td = waktu detensi (hari)  
d = kedalaman (m)  
w = lebar (m)  
L = panjang media (m)

## 2. Loading Rate

$$\bullet \quad L_w = \frac{Q}{L \times W} \quad (2.11)$$

$$\bullet \quad \text{BOD}_{LR} = \frac{Q \times C}{A} \quad (2.12)$$

Keterangan :

$L_w$  = Hydraulic loading rate ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$ )

$\text{BOD}_{LR}$  = BOD Loading Rate ( $\text{lb}/\text{acre} \cdot \text{hari}$ )

C = konsentrasi BOD ( $\text{mg}/\text{L}$ )

## 3. Efisiensi Removal

$$\bullet \quad \%R = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \quad (2.13)$$

### 2.5.5 Karakteristik Tanaman *Iris Pseudacorus*

Menurut Jacobs *et al.*, (2010) tumbuhan *Iris Pseudacorus* termasuk tumbuhan bunga “perennial” yang artinya salah satu bunga yang dapat hidup lebih dari 2 tahun. Tumbuhan yang tumbuh dari rhizoma yang berkisar diameter dari 0,4 sampai 2 inci (1–5 cm) dapat dilihat pada Gambar 2.2. Panjang akar biasanya 4 – 8 inci (10-20 cm) dan memiliki getah berwarna hitam. Setiap individu menghasilkan 10 daun yang ditutupi oleh lapisan lilin berwarna putih dan abu-abu. Daunnya berbentuk pedang dengan panjang 50 – 100 cm dan lebarnya 10 – 30 cm. Berkembang biak setiap bulan secara vegetatif melalui sistem perakaran maupun secara generatif melalui biji yang terletak diujung batang pada pangkal daun. Bunga Iris muncul pada tangkai bunga yang tegak yang membulat dan bercabang, tankai bunga sekitar 1,5 hingga 3 inci (4–8 cm), bunga Iris berwarna kurning pucat besar sampai kuning tua, tinggi tanaman Iris berkisar antara (1–1,5 m). Bentuk *Iris Pseudacorus* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.2 Rhizoma *Iris Pseudacorus***

Sumber : Jacobs *et al.*, 2010



**Gambar 2.3 Tanaman *Iris Pseudacorus***

Sumber : Jacobs *et al.*, 2010

Adapun klasifikasi tumbuhan "iris" (*Iris pseudacorus*) adalah sebagai berikut:

- Kingdom : Plantae (tumbuhan)
- Subkingdom : Tracheobionta (berpembuluh)
- Super Divisi : Spermatophyta (berbiji)
- Divisi : Magnoliophyta (berbunga)
- Klas : Liliopsida (monokotil)
- Sub-kelas : Liliidae
- Ordo : Liliales
- Familia : Iridaceae
- Genus : *Iris*
- Spesies : *Iris pseudacorus*

Tumbuhan tersebut dapat hidup pada area-area yang memiliki kandungan zat organik terlarut yang sangat tinggi dan tumbuhan

ini dapat menurunkan zat organik terlarut hingga 25% (Jacobs *et al.*, 2011). Tumbuhan Iris dapat tumbuh di berbagai jenis tanah misalnya pada tanah berkerikil di pantai dimana akar-akar menembus ke dasar tanah, hingga pada tanah liat yang tergenang. Umumnya tumbuhan tersebut tumbuh di daerah-daerah yang memiliki kandungan air tanah yang cukup tinggi, tetapi tidak harus terendam, serta dapat tumbuh pada tanah berpasir yang kering. Tumbuhan ini sering ditemukan di rawarawa, dengan pH 3,6 – 7,7 (Jacobs *et al.*, 2010). *Iris pseudacorus* sangat cocok untuk pengolahan limbah dengan sistem lahan basah buatan. *Iris pseudacorus* memiliki sistem perakaran yang banyak dan cukup kuat untuk menyerap zat organik. Selain itu *Iris pseudoacorus* dapat menyerap unsur hara lebih banyak dari yang sebenarnya diperlukan untuk pertumbuhan dan menyimpannya dalam jaringannya dibanding tanaman air lainnya (Jacobs, *et al.*, 2010; Suswati, 2012). *Iris pseudacorus* dapat dimanfaatkan untuk pengolahan limbah karena kemampuannya untuk hidup di lingkungan tercemar. *Iris pseudacorus* mampu mengangkut dan mentranslokasikan berbagai kontaminan di sekitarnya melalui penyerapan oleh akar (Tangahu dan Warmadewanthi, 2001). *Iris pseudacorus* memiliki sistem perakaran yang banyak dan cukup kuat untuk menyerap zat organik (Jacobs, *et al.*, 2010; Prawira, 2015). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Hidayah *et al.*, (2018) *Constructed Wetland* dengan *Iris Pseudacorus* efektif dalam penyisihan parameter BOD sebesar 96% dan TKN sebesar 97%.

### 2.5.6 Kapasitas Pengolahan Lumpur Tinja

Kapasitas IPLT ditentukan dengan menghitung jumlah penduduk tangki septik yang berada di daerah pelayanan. Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 tahun 2017 kapasitas (debit) pengolahan IPLT selanjutnya dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V \text{ (m}^3\text{/hari)} = \frac{(\% \text{ Pelayanan} \times P \times Q)}{1000 \text{ m}^3\text{/L}} \quad (2.14)$$

Keterangan :

V = Kapasitas pengolahan di IPLT (m<sup>3</sup>/hari)

P = Jumlah penduduk yang akan dilayani (jiwa)

Q = Debit timbulan lumpur tinja (0,5 L/jiwa/hari)  
% = persentase pelayanan dengan menggunakan pendekatan minimal 60%

## 2.6 Analisis Kelayakan Ekonomi

Analisa kelayakan ekonomi digunakan untuk mendapat ukuran menyeluruh sebagai dasar penilaian proyek (Salsabiila *et al.*, 2017). Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 tahun 2017, kelayakan ekonomi disusun dengan cara analisis ekonomi untuk mendapatkan gambaran manfaat yang diterima oleh masyarakat untuk mewujudkan peningkatan kesehatan, produktivitas masyarakat, dan perlindungan lingkungan. Kelayakan ekonomi dapat dianalisis berdasarkan nilai ekonomi kini bersih (*Economic Net Present Value/ENPV*), laju pengembalian ekonomi internal (*Economic Internal Rate of Return/EIRR*), dan *Economic Benefit Cost Ratio/EBCR*.

### a. *Economic Net Present Value (ENPV)*

NPV didapatkan dari total manfaat yang diperoleh dari pembangunan selama umum proyek diperoleh dari pembangunan selama umur proyek dikurangi dengan total biaya selama umur proyek dan dihitung berdasarkan nilai sekarang. Perhitungan ENPV dapat dilihat pada persamaan 2.2.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{I}{1+r} + \frac{CF}{(1+r)^t} \quad (2.15)$$

Keterangan :

NPV = nilai investasi sekarang

I = modal awal

CF = *cashflow* tiap tahun

r = tingkat bunga

n = tahun ke-n

### b. *Economic Internal Rate of Return (EIRR)*

EIRR dinyatakan sebagai suatu tingkat diskonto (suku bunga) dimana nilai sekarang dari keuntungan adalah sama besarnya dengan nilai sekarang dari biaya-biaya yang dikeluarkan

(Hermawati, 2011). Perhitungan EIRR dapat dilihat pada persamaan 2.3.

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{I}{1+IRR} + \frac{CF}{(1+IRR)^t} \quad (2.16)$$

Keterangan :

EIRR = tingkat bunga kegiatan

I = modal awal

CF = *cashflow* tiap tahun

n = tahun ke-n

c. *Economic Benefit Cost Ratio* (EBCR)

EBCR adalah nilai perbandingan antara total nilai arus manfaat dengan total nilai arus biaya yang dikeluarkan. Perhitungan EBCR dapat dilihat pada persamaan 2.4.

$$\frac{B}{C} \text{ ratio} = \frac{PV \text{ cash inflow}}{PV \text{ cash outflow}} \quad (2.17)$$

Keterangan :

PV *cash in flow* = nilai sekarang dari manfaat

PV *cash out flow* = nilai sekarang dari biaya

Hasil perhitungan disebut positif terhadap batas kelayakan ekonomi apabila memenuhi syarat sebagai berikut:

1. NPV positif;
2. EIRR minimal sama dengan nilai yang ditetapkan;
3. *Benefit Cost Ratio* >1.



## BAB 3

### GAMBARAN UMUM WILAYAH PERENCANAAN

#### 3.1 Gambaran Umum Wilayah Kota Madiun

Kota Madiun yang merupakan ibukota Madiun, Jawa Timur ini memiliki wilayah seluas 33,23 km<sup>2</sup> atau sekitar 0,072 persen dari total luas wilayah Provinsi Jawa Timur dengan jumlah penduduk sebanyak 176.099 jiwa (BPS, 2018). Secara astronomis terletak di antara 111°29'45"-111°33'30" Bujur Timur dan 7°35'45"- 7°40' Lintang Selatan. Adapun batas-batas administrasi Kota Madiun adalah sebagai berikut :

- a. Sebelah Utara : Kecamatan Sawahan dan Kecamatan Madiun
- b. Sebelah Selatan : Kecamatan Geger
- c. Sebelah Timur : Kecamatan Wungu
- d. Sebelah Barat : Kecamatan Jiwan

Wilayah administrasi Kota Madiun terdiri atas tiga wilayah kecamatan, yaitu Kecamatan Taman, Kecamatan Kartoharjo, dan Kecamatan Manguharjo dengan masing-masing 9 kelurahan per kecamatan. Data luas wilayah per kelurahan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Luas Wilayah Kota Madiun Per Kelurahan**

Kecamatan	Kelurahan	Luas Wilayah (km <sup>2</sup> )	Total Luas (km <sup>2</sup> )
Kartoharjo	Kartoharjo	0,94	10,73
	Oro-oro ombo	1,38	
	Klegen	0,82	
	Kanigoro	1,44	
	Pilangbango	1,21	
	Rejomulyo	2	
	Sukosari	0,52	
	Tawangrejo	1,47	
	Kelun	0,95	
Manguharjo	Nambangan Kidul	1,03	10,04

Kecamatan	Kelurahan	Luas Wilayah (km <sup>2</sup> )	Total Luas (km <sup>2</sup> )
	Nambangan Lor	0,9	
	Manguharjo	1,42	
	Pangongangan	0,61	
	Winongo	2	
	Madiun Lor	0,74	
	Patihan	0,84	
	Ngegong	1,36	
	Sogaten	1,14	
	Josenan	1,54	
	Kuncen	0,32	
<b>Taman</b>	Demangan	1,92	12,46
	Banjarejo	1,83	
	Pandean	0,92	
	Kejuron	1,59	
	Taman	1,06	
	Mojorejo	1,26	
	Manisrejo	2,02	

Sumber : (BPS, 2018)

Tinggi daratan Kota Madiun terletak pada 63 meter hingga 67 meter diatas permukaan laut dengan kemiringan rata-rata 0%-2%, berdasarkan ketinggian diatas permukaan laut (dpl) atau elevasi, Kecamatan Manguharjo berada pada 76 m dpl, Kecamatan Taman 77 m dpl, dan Kecamatan Kartoharjo 68 m dpl. Kota Madiun berada dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) Bengawan Solo pada Wilayah Sungai (WS) Bengawan Solo, dan dilintasi oleh Sungai Madiun sebagai sungai utama dengan anak sungai yaitu Sungai Catur dan Sungai Sono (Strategi Sanitasi Kota (SSK) Madiun, 2017). Peta administrasi Kota Madiun dapat dilihat pada Gambar 3.1.

### 3.1.1 Kependudukan

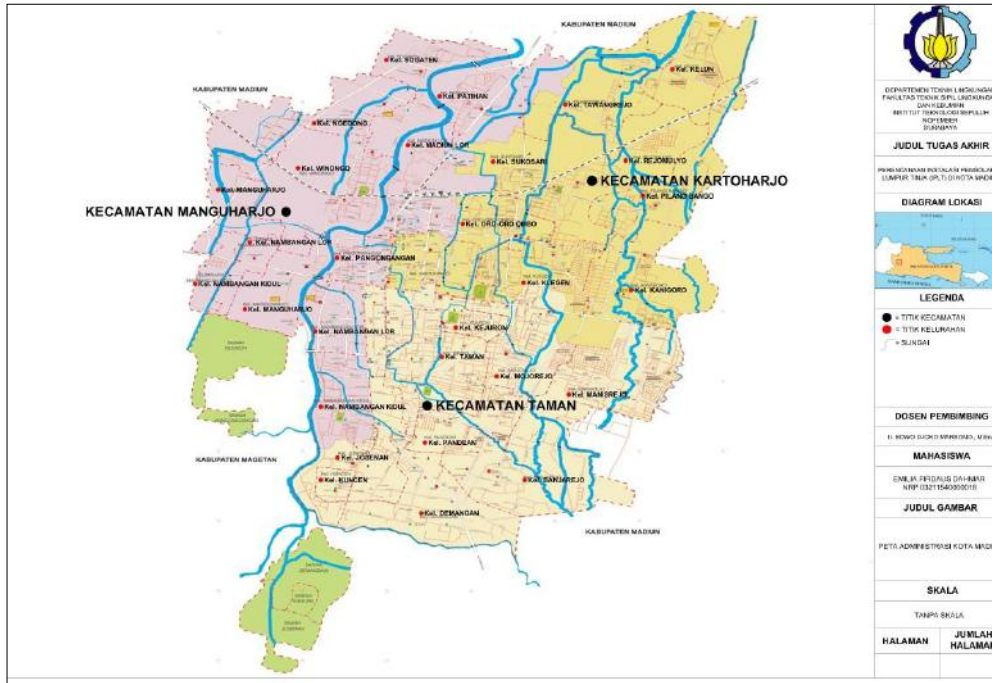
Penduduk Kota Madiun berdasarkan proyeksi penduduk tahun 2017 sebanyak 176.099 jiwa terdiri dari 85.203 jiwa penduduk laki-laki dan 90.896 jiwa penduduk perempuan. Dibandingkan dengan proyeksi tahun 2016, penduduk Kota Madiun mengalami pertumbuhan sebesar 0,28 persen. Dari tiga kecamatan yang ada di Kota Madiun, pertumbuhan penduduk

tertinggi adalah Kecamatan Taman yaitu 0,62 persen. Komposisi penduduk Kota Madiun tahun 2017 menurut kelompok usia terdiri atas 43,82% atau 77.167 jiwa adalah penduduk berusia 15-44 tahun, 20,94% atau 36.872 jiwa berusia 0-14 tahun, dan 35,24% atau 62.060 jiwa berusia 45 tahun keatas. Kepadatan penduduk di Kota Madiun tahun 2017 mencapai 5.299 jiwa/km<sup>2</sup>. Kecamatan Taman merupakan kecamatan terpadat dengan angka kepadatan penduduk 6.115 jiwa/km<sup>2</sup> (BPS, 2018). Luas wilayah, kepadatan penduduk, jumlah penduduk dan laju pertumbuhan penduduk pada tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel.3.2.

**Tabel 3.2 Luas Wilayah, dan Kependudukan Kota Madiun 2017**

No	Kecamatan	Luas Wilayah (km <sup>2</sup> )	Kepadatan Penduduk per km <sup>2</sup>	Jumlah (Jiwa)	Laju Pertumbuhan
1	Manguharjo	10,04	4.849	48.681	-0,34
2	Taman	12,46	6.155	76.692	0,62
3	Kartoharjo	10,73	4.727	50.726	0,37
	<b>Jumlah</b>	33,23	5.299	176.099	0,28

Sumber : (BPS, 2018)



**Gambar 3.1 Peta Administrasi Kota Madiun**  
 Sumber : (Strategi Sanitasi Kota (SSK) Madiun, 2018)

### 3.1.2 Kondisi Klimatologi dan Curah Hujan

Kota Madiun beriklim tropis dengan rata – rata suhu udara selama tahun 2017 di Kota Madiun adalah antara 23,60 – 23,97 °C. Curah hujan dilakukan di 4 (empat) stasiun. Masing-masing adalah Stasiun Kantor UPT, Stasiun PG Kanigoro, Stasiun PG Rejoagung dan Stasiun Klegen. Dari keempat stasiun tersebut, tercatat bahwa tidak rata curah hujan tertinggi tercatat di Stasiun Klegen pada Bulan ada hari hujan di Bulan Agustus. Jumlah hari hujan terbanyak yaitu 22 hari, terjadi pada bulan Februari. Sementara itu rata- Maret sebesar 29,76 mm<sup>3</sup>/hari (BPS, 2018). Berikut adalah data suhu udara dan curah hujan menurut bulan di Kota Madiun pada tahun 2017. Data suhu udara dan curah hujan menurut bulan di Kota Madiun Tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan 3.4.

**Tabel 3.3 Data Suhu Udara Menurut Bulan di Kota Madiun Tahun 2017**

Bulan	Suhu Udara °C		
	Maks	Min	Rata-rata
Januari	23,81	23,81	23,81
Februari	23,71	23,61	23,66
Maret	23,74	23,74	23,74
April	23,7	23,7	23,7
Mei	23,8	23,8	23,8
Juni	23,6	23,6	23,6
Juli	23,74	23,74	23,74
Agustus	23,97	23,97	23,97
September	23,93	23,93	23,93
Oktober	23,9	23,9	23,9
November	23,8	23,8	23,8
Desember	23,77	23,77	23,77

Sumber : (BPS, 2018)

**Tabel 3.4 Data Curah Hujan Menurut Bulan di Kota Madiun Tahun 2017**

Bulan	Rata - rata curah hujan			
	Sta.Kantor UPT	Sta. PG.Kanigoro	Sta.PG Rejoagung	Sta. Klegen
Januari	15,11	18,18	12,89	14,83
Februari	18	18,06	14,73	17,73
Maret	29,53	23,57	27,25	29,76

Bulan	Rata - rata curah hujan			
	Sta.Kantor UPT	Sta. PG.Kanigoro	Sta.PG Rejoagung	Sta. Klegan
April	24,93	17,65	26,23	25,8
Mei	19,11	8,8	17,78	19,22
Juni	9,57	26,4	9,43	10,17
Juli	4,5	6	4,5	3,5
Agustus	-	-	-	-
September	8	19,4	5,6	7,4
Oktober	11.2	13,83	8	10
November	28,62	23,11	26,63	27,71
Desember	15,67	25,6	14,18	15,08

Sumber : (BPS, 2018)

### 3.1.3 Kondisi Geologi

Struktur geologi Kota Madiun sebagian besar termasuk jenis alluvium sedangkan jenis tanahnya termasuk aluvial yang mempunyai kadar mineral dan organisme yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan jenis tanah tersebut merupakan campuran dari tanah liat dengan pasir halus yang berwarna hitam kelabu dengan daya penahan air yang cukup baik dan dapat menyerap air. Sehingga wilayah kota Madiun ini dikatakan memiliki bentuk lahan atau landform aluvial dimana terdapat aktifitas sungai Bengawan Solo yang ada pada hampir sebagian besar wilayah kota Madiun. Namun untuk batas bagian timur dan selatan, yaitu masuk pada wilayah Kabupaten Madiun Kecamatan Wungu dan Kecamatan Geger, terdapat bentukan lahan perbukitan vulkan karena pengaruh dari aktifitas Gunung Kelud (BPS, 2018).

### 3.2 Kondisi Pengelolaan Air Limbah Kota Madiun

Pengelolaan limbah cair di Kota Madiun sebagaimana besar memanfaatkan sistem pengolahan setempat yaitu menggunakan tangki septik di masing-masing rumah tangga. Menurut data profil kesehatan Kota Madiun (2018) menyatakan bahwa seluruh penduduk Kota Madiun 100% dari 176.099 jiwa telah menggunakan akses sanitasi yang layak (jamban sehat), dengan menggunakan jenis jamban komunal sebanyak 801 jiwa, jamban leher angsa sebanyak 169.356 jiwa, jamban plengsengan sebanyak 5.426 jiwa dan jamban cemplung sebanyak 516 jiwa. Berdasarkan STBM (2018), dapat diketahui bahwa masyarakat

Kota Madiun 0% yang melakukan BABS (Buang Air Besar Sembarangan) sehingga dari data tersebut masyarakat Kota Madiun yang menggunakan jamban sehat baik yang permanen, semi-permanen maupun komunal adalah 100%. Data jenis jamban yang digunakan masyarakat Kota Madiun dapat dilihat pada Tabel 3.5.

**Tabel 3. 5 Persentase akses jamban sehat Kota Madiun**

Kecamatan	Identitas Data		Kemajuan				
	Jumlah desa/ Kelurahan	Jumlah KK	JSP KK	JSS P KK	Sharing KK	BABS S KK	% Akses jamban
<b>Kartoharjo</b>	9/9	14959/ 17022	1148 0	698	2781	0	100
<b>Taman</b>	9/9	21115/ 25915	1755 4	1473	2088	0	100
<b>Manguharjo</b>	9/9	14522/ 17414	1325 7	331	934	0	100
<b>Total</b>	<b>27/27</b>	<b>50596/ 60351</b>	<b>4229 1</b>	<b>2502</b>	<b>5803</b>	<b>0</b>	<b>100</b>

Keterangan :

JSP = Jamban Sehat Permanen  
Komunal

Sharing = Jamban

JSSP = Jamban Sehat Semi Permanen

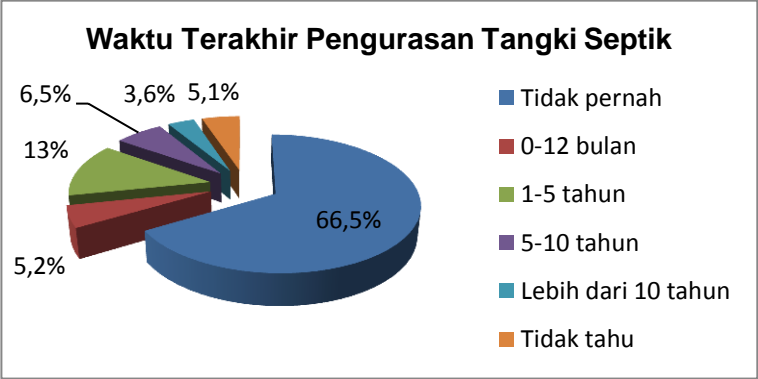
BABS = Buang Air Besar

Sembarangan

Sumber : (STBM, 2018)

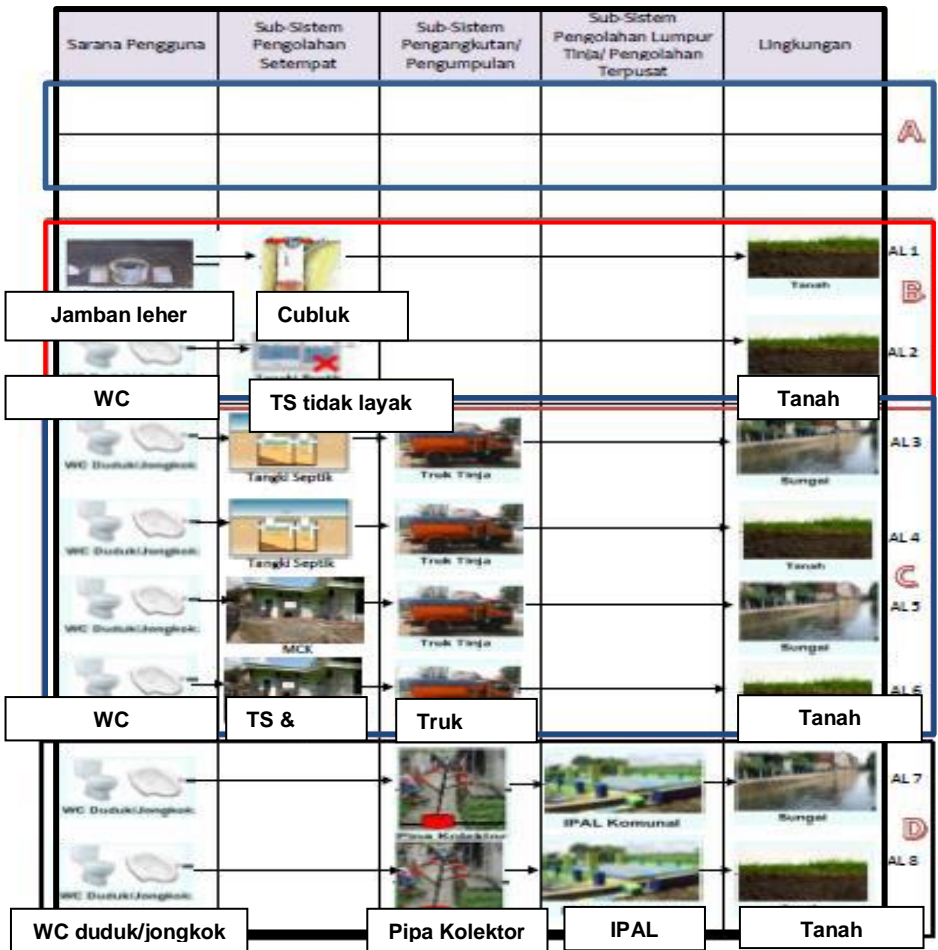
Berdasarkan (Strategi Sanitasi Kota (SSK) Madiun, 2017) diketahui bahwa 97,1% penduduk di Kota Madiun yang menggunakan tangki septik sebagai fasilitas penampungan lumpur tinja mayoritas 66,5% tidak pernah melakukan pengurasan, dan hanya 33,5% melakukan pengurasan, namun dengan periode pengurasan yang berbeda-beda. Periode waktu pengurasan tangki septik di Kota Madiun adalah 0-12 bulan sebanyak 5,2%, 1-5 tahun sebanyak 13%, antara 5-10 tahun sebanyak 6,5%, lebih dari 10 tahun sebanyak 3,6% dan tidak tahu terakhir kali pengurasan sebanyak 5,1%. Grafik periode pengurasan lumpur tinja dapat dilihat pada Gambar 3.2. Pengelolaan air limbah di Kota Madiun belum 100% aman, karena lumpur yang dikuras langsung dibuang ke sungai atau tanah tanpa diolah lebih lanjut, sistem air limbah eksisting yang

ada di Kota Madiun serta jenis dan jumlah infrastruktur yang telah dibangun disajikan dalam bentuk Diagram Sistem Sanitasi (DSS) dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2 Grafik Waktu Terakhir Pengurusan Tangki Septik**  
Sumber : (Strategi Sanitasi Kota (SSK) Madiun, 2017)





**Gambar 3.3 Diagram Sistem Sanitasi Pengelolaan Air Limbah Kota Madiun**

Sumber : (Strategi Sanitasi Kota (SSK) Madiun, 2017)

Keterangan :

- A. Praktik BABS dan Pembuangan Langsung (*Direct Discharge*)

- B. Wilayah perdesaan → Akses dasar
- Wilayah perkotaan → Tidak dihitung sebagai akses (BABS)
- C. Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik (SPALD) Setempat
- D. Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik (SPALD) Terpusat

Dari Gambar 3.3 di atas dapat dijelaskan bahwa pengelolaan air limbah di Kota Madiun saat ini adalah sebagai berikut :

- AL1 :BAB di jamban leher angsa - cubluk - bidang resapan tanah
- AL2 :BAB di WC duduk/jongkok - tanki septik tidak layak - bidang resapan tanah
- AL3 :BAB di WC duduk/jongkok - tanki septik - sedot tinja (truk tinja) - sungai
- AL4 :BAB di WC duduk/jongkok - tanki septik - sedot tinja (truk tinja) - bidang resapan tanah
- AL5 :BAB di WC duduk/jongkok - MCK - sedot tinja (truk tinja) - sungai
- AL6 :BAB di WC duduk/jongkok - MCK - sedot tinja (truk tinja) - bidang resapan tanah
- AL7 :BAB di WC duduk/jongkok - pipa kolektor - IPAL komunal - sungai
- AL8 :BAB di WC duduk/jongkok - pipa kolektor - IPAL komunal - bidang resapan tanah

Berdasarkan Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa tidak ada praktik BABS dan pembuangan langsung (*Direct Discharge*) tetapi karena Kota Madiun adalah wilayah perkotaan, maka pengolahan air limbah berupa cubluk dan tangki septik tidak layak sebenarnya masih di sebut BABS. Kota Madiun sampai saat ini belum memiliki IPLT sehingga untuk truk tinja yang melakukan penyedotan tinja di Kota Madiun dibuang ke sungai dan tanah kosong, sehingga jika dilihat secara menyeluruh maka pengolahan air limbah di Kota Madiun dikatakan 100% belum aman (Strategi Sanitasi Kota (SSK) Madiun, 2017).

### **3.3 Rencana Lokasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)**

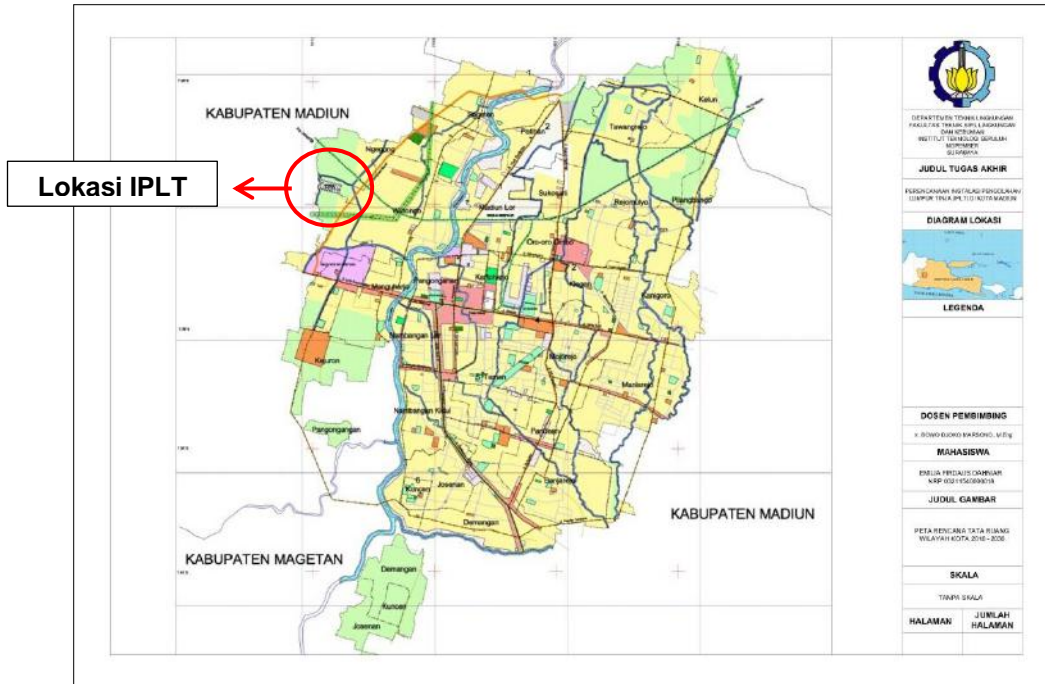
Rencana pembangunan IPLT Kota Madiun terletak di area persawahan di Jalan *Ring Road* barat, Kelurahan Winongo,

Kecamatan Manguharjo, Kota Madiun, direncanakan di sebelah timur tempat pembuangan akhir sampah (TPA) Winongo Kota Madiun yang merupakan lahan milik Pemerintah Kota Madiun. Lokasi tersebut dipilih karena agak jauh dari pemukiman warga, sehingga dampak dari pembangunan tersebut dapat diminimalisir dan akses menuju lokasi mudah dijangkau dan dapat dilalui oleh truk-truk pengangkut tinja. Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Madiun maka pembangunan IPLT sesuai dengan peruntukannya yaitu salah satu upaya yang terencana untuk pengolahan dan pembuangan limbah yang akrab lingkungan karena limbah tinja yang diolah di tangki septik belum layak dibuang di media lingkungan.

Luas lahan yang dapat digunakan sebagai lokasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) yaitu 4.521,4 m<sup>2</sup> dengan elevasi + 64 mdpl. Batas-batas lokasi rencana IPLT adalah sebagai berikut :

- a. Sebelah Utara : Persawahan
- b. Sebelah Selatan : Persawahan
- c. Sebelah Timur : Jalan Raya Ringroad
- d. Sebelah Barat : TPA Winongo

Kondisi rencana lokasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun dapat dilihat pada Gambar 3.4 sampai Gambar 3.6.



**Gambar 3.4 Peta Tata Ruang Wilayah Kota Madiun**  
 Sumber : Lampiran II Peraturan Daerah Kota Madiun Nomor 6 Tahun 2011



**Gambar 3.5 Peta Rencana Lokasi IPLT**



**Gambar 3.6 Kondisi Jalan Lokasi IPLT**

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

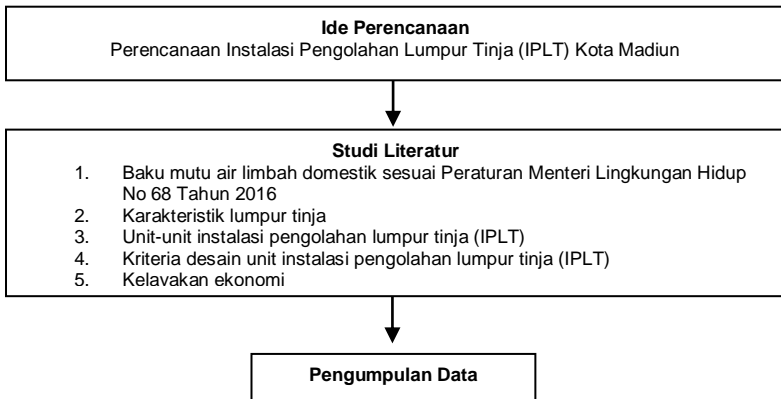
## BAB 4 METODE PERENCANAAN

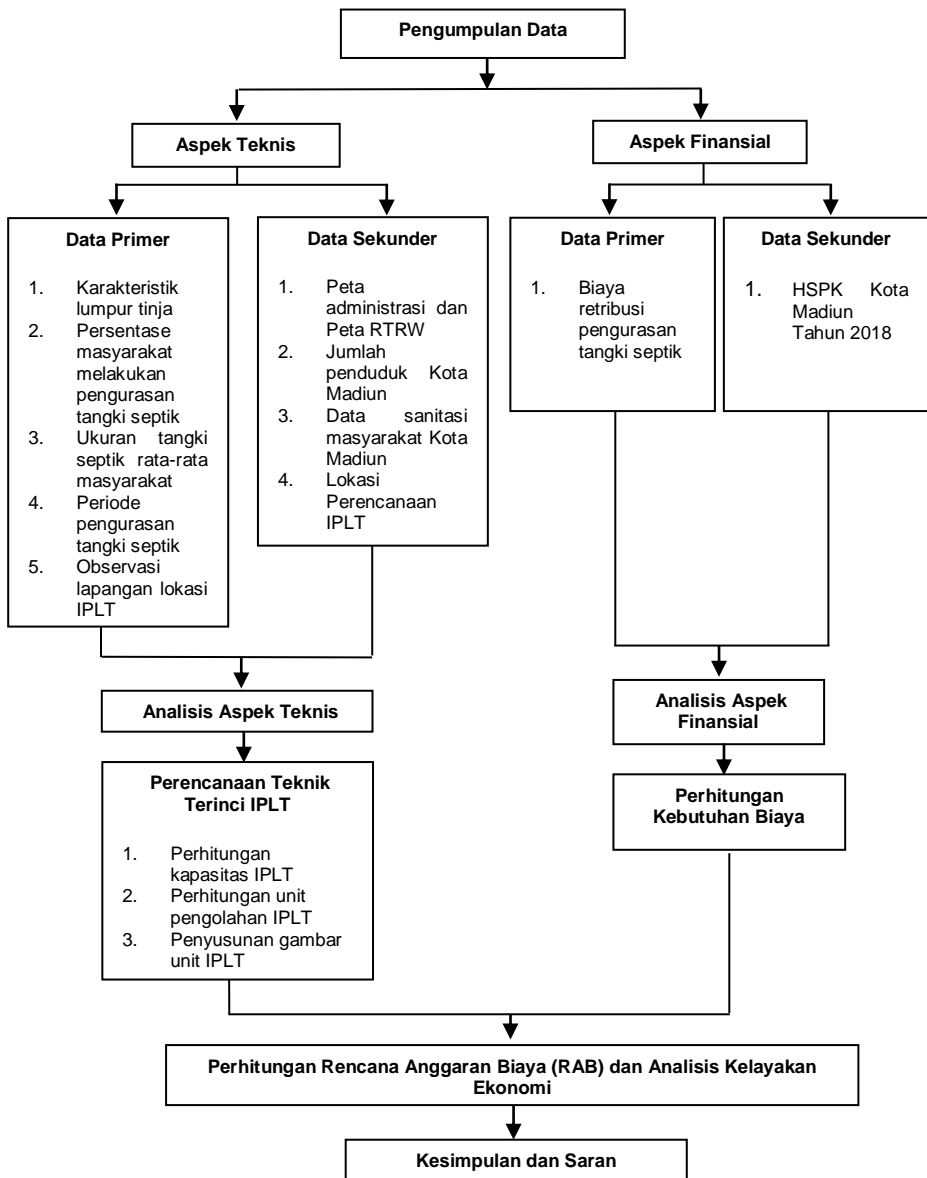
### 4.1 Gambaran Umum Perencanaan

Pada tugas akhir ini dilakukan perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun. Perencanaan ini menggunakan dua aspek yakni aspek teknis dan aspek finansial. Metode perencanaan disusun sebagai pedoman dalam proses perencanaan yaitu mulai proses pengumpulan data primer dan sekunder, perhitungan serta pembuatan desain dari ide perencanaan, dan perhitungan kelayakan ekonomi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) dengan metode *Economic Net Present Value* (ENPV) dan *Economic Benefit Cost Ratio* (EBCR).

### 4.2 Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan merupakan gambaran awal mengenai alur perencanaan. Penyusunan kerangka perencanaan yang jelas dan sistematis dapat mempermudah dalam proses pelaksanaan perencanaan. Kerangka perencanaan ini berisi tahapan yang dilakukan dalam perencanaan dari awal hingga akhir. Kerangka perencanaan dapat dilihat pada Gambar 4.1.





**Gambar 4. 1 Kerangka Perencanaan**



### **4.3 Rangkaian Kegiatan Perencanaan**

Rangkaian kegiatan perencanaan terdiri dari penjelasan tahap kegiatan yang dilakukan selama perencanaan ini, tahapan perencanaan sebagai berikut :

#### **4.3.1 Ide Perencanaan**

Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Kota Madiun berawal dari kesenjangan antara kondisi eksisting dengan kondisi ideal berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 Tahun 2017. Kota Madiun dengan jumlah penduduk yang cukup tinggi sebanyak 176.099 jiwa (BPS, 2018), diperkirakan bahwa timbulan lumpur tinja yang ada di Kota Madiun akan sebanding dengan jumlah penduduk. Menurut Strategi Sanitasi Kota (SSK) Madiun (2017) menunjukkan 97,1% penduduk Kota Madiun telah menggunakan sanitasi tangki septik, namun Kota Madiun belum memiliki fasilitas Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) untuk mengolah lumpur tinja yang dihasilkan oleh sistem pengolahan setempat, sehingga pembuangan lumpur hasil pengurasan tangki septik dibuang di lahan terbuka atau badan air. Pada perencanaan ini digunakan 2 aspek, yaitu :

1. Aspek teknis

Aspek teknis meliputi perencanaan teknik terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) yang dilengkapi dokumen Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan kumpulan gambar teknis.

2. Aspek finansial

Aspek finansial merujuk pada perhitungan analisis kelayakan ekonomi dari adanya perencanaan pembangunan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun.

#### **4.3.2 Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan teori yang dapat mendukung ide perencanaan, hasil analisis data dan pembahasan. Studi literatur dapat diperoleh melalui buku, jurnal penelitian, prosiding, skripsi, thesis, peraturan pemerintah, dan pustaka lain yang berhubungan dengan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT). Dalam perencanaan ini, literatur yang

digunakan yaitu baku mutu air limbah sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 68 Tahun 2016, karakteristik lumpur tinja, unit-unit Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT), kriteria desain unit instalasi pengolahan lumpur tinja (IPLT), dan kelayakan ekonomi.

#### **4.3.3 Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dibutuhkan untuk mendapat data-data pendukung agar perencanaan dapat dilakukan dengan benar dan sesuai dengan kondisi lapangan. Data yang dibutuhkan dalam perencanaan ini berupa data primer dan data sekunder.

##### **A. Pengumpulan Data Primer**

Data primer yang dibutuhkan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut :

##### **1. Karakteristik lumpur tinja**

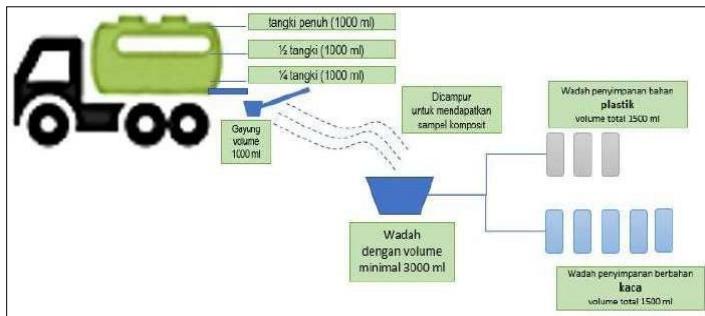
Data karakteristik lumpur tinja diperoleh dari pengambilan sampel lumpur tinja dari truk tinja yang beroperasi di IPLT Keputih, Surabaya, hal ini dilakukan dengan asumsi bahwa karakteristik lumpur tinja di Indonesia adalah sama. Pengambilan sampel menggunakan metode *grab sampling* yang mengacu dari SNI 6989:59:2008 mengenai pengambilan sampel pada air limbah.

Teknik pengambilan sampel lumpur tinja adalah sebagai berikut :

- a. Pengambilan sampel dilakukan dalam 3 tahap, dengan masing-masing volume sampel sebanyak 1000 mL:
  - 1) pada awal pembuangan
  - 2) setelah setengah kapasitas tangki dikeluarkan; dan
  - 3) pada akhir pembuangan lumpur tinja (3/4 tangki kosong)
- b. Kemudian, ketiga sampel tersebut dicampur untuk mendapatkan sampel komposit dan disimpan dalam wadah. Wadah yang dapat digunakan untuk membawa sampel terdiri dari:

- 1) wadah plastik dengan volume 1,500 mL untuk pemeriksaan parameter fisik dan kimia
- 2) wadah kaca dengan total 1,500 mL untuk pemeriksaan parameter total koliform dan parameter minyak dan lemak

Tata cara pengambilan sampel lumpur tinja dapat dilihat pada Gambar 4.2



**Gambar 4. 2 Tata Cara Pengambilan Sampel Lumpur Tinja**

Sumber : Direktorat PPLP, Kementerian PUPR

Pengujian sampel lumpur tinja akan dilakukan dengan metode pemeriksaan sampel sesuai dengan SNI yang dapat dilihat pada Tabel 4.1. Parameter yang akan diuji adalah sebagai berikut :

- 1) *Biological Oxygen Demand* ( $BOD_5$ )  
*Biological Oxygen Demand* ( $BOD_5$ ) merupakan parameter yang mengindikasikan kandungan senyawa organik yang dapat terdegradasi secara biologis. Lumpur tinja merupakan buangan domestik yang memiliki kandungan organik yang cukup tinggi, dengan kandungan bahan organik yang tinggi, maka dalam pengolahan lumpur tinja dilakukan dengan cara biologi, yaitu pengolahan dengan memanfaatkan mikroorganisme dalam mendekomposisi / degradasi senyawa organik.

- 2) *Chemical Oxygen Demand (COD)*  
Kebutuhan oksigen kimiawi atau COD menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun yang sukar didegradasi secara biologis.
- 3) *Total Suspended Solid (TSS)*  
*Total Solid* merupakan total kandungan padatan di dalam lumpur tinja, dalam lumpur tinja memiliki kandungan padatan baik terlarut maupun tidak terlarut yang sangat tinggi. Kandungan bahan tersebut dapat dikurangi dengan melakukan pengolahan secara fisika, kimia dan biologi.
- 4) Total Coliform  
Bakteri koliform umumnya digunakan menjadi indikator kontaminasi bakteri patogen.
- 5) Amoniak  
Amoniak memiliki karakteristik tidak berwarna, berbau, larut dalam air dan bersifat menghasilkan larutan alkali yang mengandung ammonium hidroksida karena berhubungan dengan urine manusia. Amoniak dapat menyebabkan proses eutrofikasi dalam badan air penerima dan menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut dalam badan air penerima karena oksigen yang ada digunakan untuk nitrifikasi TKN akibat organisme badan air kekurangan oksigen dan akan mengalami kematian lebih lanjut dan akan terjadi anaerobik dalam badan air.
- 6) Fosfor  
Kandungan fosfor pada lumpur tinja umumnya cukup tinggi dengan kisaran 2-50 kali lebih tinggi dari konsentrasi air limbah domestik, bisa ditemukan dalam bentuk

orthofosfat  $H_3PO_4/PO_4\text{-P}$  dan fosfat terikat.

**Tabel 4.1 Metode pemeriksaan sampel lumpur tinja**

No	Parameter	Metode pemeriksaan sampel
1	<i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	SNI 6989.72:2009
2	<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	SNI 6989.2:2009
3	<i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	SNI 06.6989.3:2004
4	Amoniak	SNI 06-6989.30:2005
5	Fosfat	SNI 06-6989.31:2005
6	Nitrogen	SNI 4146: 2013
7	pH	SNI 06-6989.11:2004
8	Minyak dan lemak	SNI 6989.10:2011
9	Total Koliform	SNI ISO 9308-1:2010

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018

## 2. Survei lapangan

Survei lapangan dilakukan secara langsung menggunakan metode kuisisioner yang disebarakan kepada masyarakat Kota Madiun dengan bentuk daftar pertanyaan bersifat semi terbuka dan teknik wawancara terstruktur kepada penyedia jasa layanan sedot tinja di Kota Madiun.

- Responden masyarakat  
Penyebaran kuisisioner kepada masyarakat dilakukan untuk memperoleh informasi terkait persentase masyarakat melakukan pengurusan tangk septik, volume tangki septik rata-rata masyarakat, periode pengurusan tangki septik, biaya retribusi pengurusan tangki septik. Penentuan jumlah responden menggunakan metode slovin yaitu:

$$\text{Jumlah responden (n)} = \frac{N}{1+N(d)^2} \quad (4.1)$$

Keterangan :

N = ukuran populasi

d = batas toleransi kesalahan

Berdasarkan data STBM (2018) penduduk di Kota Madiun sebanyak 60.351 KK, apabila

digunakan batas toleransi kesalahan 10%, maka diperoleh jumlah responden sebanyak :

$$n = \frac{60.351}{1+60.351(0,1)^2} = 99,89 \text{ KK} \approx 100 \text{ KK}$$

Sesuai dengan hasil tersebut jumlah responden yaitu 100 KK yang tersebar di Kota Madiun, dengan menggunakan teknik *proportional random sampling* yang ditentukan berdasarkan jumlah pengguna tangki septik, perhitungan pembagian jumlah responden sebagai berikut :

$$(n) = \frac{n_i}{N} \times \text{jumlah sampel} \quad (4.2)$$

Keterangan :

$n_i$  = jumlah pengguna tangki septik tiap kecamatan (KK)

$N$  = total pengguna tangki septik di Kota Madiun (KK)

Berikut adalah contoh perhitungan di Kecamatan Kartoharjo, dengan jumlah pengguna tangki septik sebanyak 11.480 KK.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah responden (n)} &= \frac{11.480}{42.561} \times 100 \\ &= 27 \text{ KK} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan responden di Kecamatan Kartoharjo sebanyak 27 KK, dengan cara yang sama didapatkan pembagian jumlah responden selengkapnya pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2 Jumlah Responden *Proportional Random Sampling***

No	Kecamatan	Jumlah Pengguna Tangki Septik (KK)	Jumlah Responden (KK)
1	Kartoharjo	11.480	27
2	Taman	17.554	41
3	Manguharjo	13.527	32
	<b>Total</b>	<b>42.561</b>	<b>100</b>

Sumber : Hasil perhitungan

- Responden penyedia jasa layanan sedot tinja Penyebaran kuisisioner kepada penyedia jasa layanan sedot tinja swasta dilakukan

menggunakan metode wawancara dengan menajukan pertanyaan-pertanyaan terstruktur yang disusun secara sistematis untuk memperkuat dan memperjelas data yang diperoleh dari data primer atau data sekunder. Teknik pengambilan sampel untuk penyedia jasa layanan sedot tinja menggunakan *purposive sampling* dengan jumlah responden ditentukan berdasarkan data mitra potensial yang terdapat pada Strategi Sanitasi Kota (SSK) Madiun tahun 2017 dan informasi melalui media massa.

### **3. Observasi lapangan**

Data primer mengenai kondisi eksisting rencana lokasi IPLT dilakukan dengan teknik observasi secara langsung untuk mengetahui rencana lokasi penempatan IPLT, akses jalan, dan kondisi disekitar rencana lokasi IPLT, serta pengukuran luas lahan menggunakan aplikasi *google earth*.

## **B. Pengumpulan Data Sekunder**

Data sekunder akan diperoleh melalui pengambilan data dari instansi yang berkaitan maupun data yang berasal dari literatur. Data sekunder yang diperlukan dalam perencanaan ini yaitu :

- a. Peta administrasi dan peta RTRW Kota Madiun
- b. Data jumlah penduduk Kota Madiun
- c. Data kondisi umum wilayah Kota Madiun
- d. Data sanitasi masyarakat di Kota Madiun
- e. Lokasi rencana IPLT di Kota Madiun
- f. Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Madiun tahun 2018

### **4.4 Analisis Data dan Pembahasan**

Data yang didapat dari data primer dan data sekunder kemudian dianalisis dan dilakukan pembahasan. Analisis data dan pembahasan meliputi :

- a. Analisis hasil survei masyarakat dan penyedia jasa layanan sedot tinja

Data hasil survei masyarakat dan penyedia jasa layanan sedot tinja akan dianalisis dan ditampilkan dalam bentuk statistik sederhana berupa grafik atau tabel.

- b. Penetapan baku mutu air limbah efluen IPLT  
 Penetapan baku mutu air limbah efluen IPLT berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

**Tabel 4.3 Baku Mutu Air Limbah**

No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
1	pH	-	6-9
2	BOD	mg/L	30
3	COD	mg/L	100
4	TSS	mg/L	30
5	Minyak dan Lemak	mg/L	5
6	Amoniak	mg/L	10
7	Total Coliform	jumlah/100mL	3000

Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016

- c. Penentuan kapasitas IPLT  
 Penentuan kapasitas IPLT akan ditentukan berdasarkan proyeksi jumlah penduduk di Kota Madiun, target pelayanan pada periode perencanaan, periode pengurusan tangki septik, rencana hari kerja IPLT dalam satu tahun. Target pelayanan IPLT ditentukan menggunakan standar pelayanan minimal yaitu 60% dari masyarakat di Kota Madiun yang menggunakan akses jamban sehat, penentuan tersebut berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 04 tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, sedangkan periode pengurusan tangki septik disesuaikan dengan kondisi eksisting dan SNI, kemudian dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 2.14.
- d. Penentuan alternatif pengolahan lumpur  
 Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun direncanakan dapat mengolah lumpur tinja yang



masuk ke unit pengolahan dapat memenuhi baku mutu sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016. Karakteristik dari lumpur tinja mengandung bahan organik dan nutrisi yang cukup tinggi, sehingga diperlukan unit pengolahan biologis untuk mengurangi bahan organik dan nutrisi di dalam air limbah. Berikut Tabel 4.4 unit pengolahan berdasarkan kandungan air limbah.

**Tabel 4.4 Unit Pengolahan berdasarkan Kandungan Air Limbah**

<b>Kandungan Dalam Air Limbah</b>	<b>Unit Pengolahan</b>
<b>Bahan Organik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Aerobic Suspended Growth</i></li> <li>• <i>Aerobic Attached Growth</i></li> <li>• <i>Anaerobic Suspended Growth</i></li> <li>• <i>Anaerobic Attached Growth</i></li> <li>• Pengolahan Fisik Kimia</li> <li>• Oksidasi Kimiawi</li> <li>• Oksidasi Tingkat Lanjut</li> <li>• Filter Membran</li> </ul>
<b>Nutrien</b>	
• <b>Nitrogen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oksidasi Kimiawi</li> <li>• Nitrifikasi dan Denitrifikasi dengan <i>Suspended Growth</i></li> <li>• Nitrifikasi dan Denitrifikasi dengan <i>Fixed-Films</i></li> <li>• <i>Air Stripping</i></li> <li>• <i>Ion Exchange</i></li> <li>• Presipitasi Kimiawi</li> <li>• Pengolahan Biologis</li> </ul>
• <b>Fosfor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pengolahan Biologis</li> </ul>
• <b>Nitrogen dan Fosfor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pengolahan Biologis</li> </ul>

Sumber: Metcalf, 2013

Berikut ini adalah efisiensi dari unit-unit pengolahan yang akan digunakan sebagai pertimbangan pemilihan alternatif pengolahan lumpur tinja.

**Tabel 4. 5 Efisiensi Removal Unit Pengolahan Lumpur Tinja**

Proses Pengolahan	Unit Pengolahan	Efisiensi Removal (%)				
		TSS	BOD	COD	N	P
<b>Tahap I: Fisik</b>	Sumur Pengumpul <sup>a</sup>	-	-	-	-	-
	Bar Screen <sup>a</sup>	-	-	-	-	-
	Grit Chamber <sup>a</sup>	0-10	0-5	0-5	-	-
	Bak Pengendap <sup>a</sup>	50-65	30-40	30-40	10-20	10-20
	Bak Ekuwalisasi <sup>a</sup>	-	-	-	-	-
	<b>Tahap II: Biologis</b>	UASB <sup>c</sup>	80-90	75-85	85-95	50-60
	Aeration Tank <sup>d</sup>	80-90	95-98	90-95	85-90	-
	Oxidation Ditch <sup>d</sup>	70-90	80-95	80-90	75-85	-
	Trickling Filter <sup>e</sup>	60-70	60-70	60-70	15-25	8-20
	Areobic Filter <sup>f</sup>	40	60	55	-	-
<b>Pengolahan Lumpur</b>	Sludge Digester <sup>g</sup>	-	-	-	-	-
	Sludge Thickener <sup>g</sup>	-	-	-	-	-
	Sludge Drying Bed <sup>g</sup>	-	-	-	-	-

Sumber:<sup>a</sup>Metcalf, 1991; <sup>b</sup>Qasim, 1985; <sup>c</sup>Kargi, F., 2000; <sup>d</sup>US-EPA, 1992; <sup>e</sup>Kadu,2013; <sup>f</sup>Elmitwalli,2002; <sup>g</sup>Ghawi, 2009

Sehingga alternatif-alternatif yang direncanakan berdasarkan dari efisiensi *removal* kriteria desain sebagai berikut :

- a) Alternatif pengolahan I  
Rencana alternatif untuk pengolahan lumpur tinja di IPLT Kota Madiun adalah:
  1. *Solid Separation Chamber* (SSC)
  2. *Anaerobik Baffled Reactor* (ABR)
  3. *Aerated Lagoon*
  4. *Constructed Wetland*
  5. *Desinfeksi*
  6. *Bak Indikator*

7. *Sludge Drying Bed*
8. *Drying Area*

Diagram alir dari alternatif I adalah :

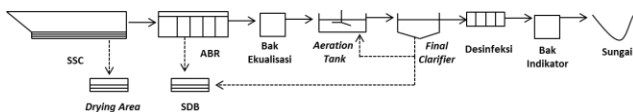


**Gambar 4.3 Alternatif Pengolahan I**

- b) Alternatif pengolahan II  
Rencana alternatif untuk pengolahan lumpur tinja di IPLT Kota Madiun adalah :

1. *Solid Separation Chamber (SSC)*
2. *Anaerobik Baffled Reactor (ABR)*
3. *Bak Ekualisasi*
4. *Tangki Aerasi*
5. *Clarifier*
6. *Disinfeksi*
7. *Bak Indikator*
8. *Sludge Drying Bed (SDB)*
9. *Drying Area*

Diagram alir dari alternatif II adalah :



**Gambar 4.4 Alternatif Pengolahan II**

- e. Perencanaan awal (*Preliminary Design*)  
Perencanaan awal merupakan tahap untuk menentukan proses dan unit pengolahan yang akan diterapkan, dengan memperhatikan kesesuaiannya terhadap luasan lahan IPLT yang tersedia.

Tahap perencanaan awal meliputi :

- I. Menetapkan periode perencanaan IPLT

Pada perencanaan ini ditetapkan periode perencanaan yaitu 20 tahun, dimulai pada tahun 2019-2038.

- II. Membuat diagram alir proses sesuai dengan alternatif terpilih
- III. Membuat kriteria perencanaan untuk setiap unit IPLT yang telah dipilih  
Penetapan kriteria perencanaan disesuaikan dengan alternatif terpilih, meliputi efisiensi pengolahan, waktu detensi, dan lain-lain.
- IV. Menghitung dimensi awal unit IPLT secara umum  
Berikut ini adalah langkah-langkah untuk melakukan perhitungan dimensi awal unit IPLT:
  - Menetapkan jumlah setiap unit pengolahan
  - Menghitung volume masing-masing unit pengolahan
  - Menentukan kedalaman unit pengolahan
  - Menentukan perbandingan panjang dan lebar unit pengolahan
  - Menghitung luas lahan berdasarkan jumlah unit yang telah ditetapkan
- V. Menghitung kesetimbangan massa untuk setiap unit IPLT  
Perhitungan kesetimbangan massa dilakukan untuk memperoleh gambaran penyisihan beban organik yang terjadi pada seluruh rangkaian bangunan pengolahan lumpur tinja.
- VI. Menetapkan rencana tata letak unit IPLT pada lokasi rencana IPLT  
Penetapan rencana tata letak unit IPLT disesuaikan dengan elevasi dan luas lahan rencana IPLT.
- VII. Perhitungan profil hidrolis  
Profil hidrolis dilakukan untuk menentukan besar penurunan muka air (headloss) akibat gesekan, jatuhnya, belokan dan kecepatan air dan memastikan bahwa air dapat mengalir.

Penghitungan profil hidrolis dapat dilakukan menggunakan rumus berikut ini.

$$Hf = \left( \frac{Q}{0,2785 C D^{2,63}} \right)^{1,85} L \quad (4.3)$$

Keterangan :

- Q = Debit
- C = Koefisien gesekan pipa
- D = Diameter pipa
- L = Panjang pipa

- f. Perencanaan teknik terinci (*Detail Engineering Design*)  
Perencanaan teknik terinci bangunan pengolahan lumpur tinja disusun berdasarkan tahap perencanaan awal. Proses penyusunan perencanaan teknik terinci meliputi :
- I. Mempersiapkan rangkaian pengolahan lumpur tinja yang akan diterapkan pada IPLT yang akan direncanakan  
Rangkaian pengolahan lumpur tinja yang akan dirincikan merupakan rangkaian yang telah dipertimbangkan dapat diterapkan di lokasi perencanaan berdasarkan tahapan awal.
  - II. Merencanakan unit pengolahan lumpur tinja  
Unit pengolahan lumpur tinja yang direncanakan disesuaikan dengan kriteria desain dari literatur atau penunjang lainnya, perencanaan unit-unit pengolahan lumpur tinja meliputi dimensi, volume dan beban pada setiap bangunan pengolahan lumpur tinja, unit yang akan direncanakan antara lain:
    - Unit pengolahan fisik
    - Unit pengolahan biologis
    - Unit pengolahan lumpur
    - Unit desinfeksi
  - III. Menyusun gambar detail unit pengolahan lumpur tinja dan profil hidrolis menggunakan *software* AutoCAD 2007. Gambar detail unit pengolahan lumpur tinja meliputi :

- Gambar denah IPLT termasuk sarana penunjang
  - Gambar *layout* masing-masing unit pengolahan
  - Gambar potongan memanjang masing-masing unit pengolahan
  - Gambar potongan melintang masing-masing unit pengolahan
  - Gambar profil hidrolis
- IV. Menyusun *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) unit pengolahan lumpur tinja
- Tahapan yang perlu dilaksanakan dalam perencanaan anggaran biaya bangunan pengolahan lumpur tinja meliputi :
- Penyusunan rencana anggaran biaya dilakukan setelah memperhatikan rencana kerja dan syarat-syarat/spesifikasi teknis dan gambar perencanaan teknis.
  - Rincian satuan pekerjaan dan pelaksanaan perhitungan volume pekerjaan memperhatikan kemungkinan adanya pekerjaan yang tidak terdapat dalam spesifikasi teknis dan gambar rencana tetapi diisyaratkan untuk dilaksanakan.
  - Setelah item pekerjaan dan volume ditetapkan, kemudian metode pelaksanaan konstruksi harus dipilih yang paling sesuai untuk setiap item pekerjaan untuk menentukan Harga Satuan item pekerjaan.
  - Analisa Harga Satuan menggunakan Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Madiun tahun 2018.
  - Harga satuan pekerjaan dihitung menurut tata cara survei dan pengkajian

harga satuan dan koefisien dasar bahan, tenaga kerja dan alat mengacu pada ketentuan yang berlaku.

- Rencana Anggaran Biaya (RAB) dapat dihitung dengan melakukan perkalian antara besaran volume per item pekerjaan dengan harga satuan per item pekerjaan.

g. Analisis kelayakan ekonomi

Analisis kelayakan ekonomi dilakukan menggunakan metode *Economic Net Present Value* (ENPV) dan *Economic Benefit Cost Ratio* (EBCR).

#### **4.5 Kesimpulan dan Saran**

Kesimpulan dan saran didapatkan dari hasil analisis perencanaan yang telah dilakukan. Kesimpulan merupakan jawaban atas tujuan yang ingin dicapai berdasarkan hasil perencanaan yang telah dibuat. Sedangkan saran merupakan masukan kepada pembaca yang sifatnya dapat membangun dan menyempurnakan tugas akhir yang telah dibuat.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## BAB 5 PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR TINJA (IPLT)

### 5.1 Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja

Pada sub bab ini akan diuraikan tentang analisis data hasil survei kepada masyarakat dan penyedia jasa layanan sedot tinja swasta, dengan tujuan untuk mendapatkan data sebagai data perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun, selain itu dilakukan perhitungan tahapan awal perencanaan hingga tahap perencanaan teknik terinci.

#### 5.1.1 Analisis Hasil Survei

Analisis data hasil survei pada perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota madiun meliputi sebagai berikut :

##### a. Analisis Hasil Survei Masyarakat

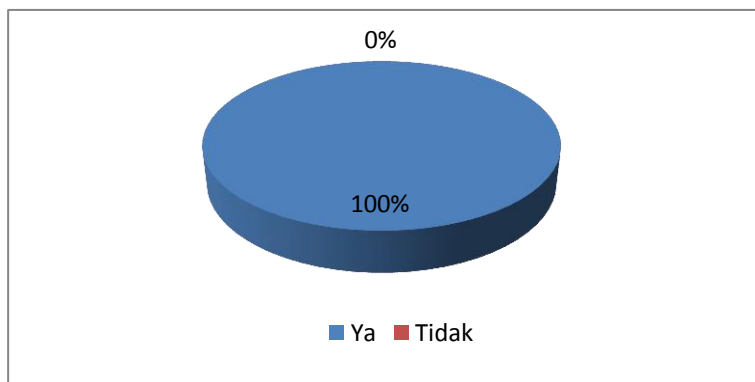
Survei kepada masyarakat dilakukan untuk memperoleh informasi terkait persentase masyarakat melakukan pengurusan tangki septik, volume tangki septik rata-rata masyarakat, periode pengurusan tangki septik, biaya retribusi pengurusan tangki septik, dengan menggunakan data acuan dari STBM (2018) menunjukkan jumlah penduduk di Kota Madiun sebanyak 60.351 KK, apabila menggunakan metode slovin dengan batas toleransi kesalahan 10% maka diperoleh jumlah responden sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah responden (n)} &= \frac{N}{1+N(d)^2} && (5.1) \\ \text{Jumlah responden (n)} &= \frac{60.351}{1+60.351(0,1)^2} \\ &= 99,89 \text{ KK} = 100 \text{ KK} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan maka didapatkan jumlah responden sebanyak 100 KK. Survei masyarakat dilakukan dengan teknik *proportional random sampling* secara langsung menggunakan metode wawancara dengan bentuk kuisioner pertanyaan semi terbuka yang disebarakan kepada masyarakat di setiap kecamatan di Kota Madiun, diantaranya berisi identitas responden, data terkait tangki septik, dan kesehatan.

Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 4298 tahun 2017 menyatakan bahwa tangki septik merupakan ruangan kedap air terdiri dari satu/beberapa kompartemen yang berfungsi menampung dan mengolah air limbah rumah tangga dengan kecepatan aliran yang lambat, sehingga memberi kesempatan untuk terjadi pengendapan terhadap suspensi benda-benda padat dan kesempatan untuk penguraian bahan-bahan organik oleh jasad anaerobik membentuk bahan-bahan larut air dan gas.

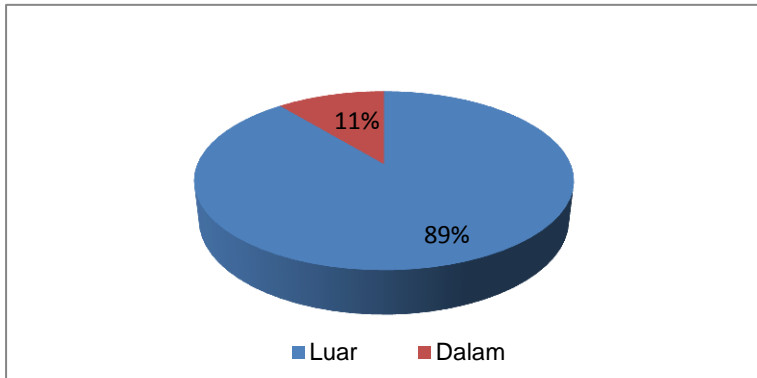
Berdasarkan data primer hasil survei kepada masyarakat, menunjukkan bahwa 100 responden menyatakan telah menggunakan tangki septik, sehingga dapat disimpulkan bahwa 100% masyarakat di Kota Madiun telah menggunakan tangki septik, persentase penggunaan tangki septik ini sangat diperlukan sebagai bentuk optimalisasi adanya Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun, berikut ini merupakan diagram lingkaran pengguna tangki septik di Kota Madiun, dapat dilihat pada Gambar 5.1.



**Gambar 5.1 Persentase Pengguna Tangki Septik**

Pengguna tangki septik di Kota Madiun relatif homogen, berdasarkan letak lokasi tangki septik milik masyarakat rata-rata terletak diluar bangunan rumah yaitu sebanyak 89% dan hanya 11% terletak di dalam bangunan rumah, disebabkan karena terbatasnya lahan yang dimiliki oleh responden sehingga memanfaatkan lahan yang ada di dalam rumah sebagai lokasi

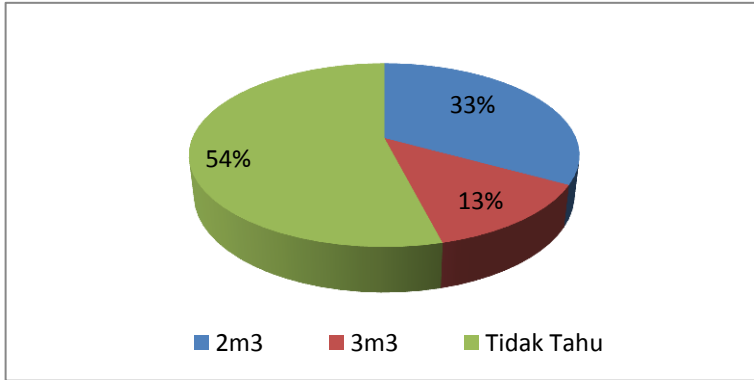
penanaman tangki septik, persentase letak lokasi tangki septik milik masyarakat di Kota Madiun dapat dilihat Gambar 5.2.



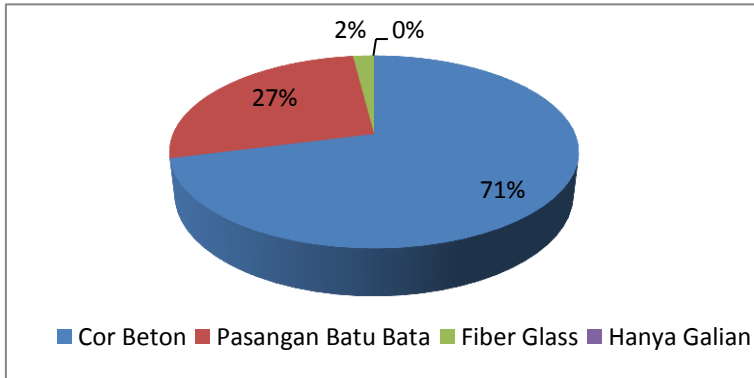
**Gambar 5.2 Letak Lokasi Tangki Septik**

Berdasarkan hasil survei untuk kapasitas tangki septik masyarakat di Kota Madiun yaitu tangki septik dengan kapasitas 2 m<sup>3</sup> sebanyak 33% dan kapasitas 3 m<sup>3</sup> sebanyak 13%, serta rata-rata dari masyarakat di Kota Madiun sebanyak 54% tidak mengetahui ukuran tangki septik, 54% masyarakat yang tidak mengetahui ukuran tangki septik ini sebagian beralasan bahwa pembangunan tangki septik yang sudah cukup lama.

Selain kapasitas tangki septik, menurut hasil survei yang dilakukan bahwa sebagian besar penduduk di Kota Madiun sebanyak 71% menggunakan bahan material atau konstruksi tangki septik dengan menggunakan cor beton/buis beton, pengguna tangki septik dengan bahan material pasangan batu bata sebanyak 27%, serta hanya 2% pengguna tangki septik dengan bahan *fiber glass*/plastik, dan tidak ada yang menggunakan tangki septik dengan metode galian, data selengkapnya dapat dilihat pada diagram lingkaran pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4.

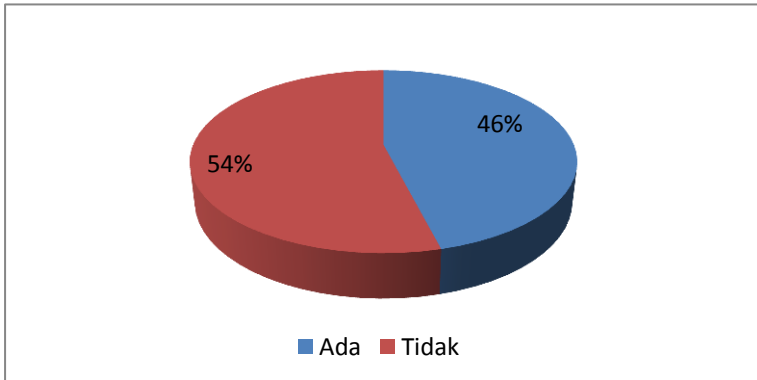


**Gambar 5.3 Persentase Kapasitas Tangki Septik**

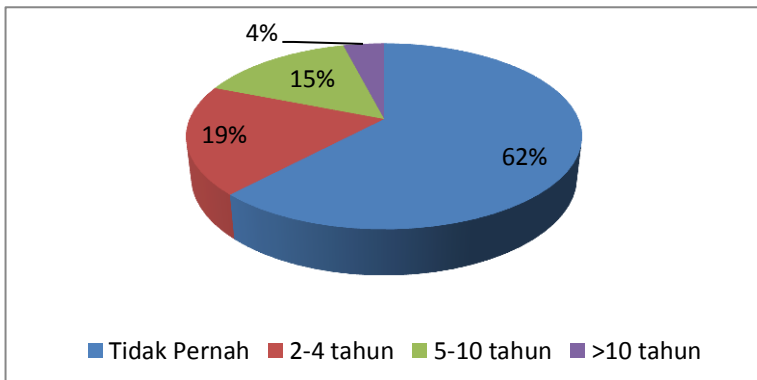


**Gambar 5.4 Bahan Material atau Konstruksi Pembangunan Tangki Septik**

Potensi pengurusan tangki septik di Kota Madiun salah satunya dipengaruhi oleh faktor teknis dalam kemudahan proses pengurusan tangki septik, seperti ada atau tidak adanya fasilitas lubang akses sedot tinja, yang dimiliki oleh masyarakat di Kota Madiun. Berdasarkan hasil survei yang telah dilakukan, didapatkan data bahwa hanya 46% tangki septik milik masyarakat yang memiliki lubang akses sedot tinja dan 54% tidak memiliki akses lubang sedot tinja. Data dapat dilihat pada Gambar 5.5.



**Gambar 5.5 Fasilitas lubang akses sedot tinja**

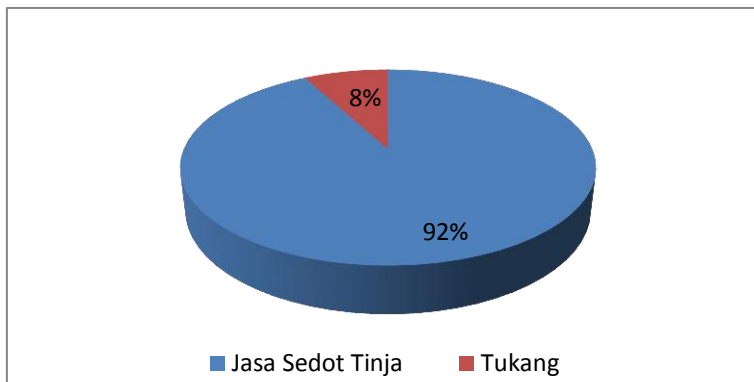


**Gambar 5.6 Interval Pengurasan Tangki Septik Terakhir**

Berdasarkan diagram lingkaran pada Gambar 5.6 dapat disimpulkan bahwa penduduk di Kota Madiun yang pernah melakukan pengurasan tangki septik sebanyak 38%. Menurut data interval pengurasan tangki septik terakhir yaitu 2-4 tahun sebanyak 19%, pengurasan dengan interval 5-10 tahun terakhir sebanyak 15% , dan sebanyak 4% telah melakukan pengurasan tangki septik lebih dari 10 tahun, dan mayoritas penduduk sebanyak 62% tidak pernah melakukan pengurasan tangki septik, dengan alasan bahwa ukuran tangki septik yang dibangun cukup

besar dan aliran tetap lancar meski tidak pernah dilakukan pengurasan. Kondisi seperti ini dapat dikatakan bahwa sebenarnya kondisi tangki septik masyarakat Kota Madiun tidak dalam keadaan baik/aman, Iksani (2019) menyatakan hal tersebut terjadi karena sebagian besar tangki septik tidak pernah dilakukan pengurasan, hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar tangki septik masyarakat Kota Madiun dalam keadaan tidak kedap air (bocor) meski dengan konstruksi atau bahan material beton.

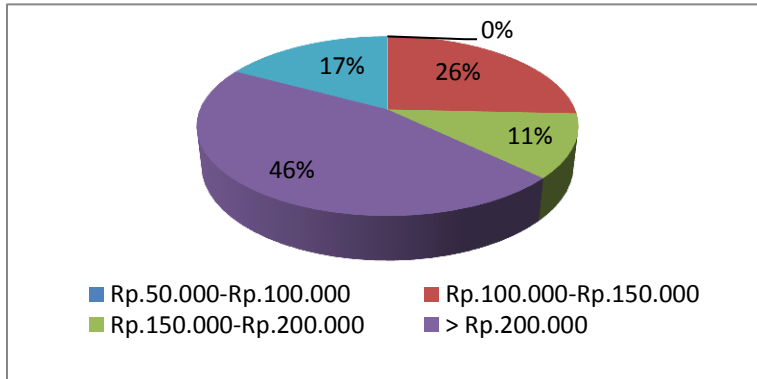
Berdasarkan pada data primer hasil kuisisioner, keseluruhan responden yang telah melakukan praktik pengurasan tangki septik sebanyak 92% (35 responden) menggunakan jasa layanan sedot tinja swasta dan 8% (3 responden) menggunakan jasa pribadi dengan memanggil tukang. Sesuai dengan data tersebut, maka dapat dikatakan bahwa sebagian besar masyarakat yang melakukan praktik pengurasan tangki septik cenderung menggunakan layanan sedot tinja swasta. Data dapat dilihat pada diagram lingkaran pada Gambar 5.7 berikut ini.



**Gambar 5.7 Cara Pengurasan Tangki Septik**

Besaran biaya yang dikeluarkan oleh responden yang pernah melakukan pengurasan tangki septik dengan menggunakan jasa layanan sedot tinja swasta, sebanyak 100% responden (35 orang) menyatakan tarif rata-rata sebesar lebih dari Rp 100.000.- per m<sup>3</sup> untuk satu kali pengurasan yang telah disesuaikan dengan ukuran kapasitas tangki dan jarak tempuh

untuk pembuangan lumpur tinja di IPLT terdekat dari lokasi pengurasan. Sesuai dengan data primer hasil survei terhadap responden mengenai besar retribusi jasa layanan sedot tinja swasta dapat dilihat pada diagram lingkaran Gambar 5.8 dibawah ini.

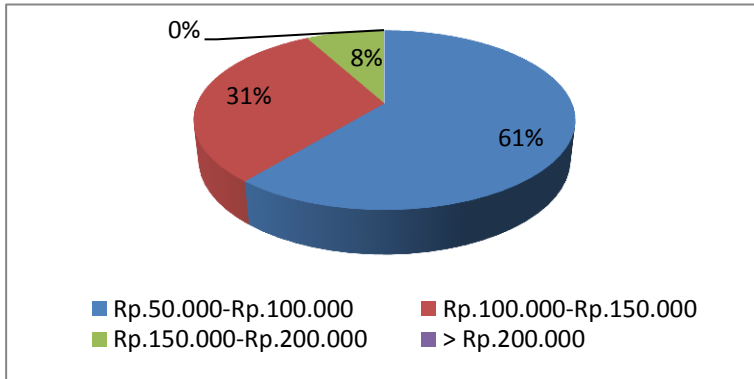


**Gambar 5.8 Biaya Retribusi Penyedotan Tinja**

Kota Madiun berdasarkan Strategi Sanitasi Kota (SSK) Madiun (2017) merupakan salah satu kota dengan 0% Buang Air Besar Sembarangan (BABS), namun sampai saat ini Kota Madiun belum memiliki Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT). Berdasarkan hasil kuisioner kepada masyarakat, didapatkan hasil bahwa 100% (100 responden) baik yang sudah pernah melakukan pengurasan atau tidak pernah melakukan pengurasan, mereka setuju adanya pembangunan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT). Untuk mengoptimalkan fungsi dan jenis unit pengolahan dari Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) diperlukan adanya partisipasi masyarakat dengan salah satunya kemampuan atau kesanggupan masyarakat terkait biaya retribusi.

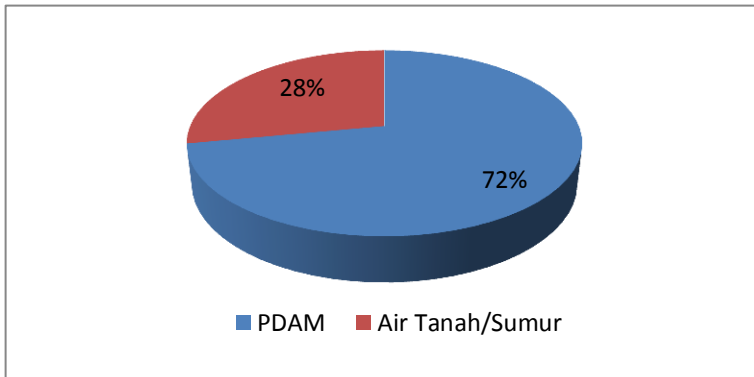
Berdasarkan hasil kuisioner, nilai kemampuan atau kesanggupan membayar retribusi diinginkan oleh masyarakat rata-rata sebanyak 61% menginginkan Rp 50.000.- sampai Rp 100.000.- per m<sup>3</sup>, 31% Rp 100.000.- sampai Rp 150.000.- per m<sup>3</sup>, dan 8% menyanggupi 150.000.- sampai Rp 200.000.- per m<sup>3</sup>. Sesuai dengan data primer hasil survei, besaran rentang biaya

retribusi yang diharapkan oleh responden ditunjukkan pada Gambar 5.9 berikut ini.



**Gambar 5.9 Retribusi yang diharapkan Responden**

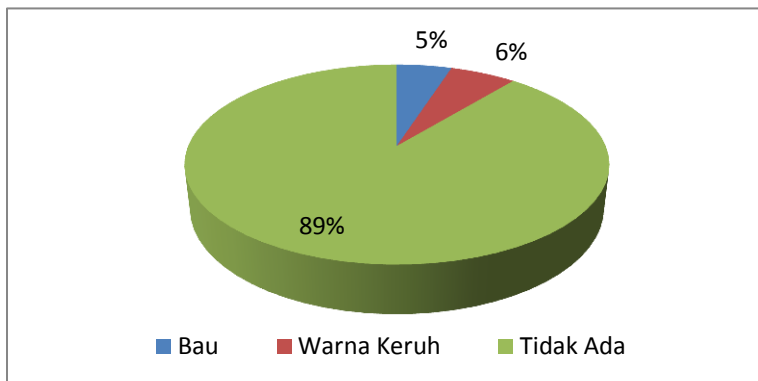
Sebagian besar penduduk Kota Madiun sebanyak 72% menggunakan air bersumber dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) dan 28% menggunakan air tanah/sumur, penggunaan air tanah/sumur ini dipengaruhi lokasi tempat tinggal penduduk dimana air tanah/sumur masih layak untuk dimanfaatkan, besar persentase penggunaan air berdasarkan jenis sumber air dapat dilihat pada Gambar 5.10.



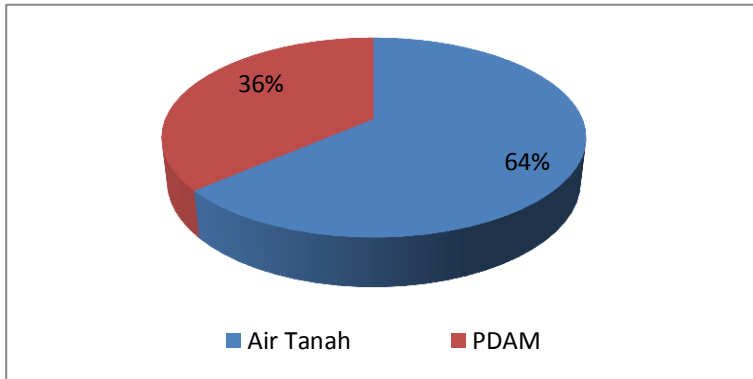
**Gambar 5.10 Sumber Air Penduduk Kota Madiun**



Berdasarkan hasil kuisioner sebanyak 89% tidak pernah mengalami permasalahan air bersih, dan 11% (11 orang) pernah mengalami permasalahan air bersih yaitu 5% timbul bau dan 6% warna keruh baik yang bersumber dari PDAM atau dari air tanah/sumur. Namun permasalahan air ini sebanyak 64% (7 orang) di dominasi oleh penggunaan air tanah/sumur, hal ini disebabkan kualitas air tanah, yang berkaitan dengan bahan material dari tangki septik, dimana ditemukan pengguna air sumur yang masih menggunakan pasangan batu bata dan tidak mempertimbangkan jarak air sumur dengan lokasi tangki, menurut penelitian yang dilakukan oleh Sapulete (2010) menyatakan bahwa jarak tangki septik memberikan sumbangan 44% terhadap kandungan bakteri *E. coli* dalam air sumur gali, keberadaan *E. coli* di air dipengaruhi oleh banyak hal yakni konstruksi sumur, dan sarana pembuangan air limbah serta jarak tangki septik dengan sumur gali, dimana jarak jangkauan pencemaran oleh bakteri secara horizontal yaitu 11 meter, dan vertikal yaitu 2 meter. Hal ini penting diketahui untuk mencegah terjadinya pencemaran air oleh tempat pembuangan kotoran atau tinja, semakin dekat jarak tangki septik dengan sumur gali, maka semakin besar pula kandungan bakteri yang terdapat didalamnya, selain itu faktor penting yang mendasari permasalahan air yaitu masyarakat tidak pernah melakukan pengurusan tangki septik. Data selengkapnya dapat dilihat pada diagram lingkaran Gambar 5.11 dan Gambar 5.12.



**Gambar 5.11 Keluhan terhadap Air Bersih**



**Gambar 5.12 Sumber Keluhan terhadap Air Bersih**

#### **b. Analisis Penyedia Jasa Layanan Sedot Tinja Swasta**

Analisis penyedia jasa layanan sedot tinja swasta dilakukan berupa pengisian kuisisioner, dengan teknik wawancara tidak langsung kepada 6 responden yang telah disesuaikan dengan Strategi Sanitasi Kota (SSK) Kota Madiun dan informasi melalui media massa. Pengisian kuisisioner ini untuk mengetahui jumlah praktik sedot tinja yang dilakukan dalam satu hari dan retribusi yang ditetapkan dalam satu kali pengurusan. Hal tersebut dilakukan untuk menyesuaikan tarif yang akan ditetapkan berdasarkan pada peraturan daerah yang berlaku sehingga tidak terjadi selisih atau ketimpangan tarif penyedotan tinja antara pihak swasta dan pihak pemerintah, dan merupakan bentuk kerjasama antara pihak swasta dan pihak pemerintah.

Berdasarkan pada data primer hasil kuisisioner terhadap 6 responden jasa layanan sedot tinja, rata-rata melakukan praktik sedot tinja 1-3 KK per hari dengan jangkauan tidak hanya di Kota Madiun, dengan kisaran tarif yang ditetapkan oleh penyedia jasa layanan sedot tinja swasta yaitu Rp 150.000.- sampai dengan Rp 200.000.- setiap m<sup>3</sup> dan telah disesuaikan dengan jarak ke lokasi pembuangan atau Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) terdekat. Data terkait jumlah penyedotan dan tarif jasa layanan sedot tinja selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.1.

**Tabel 5.1 Jumlah Penyedotan dan Tarif Tiap Jasa Layanan Sedot Tinja**

<b>Nama CV</b>	<b>Jumlah Penyedotan (KK/hari)</b>	<b>Tarif (m<sup>3</sup>)</b>
<b>A</b>	1-2	Rp 150.000.-
<b>B</b>	2-3	Rp 165.000.-
<b>C</b>	1-3	Rp 150.000.- s/d Rp 200.000.-
<b>D</b>	2	Rp 200.000.-
<b>E</b>	2	Rp 150.000.- s/d Rp 200.000.-
<b>F</b>	3	Rp 200.000.-

Sumber : Hasil kuisisioner, 2019

Sesuai dengan data pada Tabel 5.1 tersebut, dapat disimpulkan bahwa minat masyarakat Kota Madiun telah berpotensi untuk pengurusan tangki septik, namun dengan rentang tarif Rp 150.000.- sampai dengan Rp 200.000.- per m<sup>3</sup> cukup tinggi apabila diterapkan dengan keinginan masyarakat yang hanya menyanggupi antara Rp 50.000.- sampai dengan Rp 100.000.

### 5.1.2 Proyeksi Penduduk Kota Madiun

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 Tahun 2017 menyebutkan bahwa rencana induk ditetapkan untuk jangka waktu paling sedikit 10 tahun dan dilakukan peninjauan secara berkala untuk disesuaikan dengan kondisi berkembang. Penetapan periode perencanaan pembangunan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Kota Madiun berdasarkan rencana Tata Ruang Wilayah Kota Madiun, yaitu 10 tahun periode perencanaan dimulai pada tahun 2019-2028. Oleh karena itu perlu dilakukan proyeksi jumlah penduduk untuk mengetahui jumlah penduduk pada 10 tahun mendatang. Berikut adalah data eksisting jumlah penduduk Kota Madiun pada tahun 2010 sampai 2017, dan persentase laju pertumbuhan penduduk di Kota Madiun dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3.

**Tabel 5.2 Data Penduduk Kota Madiun Tahun 2010 - 2017**

<b>Tahun</b>	<b>Kecamatan</b>		<b>Jumlah Penduduk Kota Madiun (Jiwa)</b>	
	<b>Taman</b>	<b>Kartoharjo</b>		<b>Manguharjo</b>
<b>2010</b>	72.667	48.906	49.391	170.964
<b>2011</b>	73.076	49.181	49.669	171.926

Tahun	Kecamatan		Jumlah Penduduk Kota Madiun (Jiwa)
	Taman	Kartoharjo	
2012	73.286	49.323	172.421
2013	74.006	49.807	174.114
2014	75.170	50.086	174.373
2015	75.696	50.314	174.995
2016	76.221	50.537	175.607
2017	76.692	50.726	176.099

Sumber : BPS, 2018

**Tabel 5.3 Persentase Laju Pertumbuhan Penduduk di Kota Madiun 2010-2017**

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Pertumbuhan Penduduk	
		Jiwa	Persen (%)
2010	170.964	-	0,000
2011	171.926	962	0,563
2012	172.421	495	0,288
2013	174.114	1.693	0,982
2014	174.373	259	0,149
2015	174.995	622	0,357
2016	175.607	612	0,350
2017	176.099	492	0,280
<b>Jumlah</b>		5.135	2,968
<b>Rata-rata</b>		734	0,424

Sumber : Hasil Perhitungan

Perhitungan proyeksi penduduk pada perencanaan ini dilakukan dengan 3 metode, yaitu metode aritmatika, metode geometri, dan metode *Least Square*. Setelah diketahui hasil perhitungan masing-masing metode, maka akan dilakukan perhitungan standar deviasi dan koefisien korelasi sebagai penentu metode proyeksi penduduk yang dipilih berdasarkan nilai standar deviasi yang terkecil dan koefisien korelasi terbesar.

Sebelum melakukan proyeksi penduduk untuk 10 tahun mendatang, dilakukan perhitungan mundur dengan mengitung kembali penduduk tahun 2010 sampai dengan 2017 dengan menggunakan metode aritmatika, geometri dan *least square*.

a. Metode Aritmatika

$$P_n = P_o + K_a (T_a - T_o) \quad (5.2)$$

$$K_a = 734$$

$$\begin{aligned}
 P_0 &= P_{2017} = 176.099 \text{ jiwa} \\
 P_n &= 176.099 - 734 (2017-2010) \\
 &= 170.961 \text{ jiwa}
 \end{aligned}$$

b. Metode Geometrik

$$\begin{aligned}
 P_n &= P_0 (1+r)^n & (5.3) \\
 P_{2010} &= P_{2017} (1+ 1,00424)^7 \\
 P_{2010} &= 176.099/(1,00424)^7 \\
 &= 170.960 \text{ jiwa}
 \end{aligned}$$

c. Metode *Least Square*

$$\hat{Y} = a + bX \quad (5.4)$$

$$a = \frac{\sum Y.\sum X^2 - \sum X.\sum XY}{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (5.5)$$

$$b = \frac{n.\sum X.Y - \sum X.\sum Y}{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (5.6)$$

Keterangan :

X = Tahun ke -

Y = Jumlah penduduk (jiwa)

Untuk mencari nilai koefisien a dan b diperlukan data perhitungan sebagai berikut pada Tabel 5.4.

**Tabel 5.4 Perhitungan Stastistik Penduduk Kota Madiun**

Tahun	Jumlah Penduduk Y (Jiwa)	Tahun Ke X	X.Y	X <sup>2</sup>
2010	170.964	1	170.964	1
2011	171.926	2	343.852	4
2012	172.421	3	517.263	9
2013	174.114	4	696.456	16
2014	174.373	5	871.865	25
2015	174.995	6	1.049.970	36
2016	175.607	7	1.229.249	49
2017	176.099	8	1.408.792	64
<b>Jumlah</b>	<b>1.390.499</b>	<b>36</b>	<b>6.288.411</b>	<b>204</b>

Sumber : Hasil Perhitungan

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 5.4 sampai 5.6 maka besar koefisien a dan b dapat dihitung, yaitu :

$$a = 170.473$$

$$b = 742$$

$$Y_{2010} = 170.473 + 742 (2010-2010)$$

$$= 170.473 \text{ jiwa}$$

Pemilihan metode proyeksi penduduk ditentukan berdasarkan cara pengujian statistik pada nilai standar deviasi terkecil dan koefisien korelasi yang mendekati satu. Hasil perhitungan standar deviasi dan koefisien korelasi dari ketiga metode perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.5 sampai Tabel 5.8.

**Tabel 5.5 Deviasi Standar dan Koefisien Korelasi dari Hasil Perhitungan Aritmatika**

No	Tahun	Jumlah Penduduk	Hasil Aritmatika	Yi-Ymean	(Yi-Ymean) <sup>2</sup>
		Y (Jiwa)	Yi(Jiwa)		
1	2010	170.964	170.961	(2.851)	8.130.339
2	2011	171.926	171.695	(2.117)	4.483.277
3	2012	172.421	172.429	(1.383)	1.913.726
4	2013	174.114	173.163	(649)	421.688
5	2014	174.373	173.897	85	7.161
6	2015	174.995	174.631	819	670.147
7	2016	175.607	175.365	1.553	2.410.644
8	2017	176.099	176.099	2.287	5.228.654
<b>Jumlah</b>		1.390.499	1.388.240	(2.259)	23.265.637
<b>Y mean</b>		173.812			
<b>S</b>		1705,34			
<b>r</b>		0,98448037			

Sumber : Hasil Perhitungan

**Tabel 5.6 Deviasi Standar dan Koefisien Korelasi dari Hasil Perhitungan Geometri**

No	Tahun	Jumlah Penduduk	Hasil Geometri	Yi-Ymean	(Yi-Ymean) <sup>2</sup>
		Y (Jiwa)	Yi(Jiwa)		
1	2010	170.964	170.960	(2.852)	8.135.202
2	2011	171.926	171.685	(2.127)	4.525.791
3	2012	172.421	172.413	(1.399)	1.958.546
4	2013	174.114	173.144	(668)	446.871
5	2014	174.373	173.878	66	4.305
6	2015	174.995	174.615	803	644.518
7	2016	175.607	175.356	1.543	2.381.320
8	2017	176.099	176.099	2.287	5.228.654
<b>Jumlah</b>		1.390.499	1.388.150	(2.349)	23.325.207
<b>Y mean</b>		173.812			
<b>S</b>		1707,52			

<b>r</b>	0,983956255
----------	-------------

Sumber : Hasil Perhitungan

**Tabel 5.7 Deviasi Standar dan Koefisien Korelasi dari Hasil Perhitungan *Least Square***

No	Tahun	Jumlah Penduduk	Hasil Least Square	Yi-Ymean	(Yi-Ymean) <sup>2</sup>
		Y (Jiwa)	Yi (Jiwa)		
1	2010	170964	170.473	(3.339)	11.149.994
2	2011	171926	171.215	(2.597)	6.745.058
3	2012	172421	171.957	(1.855)	3.441.356
4	2013	174114	172.699	(1.113)	1.238.888
5	2014	174373	173.441	(371)	137.654
6	2015	174995	174.183	371	137.654
7	2016	175607	174.925	1.113	1.238.888
8	2017	176099	175.667	1.855	3.441.356
<b>Jumlah</b>		1.390.499	1.384.563	(5.936)	27.530.850
<b>Ymean</b>		173.812			
<b>a</b>		170.473			
<b>b</b>		742			
<b>S</b>		1.855			
<b>r</b>		0,984480376			

Sumber : Hasil Perhitungan

**Tabel 5.8 Perhitungan Standar Deviasi dan Koefisien Korelasi sebagai Uji Kesesuaian Metode Proyeksi**

Metode Proyeksi	Standar Deviasi	Koefisien Korelasi
<b>Aritmatika</b>	1705,3	0,98448
<b>Geometri</b>	1707,5	0,98396
<b>Least Square</b>	1855,1	0,98448

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari ketiga metode tersebut memiliki nilai hasil korelasi yang sama yaitu mendekati satu, sehingga ditambahkan standar deviasi yang paling kecil. Sehingga metode yang dipilih untuk memproyeksikan jumlah penduduk Kota Madiun hingga tahun 2038 adalah metode aritmatika.

Berikut ini adalah hasil proyeksi jumlah penduduk Kota Madiun hingga tahun 2038 dengan menggunakan metode aritmatika, dapat dilihat pada Tabel 5.9.

**Tabel 5. 9 Proyeksi Penduduk Kota Madiun Tahun 2019-2038**

No	Tahun	Proyeksi Penduduk (Jiwa)
1	2019	177.567
2	2020	178.301
3	2021	179.035
4	2022	179.769
5	2023	180.503
6	2024	181.237
7	2025	181.971
8	2026	182.705
9	2027	183.439
10	2028	184.173
11	2029	184.907
12	2030	185.641
13	2031	186.375
14	2032	187.109
15	2033	187.843
16	2034	188.577
17	2035	189.311
18	2036	190.045
19	2037	190.779
20	2038	191.513

Sumber : Hasil Perhitungan

### 5.1.3 Debit Lumpur Tinja

Dalam merencanakan debit lumpur tinja yang masuk ke IPLT perlu diketahui kapasitas tangki septik rata-rata milik masyarakat Kota Madiun, berdasarkan hasil analisis kuisisioner pada Gambar 5.4 sebanyak 33% menggunakan tangki septik berukuran 2 m<sup>3</sup>, 13% menggunakan tangki septik berukuran 3 m<sup>3</sup> dan 54% tidak mengetahui ukuran tangki septik yang digunakan. Sehingga dalam penentuan produksi lumpur tinja menggunakan rumus pada persamaan 2.14 yaitu perhitungan debit lumpur tinja berdasarkan jumlah penduduk.

Secara eksisting berdasarkan hasil kuisisioner pada gambar 5.1 sebanyak 100% penduduk di Kota Madiun telah menggunakan tangki septik namun presentase pengurusan tangki septik berdasarkan gambar 5.6 selama interval 10 tahun terakhir hanya mencapai 38%, dan hanya 19% penduduk yang melakukan pengurusan tangki septik dengan interval pengurusan 2 sampai 4 tahun, apabila disesuaikan dengan hasil wawancara dengan jasa



layanan sedot tinja swasta pada Tabel 5.1 diasumsikan bahwa kapasitas tangki septik rata-rata milik penduduk adalah  $2\text{m}^3$  dan dari 6 pihak jasa layanan sedot tinja swasta melakukan 2x ritasi setiap hari maka dalam sehari buangan lumpur tinja mencapai  $24\text{m}^3$ , dan apabila disesuaikan dengan kondisi eksisting dengan persen pelayanan 19% dengan jumlah penduduk pada tahun 2019 yaitu 177.567 jiwa, maka secara eksisting kapasitas IPLT adalah sebagai berikut :

- **Produksi lumpur tinja**

$$= \% \text{Pelayanan} \times \text{Laju Produksi Lumpur Tinja} \times \text{Jumlah Penduduk tahun 2019}$$

$$= 19\% \times 0,5 \text{ L/orang.hari} \times 177.567 \text{ jiwa}$$

$$= 16868,865 \text{ L / hari}$$

$$= 16,87 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Mengacu hasil kuisioner pada Gambar 5.6 diketahui bahwa penduduk di Kota Madiun tidak pernah melakukan pengurasan tangki septik, sehingga digunakan asumsi periode pengurasan tangki septik berdasarkan (SNI 03-2398-2002) yaitu selama 3 tahun. Sehingga total produksi lumpur tinja adalah sebagai berikut :

- **Total produksi lumpur tinja**

$$= \text{produksi lumpur tinja} \times \text{periode pengurasan}$$

$$= 16,87 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1095 \text{ hari}/3 \text{ tahun}$$

$$= 18472,65 \text{ m}^3/3 \text{ tahun}$$

Selama lumpur tinja tertampung pada tangki septik terjadi pengurangan volume lumpur tinja sebesar 50% sehingga volume lumpur tinja selama 3 tahun menjadi sebagai berikut:

- **Produksi lumpur tinja setelah reduksi**

$$= \text{Reduksi Volume} \times \text{Total produksi lumpur tinja}$$

$$= 50\% \times 18472,65 \text{ m}^3/3 \text{ tahun}$$

$$= 9236,4 \text{ m}^3/3 \text{ tahun}$$

Penentuan debit lumpur tinja masuk ke IPLT, juga perlu mempertimbangkan jumlah hari kerja IPLT tersebut. Hari kerja IPLT Kota Madiun direncanakan pada hari Senin – Minggu, sehingga total hari kerja adalah 7 hari dalam seminggu. Maka debit lumpur tinja yang masuk ke dalam IPLT dalam satu hari dapat di hitung menggunakan rumus sebagai berikut :

- **Debit lumpur tinja masuk IPLT**

= Produksi lumpur tinja per tahun / total hari kerja per tahun

$$= \frac{9236,4 / 3}{7 \times 52}$$

$$= 8,5 \text{ m}^3$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan bahwa kapasitas pengolahan untuk kapasitas eksisting tahun 2019 adalah  $8,5 \text{ m}^3$ . Oleh karena itu diperlukan perhitungan pada periode tahap pertama di tahun 2028 dengan persentase minimal sesuai dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 Tahun 2017 pada Lampiran II yaitu minimal 60% pelayanan, hal ini disesuaikan untuk mengoptimalkan dan meminimalisasi *idle capacity* Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja pada tahap perencanaan baru, menurut Azizah (2017), volume lumpur tinja yang diolah di IPLT sangat minim, sehingga pada kenyataannya 90% dari IPLT yang dibangun mengalami *idle capacity* yang cukup besar, hal ini berkaitan dengan kualitas sarana sistem setempat yang tidak memenuhi standar dan pelayanan penyedotan lumpur tinja yang masih berdasarkan pada permintaan konsumen (*on call based*), berikut adalah perhitungan kapasitas IPLT pada tahun 2028.

- **Produksi lumpur tinja**

= %Pelayanan x Laju Produksi Lumpur Tinja x Jumlah Penduduk tahun 2028

$$= 50\% \times 0,5 \text{ L/orang.hari} \times 184.173 \text{ jiwa}$$

$$= 46043,25 \text{ L / hari}$$

$$= 46,1 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- **Total produksi lumpur tinja**

= produksi lumpur tinja X periode pengurusan

$$= 46,1 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1095 \text{ hari}/3 \text{ tahun}$$

$$= 50479,5 \text{ m}^3/3 \text{ tahun}$$

- **Produksi lumpur tinja**

= Reduksi Volume x Total produksi lumpur tinja

$$= 50\% \times 50479,5 \text{ m}^3/3 \text{ tahun}$$

$$= 25239,75 \text{ m}^3/3 \text{ tahun}$$

- **Debit lumpur tinja masuk IPLT**

= Produksi lumpur tinja per tahun / total hari kerja per tahun

$$= \frac{25239,75/3}{7 \times 52}$$

$$= 23,1 \approx 24 \text{ m}^3$$

Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun dengan persentase target pelayanan 50% ditahun 2028 didapatkan kapasitas IPLT adalah  $24 \text{ m}^3$ , dengan dihitung secara bertahap pada tahun 2028 dan 2038 untuk mengetahui selisih kapasitas yang akan direncanakan, sehingga kapasitas IPLT yang direncanakan dengan persen pelayanan 70% adalah sebagai berikut:

- **Produksi lumpur tinja**

$$= \% \text{Pelayanan} \times \text{Laju Produksi Lumpur Tinja} \times \text{Jumlah Penduduk tahun 2038}$$

$$= 70\% \times 0,5 \text{ L/orang.hari} \times 191.513 \text{ jiwa}$$

$$= 60.029,55 \text{ L / hari}$$

$$= 60 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Mengacu hasil kuisioner pada Gambar 5.6 diketahui bahwa penduduk di Kota Madiun tidak pernah melakukan pengurusan tangki septik, sehingga digunakan asumsi periode pengurusan tangki septik berdasarkan (SNI 03-2398-2002) yaitu selama 3 tahun. Sehingga total produksi lumpur tinja adalah sebagai berikut :

- **Total produksi lumpur tinja**

$$= \text{produksi lumpur tinja} \times \text{periode pengurusan}$$

$$= 60 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1095 \text{ hari}/3 \text{ tahun}$$

$$= 65.700 \text{ m}^3/3 \text{ tahun}$$

Selama lumpur tinja tertampung pada tangki septik terjadi pengurangan volume lumpur tinja sebesar 50% sehingga volume lumpur tinja selama 3 tahun menjadi sebagai berikut:

- **Produksi lumpur tinja setelah reduksi**

$$= \text{Reduksi Volume} \times \text{Total produksi lumpur tinja}$$

$$= 50\% \times 65.700 \text{ m}^3/3 \text{ tahun}$$

$$= 32.850 \text{ m}^3/3 \text{ tahun}$$

Penentuan debit lumpur tinja masuk ke IPLT, juga perlu mempertimbangkan jumlah hari kerja IPLT tersebut. Hari kerja IPLT Kota Madiun direncanakan pada hari Senin – Minggu, sehingga total hari kerja adalah 7 hari dalam seminggu. Maka debit lumpur tinja yang masuk ke dalam IPLT dalam satu hari dapat di hitung menggunakan rumus sebagai berikut :

- **Debit lumpur tinja masuk IPLT**

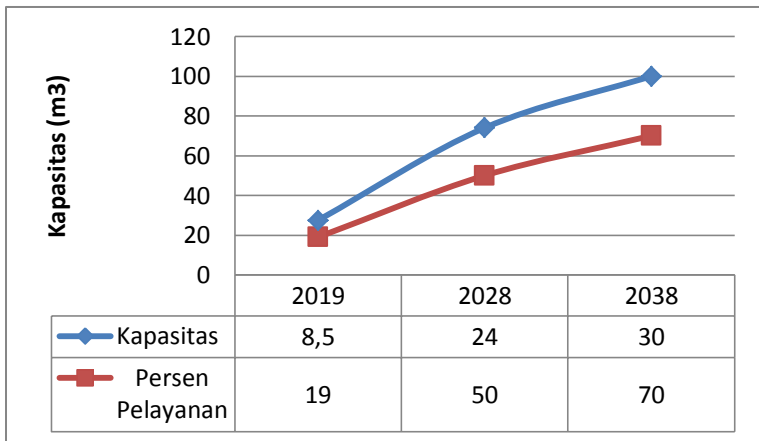
= Produksi lumpur tinja per tahun / total hari kerja per tahun

$$= \frac{32.850 / 3}{7 \times 52_3}$$

$$= 30 \text{ m}^3$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan bahwa kapasitas pengolahan untuk akhir periode perencanaan dengan persen pelayanan 70% adalah 30 m<sup>3</sup>.

Dari perhitungan pada tahun ke 10 tahun 2028 didapatkan kapasitas IPLT adalah 24 m<sup>3</sup>, dan pada tahun 2038 adalah 30 m<sup>3</sup> karena selisih hanya 6 m<sup>3</sup> maka perencanaan IPLT dibangun dalam 1 tahap dengan debit 30 m<sup>3</sup> untuk akhir periode perencanaan. Grafik perhitungan kapasitas IPLT dapat dilihat pada Gambar 5.13.



**Gambar 5.13 Kapasitas IPLT**

Setelah diperoleh kapasitas Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) maka dapat diperhitungkan kebutuhan jumlah truk tinja untuk pelayanan 70% di Kota Madiun dengan menggunakan asumsi desain sebagai berikut :

Kapasitas truk tinja = 3 m<sup>3</sup>

Rit/hari = 3 rit/hari

Jumlah truk tinja = [Kapasitas IPLT: (kapasitas truk x ritasi/hari)]

Jumlah truk tinja =  $[30 \text{ m}^3 : (3 \text{ m}^3 \times 3 \text{ ritasi/hari})]$   
= 4 unit

Berikut merupakan perhitungan jumlah KK yang harus disedot setiap hari untuk mencapai kapasitas IPLT dengan kapasitas  $30 \text{ m}^3/\text{hari}$ .

Kapasitas IPLT =  $30 \text{ m}^3/\text{hari} = 30.000 \text{ liter/hari}$

Laju lumpur tinja =  $0,5 \text{ liter/orang.hari}$

Asumsi jumlah anggota keluarga/ KK = 4 orang//KK

Jumlah lumpur tinja/KK = 2 liter/hari

=  $2.190 \text{ liter}/3 \text{ tahun} = 2,19 \text{ m}^3/3 \text{ tahun}$

Jumlah KK terlayani = [Kapasitas IPLT : Jumlah lumpur tinja/KK/3 tahun]

=  $[30 \text{ m}^3 : 2,19 \text{ m}^3]$

= 13,6 KK = 14 KK

#### 5.1.4 Penentuan Alternatif Pengolahan

Karakteristik lumpur tinja yang digunakan sebagai salah satu penentuan pemilihan pengolahan alternatif Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT). Sampel lumpur tinja diambil langsung dari truk tinja yang berbeda yang masuk ke Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT), sampel lumpur tinja dilakukan uji analisis laboratorium di PT Sucofindo Analytical Laboratories Surabaya, didapatkan hasil uji sebagai berikut :

**Tabel 5.10 Karakteristik Lumpur Tinja Awal**

No	Parameter	Unit	Hasil	Baku Mutu
1	TSS	mg/L	12.640	30
2	pH	-	8	6-9
3	BOD	mg/L	5.972	30
4	COD	mg/L	21.514	100
5	Minyak dan Lemak	mg/L	49	5
6	Amonia	mg/L	10,1	10
7	Phospat	mg/L	9	2
8	Nitrogen	mg/L	894	10
9	Coliform	MPN/100mL	$2.10^6$	3000

Sumber : Uji laboratorium PT Sucofindo Analytical Laboratories, 2019

Penentuan alternatif pengolahan disesuaikan dengan metode dan teknologi pengolahan air limbah lumpur tinja yang

terbaru, tepat guna, efektif, dan efisien, sehingga mampu mengolah lumpur tinja dengan sebaik mungkin namun dengan biaya investasi, operasi dan perawatan yang minimal.

Pemilihan alternatif pengolahan ditentukan dari beberapa faktor, menurut Marbun (2006), faktor – faktor yang menjadi dasar pemilihan alternatif pengolahan antara lain :

1. Kriteria kesehatan
2. Kriteria penggunaan ulang
3. Kriteria ekologis
4. Kriteria gangguan
5. Kriteria kebudayaan
6. Kriteria operasional
7. Kriteria biaya

Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun ditentukan berdasarkan pemilihan metode pengolahan cairan hasil pemisahan padatan dan cairan (*supernatan*) secara biologis untuk menurunkan kandungan nutrisi, untuk memilih metode tersebut diperlukan pertimbangan yang disesuaikan terhadap kualitas effluen pengolahan dan baku mutu yang berlaku serta keuntungan dan kerugian dari masing-masing metode. Untuk memilih metode tersebut, dalam perencanaan ini digunakan pertimbangan berdasarkan nilai pembobotan dengan kriteria sebagai berikut :

1. Efisiensi pengolahan
2. Kebutuhan lahan
3. Biaya konstruksi
4. Tenaga operasional
5. Pemakaian energi

Berdasarkan kriteria tersebut, didapatkan hasil metode yang terpilih dengan nilai yang terbesar. Berikut analisis pemilihan alternatif pengolahan untuk Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun.

#### **a. Efisiensi Alternatif Pengolahan**

Efisiensi alternatif pengolahan ditentukan berdasarkan kriteria perencanaan yang mengacu pada Tabel 4.5, kemudian dilakukan perhitungan dan didapatkan kedua alternatif tersebut telah memenuhi baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 68 Tahun 2016, efisiensi removal pengolahan dapat dilihat pada Tabel 5.11 dan 5.12 berikut.

**Tabel 5.11 Alternatif Pengolahan 1**

Parameter	Konsentrasi Awal (mg/L)	SSC		ABR		Aerated Lagoon		Constructed Wetland		Baku Mutu (mg/L)
		Removal	Efluen (mg/L)	Removal	Efluen (mg/L)	Removal	Efluen (mg/L)	Removal	Efluen (mg/L)	
TSS	12640	75%	3160	90%	316	90%	31,6	87%	4,0764	30
BOD	5972	65%	2090,2	80%	418,04	80%	83,608	84%	13,16826	30
COD	21514	65%	7529,9	80%	1505,98	80%	301,196	85%	45,1794	100
TKN	894	0%	894	4,40%	854,664	80%	170,9328	95%	8,54664	10

**Tabel 5.12 Alternatif Pengolahan 2**

Parameter	Konsentrasi Awal (mg/L)	SSC		Ekualisasi		ABR		Tangki Aerasi		Clarifier		Baku Mutu (mg/L)
		Removal	Efluen (mg/L)	Removal	Efluen (mg/L)	Removal	Efluen (mg/L)	Removal	Efluen (mg/L)	Removal	Efluen (mg/L)	
TSS	12640	75%	3160	0%	3160	90%	316	90%	31,6	0%	31,6	30
BOD	5972	65%	2090,2	0%	2090,2	80%	418,04	95%	20,902	0%	20,902	30
COD	21514	65%	7529,9	0%	7529,9	80%	1505,98	95%	75,299	0%	75,299	100
TKN	894	0%	894	0%	894	5%	853,77	90%	89,4	0%	89,4	10

## b. Luas Lahan

### ➤ Alternatif 1

Berdasarkan Buku A Direktorat Jenderal Cipta Karya (2018), dengan debit tipikal  $10 \text{ m}^3$ , luas lahan untuk pengolahan supernatan adalah sebagai berikut :

*Anaerobik Baffled Reactor* =  $8,4 \text{ m}^2$

Aerated Lagoon =  $13,5 \text{ m}^2$

*Constructed Wetland* =  $144 \text{ m}^2$

Desinfeksi =  $2 \text{ m}^2$

Luas total untuk pembangunan IPLT dengan pengolahan berdasarkan alternatif 1 adalah  $167,9 \text{ m}^2$ .

### ➤ Alternatif 2

Berdasarkan Rosidi (2017), untuk pengolahan air limbah dengan tipikal  $10 \text{ m}^3$  menggunakan pengolahan *activated sludge* didapatkan luas sebagai berikut :

*Anaerobik Baffled Reactor* =  $8,4 \text{ m}^2$

Bak ekualisasi =  $2 \text{ m}^2$

*Aeration Tank* =  $20,25 \text{ m}^2$

*Secondary Clarifier* =  $4,2 \text{ m}^2$

Desinfeksi =  $2 \text{ m}^2$

Luas total untuk pembangunan IPLT dengan pengolahan berdasarkan alternatif 2 adalah  $36,85 \text{ m}^2$ .

## c. Biaya Konstruksi

### ➤ Alternatif 1

Berikut ini adalah perkiraan biaya konstruksi pengolahan supernatan efluen dari *Solid Separation Chamber* dengan debit tipikal  $10 \text{ m}^3$ , yang dapat digunakan sebagai pemilihan alternatif pengolahan unit IPLT di Kota Madiun.

- *Anaerobik Baffled Reactor* untuk  $52 \text{ m}^3/\text{hari}$  dibutuhkan biaya pembangunan Rp 141.531.301 (Siswanto dan Purwanti, 2016), apabila dengan tipikal  $10 \text{ m}^3$  didapatkan rencana biaya konstruksi sebesar Rp 28.000.000.
- *Constructed wetland* untuk tipikal debit  $1,5 \text{ m}^3/\text{hari}$  dibutuhkan biaya pembangunan sebesar Rp 6.500.000 (Hidayat et.al., 2014). Sehingga dengan tipikal  $10 \text{ m}^3$ , maka biaya pembangunan *constructed wetland* Rp. 43.333.333.



- *Aerated Lagoon* dengan menggunakan Mechanical Surface Aerator merk Twister dengan harga Rp 30.000.000 dan pembangunan *Lagoon* dengan debit 50,12 m<sup>3</sup>, menurut Marbun (2006) membutuhkan anggaran biaya Rp 225.989.700, apabila dengan debit tipikal, maka membutuhkan anggaran biaya Rp 45.089.724, dan biaya total Rp 75.089.724
  - Desinfeksi dengan menggunakan flokulator dengan luas area 2 m<sup>2</sup> membutuhkan biaya Rp. 64.483.000 (Hadatu, 2019).
- **Alternatif 2**
- *Anaerobik Baffled Reactor* untuk 52 m<sup>3</sup>/hari dibutuhkan biaya pembangunan Rp 141.531.301 (Siswanto dan Purwanti, 2016), apabila dengan tipikal 10 m<sup>3</sup> didapatkan rencana biaya konstruksi sebesar Rp 28.000.000.
  - Bak ekualisasi tanpa menggunakan pompa dengan luas 5,76 m<sup>2</sup> biaya yang dibutuhkan adalah Rp 3.128.836, apabila luas 2 m<sup>2</sup> maka biaya yang dibutuhkan Rp 1.097.837, apabila efluen dari bak ekualisasi menuju *Aeration Tank* memerlukan pemompaan maka digunakan 2 pompa *submersible* EBARA dengan harga Rp 24.000.000, maka biaya total 25.109.837.
  - Pembangunan *Aeration Tank* dan *Secondary Clarifier* dengan debit tipikal 10 m<sup>2</sup> berdasarkan perhitungan perencanaan yang telah dilakukan oleh Rosidi (2017), membutuhkan biaya sebesar Rp 262.109.713.
  - Desinfeksi dengan menggunakan flokulator dengan luas area 2 m<sup>2</sup> membutuhkan biaya Rp. 64.483.000 (Hadatu, 2019).

Berdasarkan analisis perhitungan diatas dengan tipikal debit 10 m<sup>3</sup>, total biaya pembangunan pengolahan supernatan efluen dari *Solid Separation Chamber* untuk alternatif 1 membutuhkan biaya Rp 210.906.057, dan pengolahan untuk alternatif 2 adalah Rp 379.702.550. Nilai Rencana Anggaran Biaya konstruksi untuk alternatif 2 lebih besar disebabkan karena jumlah bangunan yang lebih banyak serta

penambahan peralatan seperti *diffuser* dan penggunaan pompa untuk resirkulasi dan pembuangan lumpur. *Aerated lagoon* membutuhkan biaya investasi awal yang lebih kecil dari pengolahan dengan menggunakan *Activated Sludge*, karena *Aerated Lagoon* tidak membutuhkan pompa untuk pengembalian lumpur, namun apabila diperhitungkan dari luas yang digunakan *Aerated Lagoon* membutuhkan biaya yang cukup besar (Nurhayati, 2019).

**d. Tingkat keahlian tenaga kerja**

Tenaga kerja dapat mempengaruhi proses pengolahan air limbah yang diolah pada unit pengolahan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT), tenaga kerja yang diperlukan untuk mengoptimalkan proses pengolahan limbah pada perencanaan ini di fokuskan pada pengolahan biologis, yaitu pada alternatif 1 diperlukan tenaga kerja yang berkeahlian dapat mengoperasikan aerator tanpa adanya proses pengembalian lumpur, sedangkan untuk pengolahan *constructed wetland* berdasarkan Buku Referensi Opsi Sitem dan Teknologi Sanitasi (2010) tidak memerlukan tenaga ahli, untuk alternatif 2 diperlukan tenaga ahli dapat mengoperasikan aerator pada aeration tank dan secondary clarifier dengan resirkulasi lumpur dan pompa. Sehingga untuk alternatif 2 memerlukan tingkat tenaga ahli yang lebih tinggi di bandingkan alternatif 1.

**e. Penggunaan Energi**

Penggunaan energi pada alternatif 1 dan 2 terjadi pada proses aerasi, namun pada alternatif 2 tingkat penggunaan energi lebih tinggi karena *aeration tank* pada alternatif 2 menggunakan aerasi secara difusi, selain itu alternatif 2 menggunakan sistem pemompaan sehingga membutuhkan energi lebih tinggi.

Berikut hasil pembobotan dapat dilihat pada Tabel 5.13.

**Tabel 5.13 Pembobotan untuk Pemilihan Alternatif Pengolahan**

No	Parameter	Alternatif I	Alternatif II
1	Efisiensi Pengolahan	3	3
2	Kebutuhan Lahan	1	1

No	Parameter	Alternatif I	Alternatif II
3	Biaya Konstruksi	2	1
4	Tenaga Operasional	2	1
5	Pemakaian Energi	2	1
	<b>Total Nilai Ranking</b>	10	7

**Tabel 5. 14 Keterangan Angka Pembobotan**

Bo- bot	Parameter				
	Efisiensi Pengolahan	Kebutuhan Lahan	Biaya Kons- truksi	Tenaga Operasio- nal	Pemakaian Energi
1	Rendah	Banyak	Mahal	Ahli	Banyak
2	Sedang	Sedang	Sedang	Terampil	Sedang
3	Tinggi	Sedikit	Murah	Kasar	Tidak Ada

Berdasarkan tabel pembobotan tersebut, maka dapat dilihat alternatif pengolahan yang mempunyai nilai bobot terbesar adalah alternatif pertama yaitu dengan menggunakan pengolahan stabilisasi cairan berupa *Anaerobic Baffled Reactor*, *Aerated Lagoon* dan *Constructed Wetland*, dengan harapan dapat mengolah limbah sehingga sesuai dengan baku mutu yang diinginkan, biaya paling rendah dan pemakaian energi yang minimal, sehingga dengan demikian tingkat pelayanan kepada masyarakat dapat dipenuhi dengan baik.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan diatas, maka pengolahan yang akan digunakan untuk mengolah limbah tinja di Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun terdiri dari unit *Solid Separation Chamber* (SSC), *Anaerobic Baffled Reactor*, *Aerated Lagoon*, *Constructed Wetland*, Desinfeksi, Bak Indikator, dan *Sludge Drying Bed* (SDB).

### 5.1.5 Perencanaan Teknik Terinci (*Detail Engineering Design*)

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat diketahui debit pengolahan yang digunakan untuk mendesain bangunan pengolahan lumpur tinja ini berdasarkan pada debit akhir periode perencanaan pada tahun 2038 yaitu sebesar 30 m<sup>3</sup>/hari. Lumpur tinja yang masuk ke IPLT akan diolah melalui unit-unit yang telah direncanakan. Berikut ini adalah perencanaan teknik terinci unit Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun.

### 5.1.5.1 Solid Separation Chamber (SSC)

Pada perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun direncanakan akan dibangun sebanyak 4 unit, dengan rencana pengisian 2 hari, pengeringan lumpur selama 9 hari dan pengurasan lumpur selama 2 hari, penjadwalan dari operasional unit *Solid Separation Chamber* (SSC) dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut ini.

**Tabel 5.15 Penjadwalan Operasional Unit *Solid Separation Chamber* (SSC)**

SSC	Hari Ke -																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28		
1	Blue	White	Blue	White	Blue	White	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Green	Green	Blue	White	Blue	White	Blue	White	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Green	Green
2	Green	Blue	White	Blue	White	Blue	White	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Green	Green	Blue	White	Blue	White	Blue	White	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Green
3	White	Orange	Orange	Orange	Green	Green	Blue	White	Blue	White	Blue	White	Orange	Blue	White	Orange	Orange	Orange	Orange	Green	Green	Blue	White	Blue	White	Blue	White	Blue	White	Orange
4	White	Orange	Orange	Orange	Orange	Green	Green	Blue	White	Blue	White	Blue	White	Orange	Blue	White	Orange	Orange	Orange	Green	Green	Blue	White	Blue	White	Blue	White	Blue	White	Orange

Keterangan :

- Pengisian
- Pengeringan
- Pengurasan

**Kriteria perencanaan :**

- Waktu pengisian = 2 – 3 hari
- Waktu pengeringan = 5 – 12 hari
- Waktu pengurasan = 1 – 2 hari
- Tebal lapisan pasir = 20 – 30 cm
- Tebal lapisan kerikil = 20 – 30 cm

**Removal efisiensi :**

- TSS = 75% – 85%
- BOD = 55% – 70%
- COD = 50% – 70%

(Utami, 2004)

**Data tersedia :**

- TSS = 12649 mg/L = 12,649 kg/m<sup>3</sup>
- BOD = 5972 mg/L = 5,972 kg/m<sup>3</sup>
- COD = 21514 mg/L = 21,514 kg/m<sup>3</sup>

<b>Direncanakan</b>	:	
Removal TSS		= 75%
Removal BOD		= 65%
Removal COD		= 65%
Removal Minyak dan Lemak		= 95%

Waktu Pengisian	=	3 hari
Waktu Pengeringan	=	7 hari
Waktu Pengurasan	=	2 hari
Jumlah SCC	=	4 buah
% Solid	=	20 %
$\rho$ Solid	=	2,65 kg/L
$\rho$ Air	=	1 kg/L
Massa Dry Solid	=	20% cake

Debit masuk	=	Q x Waktu Pengisian
	=	30 m <sup>3</sup> /hari x 3 hari
	=	90 m <sup>3</sup> (3 hari)

*Solid Separation Chamber* (SSC) menurut Wongthanate (2014), mampu meremoval minyak dan lemak hingga 95%. Pemisahan air limbah dari minyak dan lemak perlu dilakukan sehingga tidak akan mengganggu proses pengolahan biologis di IPAL utama. Berikut adalah perhitungan konsentrasi minyak dan lemak pada air limbah.

Konsentrasi awal	=	49 mg/L
Persen removal	=	95%
Konsentrasi akhir	=	(100-95)% x 49 mg/L
	=	2,45 mg/L (memenuhi baku mutu)

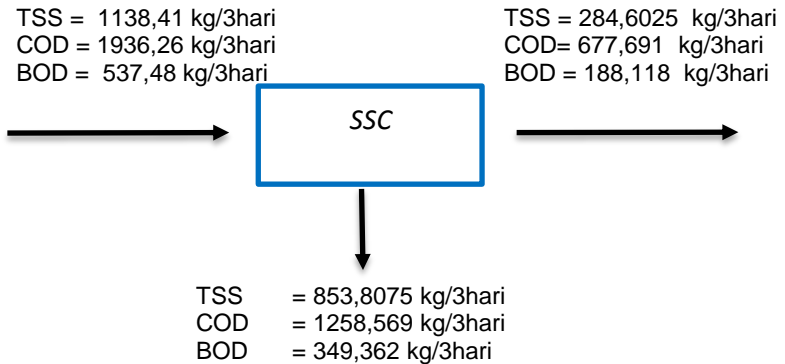
Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun direncanakan dengan efisiensi penyisihan TSS adalah 75% dan efisiensi penyisihan BOD sebesar 65%, dan COD 65%, berikut adalah perhitungan penyisihan TSS, BOD dan COD pada unit SSC :

**Tabel 5. 16 Efisiensi Pengolahan Solid Separation Chamber (SSC)**

Parameter	Konsentrasi Masuk (mg/L)	Efisiensi Pengolahan	Konsentrasi Keluar (mg/L)
<b>BOD</b>	5972	65%	2090,2
<b>COD</b>	21514	65%	7529,9

Parameter	Konsentrasi Masuk (mg/L)	Efisiensi Pengolahan	Konsentrasi Keluar (mg/L)
TSS	12649	75%	3162,25
TKN	894	-	894
Minyak Lemak	49	95%	2,45
Total Coliform	2000000	-	2000000

$$\begin{aligned} \text{Massa TSS influen} &= (\text{TSS influen} \times Q_{\text{average}}) \\ &= \frac{12649 \text{ mg/L} \times 90.000 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 1138,41 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa COD influen} &= (\text{COD influen} \times Q_{\text{average}}) \\ &= \frac{21514 \text{ mg/L} \times 90.000 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 1936,26 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa BOD influen} &= (\text{BOD influen} \times Q_{\text{average}}) \\ &= \frac{5972 \text{ mg/L} \times 90.000 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 537,48 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa TSS effluen} &= (\text{TSS effluen} \times Q_{\text{average}}) \\ &= \frac{3162,25 \text{ mg/L} \times 90.000 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 284,6025 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa COD effluen} &= (\text{COD effluen} \times Q_{\text{average}}) \\ &= \frac{7529,9 \text{ mg/L} \times 90.000 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 677,691 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa BOD effluen} &= (\text{BOD effluen} \times Q_{\text{average}}) \\ &= \frac{2090,2 \text{ mg/L} \times 90.000 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 188,188 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa TSS tersisihkan} &= \text{TSS influen} - \text{TSS effluen} \\ &= 1138,41 - 284,6025 = 853,8075 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa COD tersisihkan} &= \text{COD influen} - \text{COD effluen} \\ &= 1936,26 - 677,691 = 1258,569 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa BOD tersisihkan} &= \text{BOD influen} - \text{BOD effluen} \\ &= 537,48 - 188,188 = 349,362 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$



### Perhitungan Volume Cake

Diketahui :

%Solid = 20%

$\rho$  Solid = 2,65 kg/L

$\rho$  Air = 1 kg/L

$\rho$  cake =  $\frac{(Kadar\ solid \times \rho\ solid) + (kadar\ air \times \rho\ air)}{100}$

$$= \frac{(20\% \times \frac{2,65\text{kg}}{L}) + (80\% \times \frac{1\text{kg}}{L})}{100\%}$$

$$= 1,33\text{ kg/L}$$

Massa dry solid = efisiensi removal TSS x beban TSS in  
 = 75% x 1138,41 kg  
 = 853,8075 kg

Massa cake =  $\frac{\text{Massa dry solid}}{\text{Kadar solid}}$   
 =  $\frac{853,8075\text{ kg}}{20\%}$   
 = 4.269 kg

Berdasarkan perhitungan diatas, ditentukan kadar solid sebesar 20% sehingga didapatkan massa jenis cake adalah 1,33 kg/L, massa cake yang terbentuk sebesar 4.269 kg, dari massa cake dan massa jenis cake yang didapatkan, berikut adalah perhitungan untuk mengetahui volume cake :

$$\text{Volume cake} = \frac{\text{Massa cake}}{\rho \text{ cake}}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume cake} &= \frac{4269 \text{ kg}}{1,33 \text{ kg/L}} \\ &= 3.209,7 \text{ L} \\ &= 3,2097 \text{ m}^3/3 \text{ hari} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapatkan volume cake sebesar 3,2097 m<sup>3</sup>/3 hari, sehingga volume perhari adalah 1,0699 m<sup>3</sup>/hari

$$\begin{aligned} Q \text{ effluen} &= Q \text{ masuk} - Q \text{ lumpur} \\ &= 30 \text{ m}^3/\text{hari} - 1,0699 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 28,93 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

### **Dimensi Solid Separation Chamber (SSC)**

Direncanakan :

Kedalaman ruang lumpur *Solid Separation Chamber* (SSC) sesuai dengan kriteria desain yaitu 1,6 m, dengan rincian sebagai berikut:

$$H \text{ scum} = 80 \text{ cm} = 0,8 \text{ m}$$

$$H \text{ clear zone} = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$H \text{ freeboard} = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$$

Sehingga dimensi dari *Solid Separation Chamber* dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Volume total} = 90 \text{ m}^3$$

$$\text{As} = \frac{\text{Volume total}}{\text{Kedalaman}}$$

$$= 90 \text{ m}^3 / 1,6 \text{ m}$$

$$= 56,25 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang : Lebar} = 2:1$$

$$\text{Volume Total} = \text{Volume Trapesium}$$

$$V = \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{kedalaman}$$

$$90 \text{ m}^3 = \frac{(p + (p + x))}{2} \times \frac{p}{2} \times h$$

$$p = 9,92 \text{ m} = 10 \text{ m}$$

$$P_1 \text{ (alas)} = p$$

$$P_2 \text{ (atas)} = p + x$$

$$\text{Sudut kemiringan} = 30^\circ$$



$$\begin{aligned}
h/x &= \tan 30^\circ \\
1,6/x &= \tan 30^\circ \\
x &= 2,8 \text{ m} \\
P_2 \text{ (atas)} &= p + x \\
&= 10 \text{ m} + 2,8 \text{ m} \\
&= 12,8 \text{ m} \\
\text{Tebal cake} &= \frac{\text{Volume Cake}}{\text{Luas Permukaan}} \\
&= \frac{\text{Volume Cake}}{\text{Alas} \times \text{lebar}} \\
&= \frac{3,2097}{10 \times 5} \\
&= 0,064 \text{ m} \\
&= 6,4 \text{ cm}
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapatkan dimensi unit *Solid Separation Chamber* (SSC) dengan bentuk trapesium untuk panjang alas sebesar 10 m, panjang atas 12,8 m dan lebar adalah 5 m.

*Solid Separation Chamber* direncanakan menggunakan media pasir dengan kedalaman 0,2 m dan media kerikil dengan kedalaman 0,2 m, serta direncanakan sistem *underdrain* dengan kedalaman 0,2 m.

### **Perencanaan Sistem Outlet**

Direncanakan :

*Direncanakan*

Kecepatan air limbah dalam pipa

$$\begin{aligned}
(v) &= 1 \text{ m/detik} \\
\text{Debit (Q)} &= 28,93 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 0,000334 \text{ m}^3/\text{s}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Luas Pipa} &= \frac{Q}{v} \\
&= \frac{0,000334 \text{ m}^3/\text{detik}}{1 \text{ m/detik}}
\end{aligned}$$

Diameter Pipa

$$\begin{aligned} &= 0,000334 \text{ m}^2 \\ &= \sqrt{\frac{4 \times \text{Luas}}{\pi}} \\ &= \sqrt{\frac{4 \times 0,000334 \text{ m}^2}{\pi}} \\ &= 0,020 \text{ m} \\ &= 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapatkan diameter pipa sebesar 20 mm yang disesuaikan dengan diameter pipa minimal untuk air limbah di pasaran dengan bahan PVC dengan ukuran 50 mm, selanjutnya diperlukan cek kecepatan pipa dengan ukuran pasaran, berikut adalah perhitungan cek kecepatan pipa :

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan pipa (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{0,000334 \text{ m}^3/\text{detik}}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,05^2} \\ &= 0,3 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

### **Perhitungan Headloss**

Headloss pada baffled

Headloss jatuhan

$$\begin{aligned} \text{Lebar (b)} &= 5 \text{ m} \\ \text{Tinggi (y)} &= 1,77 \text{ m} \\ \text{Tinggi sekat (L)} &= 1,3 \text{ m} \\ \text{Koefisien kekasaran (n)} &= 0,012 \\ \text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\ \text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\ \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= (5 \times 1,77) / (1,5 + (2 \times 1,77)) \\ &= 1,75 \text{ m} \\ \text{Headloss (Hf)} &= \left(\frac{v n}{R^{2/3}}\right)^2 \times L \\ &= \left(\frac{1 \times 0,012}{(1,75)^{2/3}}\right)^2 \times 1,3 \\ &= 0,000089 \text{ m} \end{aligned}$$

### Headloss belokan

$$\begin{aligned}\text{Headloss (Hf)} &= \left( \frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\ &= \left( \frac{1 \times 0,012}{(1,75)^{2/3}} \right)^2 \times 1,3 \\ &= 0,000089 \text{ m}\end{aligned}$$

### Headloss kecepatan

$$\begin{aligned}\text{Panjang (L)} &= 0,3 \text{ m} \\ \text{Tinggi (y)} &= 1,3 \text{ m} \\ \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= 1,75 \text{ m} \\ \text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\ \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\ &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (1,75)) \\ &= 0,0043 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,0043 \times \frac{0,3}{4(1,75)} \times \frac{(1)^2}{2(9,8)} \\ &= 0,0000094 \text{ m}\end{aligned}$$

### Headloss pipa efluen unit Solid Separation Chamber (SSC)

*Headloss* pada pipa dibedakan menjadi dua macam yaitu *headloss mayor* dan *headloss minor*. *Headloss mayor* terjadi akibat gesekan pada jaringan pipa sedangkan *headloss minor* terjadi akibat adanya aksesoris pada pipa. Nilai *headloss* sebanding dengan besarnya debit dan panjang pipa suatu jaringan dan berbanding terbalik dengan diameter pipa yang digunakan (Fathurrohman, 2012). Berikut ini merupakan perhitungan *headloss* pipa untuk *mayor losses* dan *minor losses*.

Direncanakan :

$$\begin{aligned}\text{Debit} &= 28,93 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,000334 \text{ m}^3/\text{detik} \\ \text{Panjang pipa (L)} &= 10 \text{ m} \\ \text{Diameter pipa (d)} &= 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m} \\ \text{Koefisien kekasaran pipa (c)} &= 120\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Hf} &= \left[ \frac{Q}{(0,2785) \times C \times D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L \\ &= \left[ \frac{0,000334}{(0,2785) \times 120 \times 0,05^{2,63}} \right]^{1,85} \times 10 \\ &= 0,012 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H_v &= \frac{v^2}{2g} \\
&= \frac{0,2^2}{2 \times 9,81} \\
&= 0,0045 \text{ m} \\
\text{Headloss total} &= H_f + H_v \\
&= 0,012 \text{ m} + 0,0045 \text{ m} \\
&= 0,01650 \text{ m}
\end{aligned}$$

### 5.1.5.2 *Drying Area*

*Drying area* merupakan proses pengeringan padatan lumpur yang sudah setengah kering dan sekaligus proses desinfeksi mikroorganisme yang terkandung dalam lumpur melalui sinar matahari (Lampiran II PerMen PU No. 4 Tahun 2017).

Kriteria desain unit *drying area*:

Waktu pengeringan	= 7 – 15 hari
Waktu pengambilan cake	= 1 hari
Ketebalan cake	= 10 – 30 cm
Tebal lapisan pasir	= 15 – 30 cm
Kadar air	= 20%
Kadar solid	= 80%

Direncanakan unit *drying area* berbentuk *rectangular* dengan perencanaan sebagai berikut :

Waktu pengeringan	= 11 hari
Waktu pengambilan cake	= 1 hari
Ketebalan cake	= 30 cm
Ketebalan lapisan pasir	= 30 cm
Kadar solid	= 80%
Volume cake dari unit SSC	= 3,2097 m <sup>3</sup>
Volume padatan	= Volume cake x kadar solid
	= 3,2097 m <sup>3</sup> x 80%
	= 2,57 m <sup>3</sup>
Volume air	= Volume cake – Volume padatan
	= 3,2097 m <sup>3</sup> - 2,57 m <sup>3</sup>
	= 0,63 m <sup>3</sup>

1 bak *drying area* akan disesuaikan dengan 1 bak SSC, sehingga pada perencanaan ini membutuhkan 4 bak *drying area*.

Volume padatan	= 2,57 m <sup>3</sup>
Ketebalan cake	= 0,3 m
Luas area	= [Volume padatan : Ketebalan cake]
Luas area	= ( 2,57 m <sup>3</sup> : 0,3 m)
	= 8,56 m <sup>2</sup>

Perencanaan *drying area* digunakan perbandingan 2 : 1, perhitungan dimensi sebagai berikut :

Lebar <i>drying area</i>	= (Luas <i>drying area</i> / 2) <sup>0,5</sup>
	= ( 8,56 m <sup>2</sup> / 2) <sup>0,5</sup>
	= 2 m

Panjang <i>drying area</i>	= 2 x 2 m
	= 4 m

Tinggi <i>Freeboard</i>	= 0,5 m
-------------------------	---------

Tinggi <i>Cake</i>	= 0,3 m
--------------------	---------

Tinggi media pasir	= 0,3 m
--------------------	---------

Tinggi <i>grass block</i>	= 0,2 m
---------------------------	---------

Kedalaman total	= 1,3 m
-----------------	---------

Jumlah unit <i>drying area</i>	= 4 unit
--------------------------------	----------

### 5.1.5.3 Anaerobic Baffled Reactor

Pengolahan air limbah yang hanya menggunakan proses anaerob maka hasil olahan hanya dapat menurunkan konsentrasi polutan minyak atau lemak, organik (BOD, COD), serta total padatan tersuspensi (TSS) . Sedangkan untuk amoniak dan *total coliform* tidak bisa karena membutuhkan kondisi aerobik dalam pengolahannya.

$Q_{average}$	= 28,93 m <sup>3</sup> /hari = 0,000334 m <sup>3</sup> /detik
---------------	---

TSS influen	= 3162,25 mg/L
-------------	----------------

COD influen	= 7529,9 mg/L
-------------	---------------

BOD influen	= 2090,2 mg/L
-------------	---------------

TKN influen	= 894 mg/L
-------------	------------

#### a. Kompartemen I (Ruang *Settling*)

Direncanakan waktu detensi (Td):

Kriteria desain	= 2-6 jam (Metcalf and Eddy,2003)
-----------------	-----------------------------------

Td rencana	= 6 jam
------------	---------

Item	b	a
BOD	0,02	0,018
TSS	0,014	0,0075

Sumber: Metcalf and Eddy, 2003

$$\%R = \frac{td}{a+(b \times td)}$$

Berdasarkan rumus dari Metcalf and Eddy, diperoleh persen removal sebagai berikut.

$$\text{➤ \%Removal TSS} = \frac{td}{a+(b \times td)} = \frac{6}{0,0075+(0,014 \times 6)} = 65,57\%$$

$$\text{➤ \%Removal BOD} = \frac{td}{a+(b \times td)} = \frac{6}{0,018+(0,02 \times 6)} = 43,47 \%$$

Karena Td adalah 6 jam (< 30 jam), maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen removal COD dengan rumus:

$$= (6-3) \times 0,15/27 + 0,4$$

$$= 0,416 \times 100\%$$

$$= 41,6 \%$$

### **Konsentrasi Efluen Kompartemen I**

$$\begin{aligned} [\text{TSS efluen}] &= (100 - 65,57) \% \times 3162,25 \text{ mg/L} \\ &= 1088,76 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{TSS tersisihkan}] &= [\text{TSS influen}] - [\text{TSS efluen}] \\ &= 3162,25 - 1088,76 = 2073,49 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{COD efluen}] &= (100 - 41,6) \% \times 7529,9 \text{ mg/L} \\ &= 4397,4616 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{COD tersisihkan}] &= [\text{COD influen}] - [\text{COD efluen}] \\ &= 7529,9 - 4397,4616 = 3132,43 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{BOD efluen}] &= (100 - 43,47) \% \times 2090,2 \text{ mg/L} \\ &= 1181,59 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{BOD tersisihkan}] &= [\text{BOD influen}] - [\text{BOD efluen}] \\ &= 2090,2 - 1181,59 = 908,609 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Pada kompartemen I tidak terjadi penyisihan amoniak karena proses yang terjadi adalah proses fisik.

### **Produksi Lumpur**

Direncanakan pengurasan lumpur pada unit pengendapan *Anaerobik Baffled Reactor* selama 3 bulan sekali, sehingga produksi lumpur yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Massa lumpur dihasilkan} &= \text{Lumpur TSS} \times \text{durasi pengurasan} \\ &= 59,98 \text{ kg/hari} \times 3 \text{ bulan} \times 30 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$= 5398,2 \text{ kg/3bulan}$$

Berdasarkan durasi pengurasan 3 bulan, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen reduksi volume lumpur di bak pengendapan sebagai berikut.

$$= \text{HRT} < 36 \text{ bulan}$$

$$= 1 - \text{HRT} \times 0,014$$

$$= 1 - 3 \times 0,014$$

$$= 0,958 \times 100\%$$

$$= 95,8\%$$

$$\begin{aligned} \text{Stabilisasi lumpur 3 bulan} &= 95,8\% \times \text{produksi lumpur} \\ &= 95,8\% \times 5398,2 \text{ kg/3bulan} \\ &= 5.171,4 \text{ kg/3bulan} \end{aligned}$$

### Densitas Lumpur

$$\text{Konsentrasi lumpur} = 5\% ;$$

$$\text{Densitas lumpur} = 2,65 \text{ kg/L} ;$$

$$\text{Konsentrasi air} = 95\%$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ kg/L}$$

$$\text{densitas lumpur} = \frac{(5\% \times \rho \text{ lumpur}) + (95\% \times \rho \text{ air})}{100\%}$$

$$= \frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100}$$

$$= 1,0825 \text{ kg/L}$$

### Volume Lumpur pada settling zone

Waktu stabilisasi lumpur = 3 bulan

$$\text{Volume lumpur} = \text{stabilisasi lumpur 3 bulan} / \rho \text{ Lumpur}$$

$$= \frac{5.171,4 \text{ kg}}{1,0825 \text{ kg/L}}$$

$$= 4777,32 \text{ L}$$

$$= 4,7 \text{ m}^3$$

### Dimensi Ruang Lumpur dan Kompartemen I

$$\text{Kemampuan gali} = 2,5 \text{ m}$$

$$\text{Free board} = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman rencana ABR} = 2 \text{ m}$$

$$h \text{ ruang lumpur} = 30\% \times h \text{ ABR}$$

$$= 30\% \times 2 \text{ m}$$

$$= 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Luas ruang lumpur} = \text{Volume lumpur} / h \text{ ruang lumpur}$$

$$= 4,7 \text{ m}^3 / 0,6 \text{ m}$$

$$= 7,96 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Volume kompartemen I} &= Q_{\text{average}} \times t_d \\ &= 28,93 \text{ m}^3/\text{hari} \times 6 \text{ jam} \times \frac{1}{24} \text{ hari/jam} \\ &= 7,23 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas kompartemen I} &= \text{Volume} / h \text{ kompartemen} \\ &= \frac{7,23 \text{ m}^3}{2 \text{ m}} \\ &= 3,615 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

*Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dengan panjang yang berlebihan akan menyebabkan aliran yang tidak seragam atau terjadinya *dead zone*, sehingga direncanakan lebar *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) adalah 1,5 m.

$$\begin{aligned} \text{Lebar kompartemen I (L)} &= 1,5 \text{ m} \\ \text{Panjang kompartemen I} &= (\text{Luas kompartemen I} / L) \\ &= (3,615 \text{ m}^2 : 1,5) \\ &= 2,11 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar ruang lumpur} &= 1,5 \text{ m} \\ \text{Panjang ruang lumpur} &= (\text{Luas ruang lumpur} / L) \\ &= (7,96 \text{ m}^2 : 1,5 \text{ m}) \\ &= 5,3 \text{ m} \end{aligned}$$

Panjang dan lebar yang digunakan adalah yang memiliki nilai terbesar yaitu 5,3 m dan 1,5 m untuk keamanan bangunan, Sehingga kedalaman pada bangunan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Cek Kedalaman (h)} &= \frac{\text{Volume kompartemen I}}{\text{panjang} \times \text{lebar}} \\ &= \frac{7,23 \text{ m}^3}{5,3 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}} \\ &= 0,9 \text{ m (kriteria desain} < 4 \text{ m)} \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan dimensi dari *settling zone Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Lebar} &= 1,5 \text{ m} \\ \text{Panjang} &= 5,3 \text{ m} \\ \text{Kedalaman} &= 0,9 \text{ m} \\ \text{Kedalaman lumpur} &= 0,6 \text{ m} \\ \text{Freeboard} &= 0,4 \text{ m} \\ \text{Kedalaman total} &= 1,9 \text{ m} \end{aligned}$$

### **Kompartemen II (ABR)**

Kriteria desain :

$$\begin{aligned} \text{Rentang HLR} &= (16,8 - 38,4) \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} \\ \text{HRT} &= 6-24 \text{ jam} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
\text{OLR} &= < 3 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari} \\
\text{Direncanakan :} & \\
\text{HLR} &= 17 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} \\
[\text{BOD efluen}] &= 250 \text{ mg/L} \\
[\text{BOD tersisihkan}] &= [\text{BOD influen}] - [\text{BOD efluen}] \\
&= 1295,924 - 250 = 1045,924 \text{ mg/L} \\
\text{BOD removal} &= (\text{BOD tersisihkan} / \text{BOD influen}) \times 100\% \\
&= (1045,924 / 1295,924) \times 100\% = 80\%
\end{aligned}$$

Berdasarkan persen removal BOD, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh HRT sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{HRT} &= < 10 \text{ jam} \\
\text{Faktor} &= (\text{HRT} - 5) \times 0,31/5 + 0,51 \\
0,8 &= (\text{HRT} - 5) \times 0,31/5 + 0,51 \\
\text{HRT} &= [(0,8 - 0,51) \times 5/0,31] + 5 \\
&= 9,67 \text{ jam} \\
\text{H total} &= \text{HLR} \times \text{HRT} \\
&= (17 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}) / 24 \text{ jam/hari} \times 9,6 \text{ jam} \\
&= 6,8 \text{ m} \\
\text{H ABR} &= \text{H kompartemen I} \\
&= 1,9 \text{ m} \\
\text{Jumlah kompartemen} &= \text{H total} / \text{H ABR} \\
&= 6,8 \text{ m} / 1,9 \text{ m} \\
&= 4 \text{ kompartemen} \\
\text{Volume total} &= Q_{\text{average}} \times \text{HRT} \\
&= (28,93 \text{ m}^3/\text{hari}) / 24 \text{ jam/hari} \times 9,6 \text{ jam} \\
&= 11,572 \text{ m}^3 \\
A_{\text{surface total}} &= \text{Volume total} / \text{H ABR} \\
&= 11,572 \text{ m}^3 / 1,9 \text{ m} \\
&= 6,09 \text{ m}^2 \\
A_{\text{surface 1 ABR}} &= A_{\text{surface total}} / \text{jumlah kompartemen} \\
&= 6,09 \text{ m}^2 / 4 \\
&= 1,52 \text{ m}^2 \\
\text{Lebar} &= \text{Lebar kompartemen I} \\
&= 1,5 \text{ m} \\
\text{Panjang 1 ABR} &= A_{\text{surface 1 ABR}} / \text{lebar} \\
&= 1,52 \text{ m}^2 / 1,5 \text{ m} \\
&= 1,1 \\
\text{Cek } A_{\text{surface 1 ABR}} &= \text{Panjang 1 ABR} \times \text{lebar}
\end{aligned}$$

Cek volume 1 ABR =  $1,1 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} = 1,65 \text{ m}^2$   
= Panjang 1 ABR x lebar x H  
=  $1,1 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1,9 \text{ m}$   
=  $3,135 \text{ m}^3 \sim 3,2 \text{ m}^3$

Cek volume total = Volume 1 ABR x Jumlah kompartemen  
=  $3,2 \text{ m}^3 \times 4 \text{ kompartemen}$   
=  $12,8 \text{ m}^3$

Cek HLR =  $Q_{average} / A_{surface} \text{ 1 ABR}$   
=  $(28,93 \text{ m}^3/\text{hari}) / 1,65 \text{ m}^2$   
=  $17,53 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$   
**(kriteria desain 16,8-38,4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari)**

Cek HRT = Volume total /  $Q_{average}$   
=  $12,8 \text{ m}^3 / (28,93 \text{ m}^3/\text{hari})$   
= 0,442 hari x 24 jam/hari  
= 10,6 jam **(kriteria desain 6-24 jam)**

Organic Loading (OL) = BOD influen x  $Q_{average}$   
=  $(1295,924 \text{ mg/L} \times 28.930 \text{ L/hari})/1000000$   
= 37,49kg BOD/hari

Cek OLR = OL / volume total  
=  $37,49 \text{ kg BOD/hari} / 12,8 \text{ m}^3$   
=  $2,9 \text{ kg BOD/m}^3.\text{hari}$   
**(kriteria desain < 3 kg BOD/m<sup>3</sup>.hari)**

Cek Vup =  $Q_{average} / A_{surface} \text{ 1 ABR}$   
=  $(28,93 \text{ m}^3/\text{hari}) / 1,65 \text{ m}^2$   
= 17,53 m/hari  
= 0,73 m/jam **(kriteria desain < 2 m/jam)**

### Dimensi Kompartemen II (ABR)

Panjang total = panjang kompartemen x jumlah kompartemen  
=  $1,1 \text{ m} \times 4 \text{ kompartemen}$   
= 4,4 m

Lebar = 1,5 m

Kedalaman total = Kedalaman *settler* ABR  
= 1,9 m

### Perhitungan pipa baffled:

$V_{asumsi} = 0,6 \text{ m/detik}$

$A_{pipa} = Q_{average} / V_{asumsi}$   
=  $(0,000334 \text{ m}^3/\text{detik}) / (0,6 \text{ m/detik})$

$$= 0,000556 \text{ m}^2$$

$$\text{Diameter pipa} = [(4 \times A_{\text{pipa}}) / 3,14]^{0,5}$$

$$= 0,023 \text{ m} \sim 50 \text{ mm (diamater pasaran)}$$

Jarak antar pipa = 50 cm = 0,5 m

### Konsentrasi Efluen ABR

Dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh persen removal BOD sebagai berikut.

- Berdasarkan OLR < 6 kg/m<sup>3</sup>.hari = faktor 1

- Berdasarkan BOD influen < 3000 mg/L

$$\text{Faktor} = (\text{BOD influen} - 1000) \times 0,1 / 2000 + 1,05$$

$$= (1295,924 - 1000) \times 0,1 / 2000 + 1,05$$

$$= 1,06$$

- Berdasarkan HRT < 25jam

$$\text{Faktor} = (\text{HRT} - 12) \times 0,18 / 15 + 0,82$$

$$= (10,6 - 12) \times 0,18 / 15 + 0,82 = 0,803$$

- Berdasarkan jumlah kompartemen > 3

$$\text{Faktor} = (\text{jumlah} - 3) \times 0,06 + 0,9$$

$$= (4 - 3) \times 0,06 + 0,9 = 0,96$$

- Berdasarkan suhu 25°C

$$\text{Faktor} = (\text{suhu} - 25) \times 0,05 / 5 + 1$$

$$= 1$$

$$\% \text{ removal BOD} = 1 \times 1,06 \times 0,803 \times 0,96 \times 1 = 0,814$$

$$= 81\%$$

Berdasarkan persen removal BOD, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh persen removal COD sebagai berikut.

$$\text{BOD removal} = < 0,85$$

$$\text{Faktor} = (\text{BOD removal} - 0,75) \times 0,0867 / 0,1 + 0,8889$$

$$= (0,81 - 0,75) \times 0,0867 / 0,1 + 0,8889$$

$$= 0,94$$

$$\text{COD removal} = \text{Faktor} \times \text{BOD removal}$$

$$= 0,94 \times 81\%$$

$$\% \text{ removal COD} = 76,2 \%$$

$$[\text{COD efluen}] = (100 - 76,2) \% \times 3011,96 \text{ mg/L}$$

$$= 716,84 \text{ mg/L (belum memenuhi baku mutu)}$$

$$[\text{COD tersisihkan}] = [\text{COD influen}] - [\text{COD efluen}]$$

$$= 3011,96 - 716,84 = 2295,11 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned}
[\text{BOD efluen}] &= (100 - 81) \% \times 1295,924 \text{ mg/L} \\
&= 246,22 \text{ mg/L (belum memenuhi baku mutu)} \\
[\text{BOD tersisihkan}] &= [\text{BOD influen}] - [\text{BOD efluen}] \\
&= 1295,924 - 246,22 = 1049,68 \text{ mg/L} \\
[\text{TSS influen}] &= 1233,278 \text{ mg/L} \\
\text{Direncanakan removal TSS adalah } &70\% \\
[\text{TSS efluen}] &= (100 - 70)\% \times 1233,278 \text{ mg/L} \\
&= 369,98 \text{ mg/L (belum memenuhi baku mutu)} \\
[\text{TSS tersisihkan}] &= [\text{TSS influen}] - [\text{TSS efluen}] \\
&= 1233,278 - 369,98 = 863,29 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

Pada proses biologis, mikroba ataupun bakteri membutuhkan nutrisi untuk menunjang pertumbuhan bakteri. Menurut Tchobanoglous (2014), rasio COD:N:P untuk proses anaerobik adalah 300:5:1. Pada perencanaan ini parameter yang digunakan adalah N dalam bentuk Nitrogen organik. Berikut adalah perhitungan kebutuhan N oleh mikroba di ABR.

$$\begin{aligned}
\text{Rasio COD:N} &= 300:5 \\
[\text{COD tersisihkan}] &= 2295,11 \text{ mg/L} \\
[\text{Kebutuhan N}] &= (5/300) \times [\text{COD tersisihkan}] \\
&= (5/300) \times 2295,11 \text{ mg/L} \\
&= 38,25 \text{ mg/L} \\
[\text{TKN efluen}] &= [\text{TKN influen}] - [\text{Kebutuhan N}] \\
&= 894 - 38,25 = 855,74 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

Berikut ini adalah Tabel 5.15 efisiensi dari *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) pada kompartemen II sampai dengan kompartemen terakhir.

**Tabel 5. 17 Efisiensi *Anaerobic Baffled Reactor***

Parameter	Nilai Influen (mg/L)	Efisiensi Pengolahan	Nilai Efluen (mg/L)
<b>TSS</b>	1233,278	70%	369,98
<b>BOD</b>	1295,924	81%	246,22
<b>COD</b>	3011,96	76,2%	716,84
<b>TKN</b>	894	4,27%	855,74

$$\text{Massa TSS influen} = (\text{TSS influen} \times Q_{\text{average}})$$

$$= \frac{1233,278 \text{ mg/L} \times 28.930 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 35,67 \text{ kg/hari}$$

Massa COD influen = (COD influen x  $Q_{average}$ )

$$= \frac{3011,96 \text{ mg/L} \times 28.930 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 87,13 \text{ kg/hari}$$

Massa BOD influen = (BOD influen x  $Q_{average}$ )

$$= \frac{1295,924 \text{ mg/L} \times 28.930 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 37,49 \text{ kg/hari}$$

Massa TKN influen = (TKN influen x  $Q_{average}$ )

$$= \frac{50 \text{ mg/L} \times 28.930 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 25,86 \text{ kg/hari}$$

Massa TSS effluen = (TSS effluen x  $Q_{average}$ )

$$= \frac{369,98 \text{ mg/L} \times 28.930 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 10,70 \text{ kg/hari}$$

Massa COD effluen = (COD effluen x  $Q_{average}$ )

$$= \frac{716,84 \text{ mg/L} \times 28.930 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 20,73 \text{ kg/hari}$$

Massa BOD effluen = (BOD effluen x  $Q_{average}$ )

$$= \frac{246,22 \text{ mg/L} \times 28.930 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 7,12 \text{ kg/hari}$$

Massa TKN effluen = (TKN effluen x  $Q_{average}$ )

$$= \frac{855,74 \text{ mg/L} \times 28.930 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 24,75 \text{ kg/hari}$$

Massa TSS tersisihkan = TSS influen – TSS effluen  
= 35,67 – 10,70 = 24,97 kg/hari

Massa COD tersisihkan = COD influen – COD effluen  
= 87,13 – 20,73 = 66,4 kg/hari

Massa BOD tersisihkan = BOD influen – BOD effluen  
= 37,49 – 7,12 = 30,37 kg/hari

Massa TKN tersisihkan = TKN influen – TKN effluen  
= 25,86 – 24,75 = 1,11 kg/hari

### **Produksi Biogas**

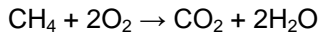
*Synthesis yield in anaerob* (Y) = 0,06 g VSS/g COD

Massa COD tersisihkan = 66,4 kg/hari

Massa COD<sub>VSS</sub> = 1,42 x Y x Massa COD tersisihkan

$$\begin{aligned}
 &= 1,42 \times 0,06 \text{ gVSS/gCOD} \times 66,4 \text{ kg/hari} \\
 &= 5,65 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa COD}_{\text{TSS}} &= \text{Massa COD}_{\text{VSS}} / 0,85 \\
 &= 5,65 \text{ kg/hari} / 0,85 \\
 &= 6,64 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa COD metana} &= \text{Massa COD tersisihkan} - \text{Massa COD}_{\text{TSS}} \\
 &= 66,4 \text{ kg/hari} - 6,64 \text{ kg/hari} \\
 &= 59,76 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

COD metana adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi metana menjadi karbon dioksida dan air.



Dari persamaan di atas, COD per mol metana adalah

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times (32 \text{ gO}_2/\text{mol}) \\
 &= 64 \text{ gO}_2/\text{mol}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Suhu (T)} &= 30^\circ\text{C} = 303,15^\circ\text{K} \\
 \text{Konstanta gas (R)} &= 0,082057 \text{ atm.L/mol.K} \\
 \text{Mol gas (n)} &= 1 \text{ mol} \\
 \text{Tekanan gas (P)} &= 1 \text{ atm} \\
 \text{Volume gas (V}_{\text{gas}}) &= n \times R \times T / P \\
 &= 1 \times 0,082057 \times 303,15 / 1 \\
 &= 24,876 \text{ L/mol}
 \end{aligned}$$

Produksi CH<sub>4</sub> (biogas)

$$\begin{aligned}
 &= (V_{\text{gas}} / 64 \text{ gCOD/molCH}_4) \times \text{COD metana} \\
 &= (24,876 \text{ L/mol} / 64 \text{ gCOD/molCH}_4) \times 59,76 \text{ kg/hari} \\
 &= 23,22 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Gas yang dihasilkan pada proses ini akan dibuang melalui pipa *vent* yang dipasang dibagian atas unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR).

### **Produksi Lumpur ABR**

$$\begin{aligned}
 \text{Lumpur TSS} &= \text{Massa TSS tersisihkan} \\
 &= 24,97 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa COD}_{\text{TSS}} &= 6,64 \text{ kg/hari} \\
 \text{Total lumpur} &= \text{Lumpur TSS} + \text{Massa COD}_{\text{TSS}}
 \end{aligned}$$

$$= 24,97 \text{ kg/hari} + 6,64 \text{ kg/hari}$$

$$= 31,61 \text{ kg/hari}$$

Direncanakan pengurasan lumpur pada unit ABR adalah setiap 3 bulan.

$$\text{Massa lumpur dihasilkan} = \text{Total Lumpur} \times \text{durasi pengurasan}$$

$$= 31,61 \text{ kg/hari} \times 3 \text{ bulan} \times 30 \text{ hari}$$

$$= 2.844 \text{ kg/ 3 bulan}$$

Berdasarkan durasi pengurasan 3 bulan, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen reduksi volume lumpur di kompartemen ABR adalah sebagai berikut:

$$= \text{HRT} < 36 \text{ bulan}$$

$$= 1 - \text{HRT} \times 0,014$$

$$= 1 - 24 \times 0,014$$

$$= 0,958 \times 100\%$$

$$= 95,8\%$$

$$\text{Stabilisasi lumpur 3 bulan} = 95,8\% \times \text{produksi lumpur}$$

$$= 95,8\% \times 2.844 \text{ kg/3bulan}$$

$$= 2.725 \text{ kg/3bulan}$$

### Densitas Lumpur

$$\text{Konsentrasi lumpur} = 5\% ;$$

$$\text{Densitas lumpur} = 2,65 \text{ kg/L} ;$$

$$\text{Konsentrasi air} = 95\%$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ kg/L}$$

$$\text{densitas lumpur} = \frac{(5\% \times \rho \text{ lumpur}) + (95\% \times \rho \text{ air})}{100\%}$$

$$= \frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100}$$

$$= 1,0825 \text{ kg/L}$$

### Volume Lumpur pada kompartemen II

Waktu stabilisasi lumpur = 3 bulan

$$\text{Volume lumpur} = \text{stabilisasi lumpur 3 bulan} / \rho \text{ Lumpur}$$

$$= \frac{2.725 \text{ kg}}{1,0825 \text{ kg/L}}$$

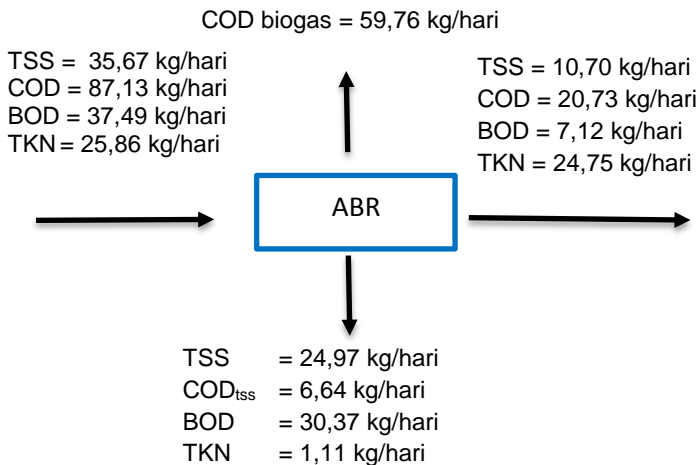
$$= 2.517 \text{ L}$$

$$= 2,517 \text{ m}^3$$

$$t \text{ lumpur} = \text{Volume lumpur} / A_{\text{surface}} \text{ total}$$

$$= 2,517 \text{ m}^3 / 6,6 \text{ m}^2$$

$$= 0,38 \text{ m}$$



### Pipa antar kompartemen

Pipa kompartemen merupakan pipa penghubung antar kompartemen dengan kompartemen lainnya, direncanakan pipa dengan diameter 100mm. Jumlah pipa yaitu 3 pipa.

$$\begin{aligned}
 Q \text{ tiap pipa} &= Q_{\text{bak}}/3 \\
 &= 28,93 \text{ m}^3/\text{hari} / 3 \\
 &= 9,643 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kecepatan aliran tiap pipa} &= Q/A \\
 &= 9,643 \text{ m}^3/\text{hari} : \frac{1}{4} \times 3,14 \times \\
 &\quad (0,1)^2 \\
 &= 0,014 \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

### Total headloss

Headloss mayor

$$\begin{aligned}
 H_f \text{ mayor} &= \left( \frac{0,0001116}{0,2785 \times 120 \times 0,01^{2,63}} \right)^{1,85} \times 1 \text{ m} \\
 &= 5,4 \times 10^{-6} \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Head kecepatan} &= V^2/2g \\
 &= (0,01)^2/2 \times 9,81 \\
 &= 0,0005 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Headloss aksesoris

2 elbow 90;  $k = 0,2$

$$H_m = k \times H_v$$



$$\begin{aligned}
 &= 2(0,2 \times 0,0005 \text{ m}) \\
 &= 2 \times 10^{-4} \text{ m} \\
 \text{Total headloss pipa} &= 5,4 \times 10^{-6} \text{ m} + 0,0005 \text{ m} + 2 \times 10^{-4} \text{ m} \\
 &= 7 \times 10^{-4} \text{ m} \\
 \text{Total headloss tiap kompartemen} &= 1 \times 7 \times 10^{-4} \text{ m} \\
 &= 7 \times 10^{-4} \text{ m}
 \end{aligned}$$

### **Pipa Efluen**

$$\begin{aligned}
 \text{Debit efluen} &= Q_{in} - Q_{lumpur} \\
 &= 28,93 \text{ m}^3/\text{hari} - 0,07 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 28,86 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan pipa PVC dengan kecepatan sebesar 0,6 m/detik.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang (A)} &= Q/v \\
 &= 28,86 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1 \text{ hari} / 86400 \text{ detik} / 0,6 \text{ m/detik} \\
 &= 5 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter pipa} &= \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \\
 &= \sqrt{\frac{4 \times 5 \times 10^{-4}}{3,14}} \\
 &= 0,025 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapatkan diameter pipa sebesar 20 mm yang disesuaikan dengan diameter pipa di pasaran dengan bahan PVC dengan ukuran 50 mm, selanjutnya diperlukan cek kecepatan pipa dengan ukuran pasaran, berikut adalah perhitungan cek kecepatan pipa :

$$\begin{aligned}
 \text{Kecepatan pipa (V)} &= \frac{3,34 \times 10^{-4}}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,026^2} \\
 &= 0,3 \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

### **Headloss Kompartemen 1**

#### **Headloss jatuhan**

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar (b)} &= 1,5 \text{ m} \\
 \text{Tinggi (y)} &= 1,9 \text{ m} \\
 \text{Tinggi jatuhan} &= 1,9 \text{ m} \\
 \text{Panjang (L)} &= 5,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Koefisien kekasaran (n)} &= 0,012 \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\
\text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
&= (1,5 \times 1,9) / (1,5 + (2 \times 1,9)) \\
&= 0,53 \text{ m} \\
\text{Headloss (Hf)} &= \left( \frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \left( \frac{1 \times 0,012}{(1,3)^{2/3}} \right)^2 \times 1,9 \\
&= 0,000192 \text{ m}
\end{aligned}$$

#### Headloss kecepatan

$$\begin{aligned}
\text{Panjang (L)} &= 5,3 \text{ m} \\
\text{Tinggi (y)} &= 1,9 \text{ m} \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= 0,53 \text{ m} \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\
\text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
&= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (0,53)) \\
&= 0,014 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
&= 0,014 \times \frac{5,3}{4(0,53)} \times \frac{(1)^2}{2(9,8)} \\
&= 0,00178 \text{ m}
\end{aligned}$$

#### **Headloss Kompartemen 2 – 5**

##### Headloss jatuhan

$$\begin{aligned}
\text{Lebar (b)} &= 1,5 \text{ m} \\
\text{Tinggi (y)} &= 1,9 \text{ m} \\
\text{Tinggi sekat (L)} &= 1,7 \text{ m} \\
\text{Koefisien kekasaran (n)} &= 0,012 \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\
\text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
&= (1,5 \times 1,9) / (1,5 + (2 \times 1,9)) \\
&= 0,53 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Headloss (Hf)} &= \left( \frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\
&= \left( \frac{1 \times 0,012}{(0,53)^{2/3}} \right)^2 \times 1,7 \\
&= 0,000570 \text{ m}
\end{aligned}$$

### Headloss belokan

$$\begin{aligned} \text{Headloss (Hf)} &= \left( \frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\ &= \left( \frac{1 \times 0,013}{(0,69)^{2/3}} \right)^2 \times 1,7 \\ &= 0,000570 \text{ m} \end{aligned}$$

### Headloss kecepatan

$$\begin{aligned} \text{Panjang (L)} &= 1,1 \text{ m} \\ \text{Tinggi (y)} &= 1,7 \text{ m} \\ \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= 0,53 \text{ m} \\ \text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\ \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\ &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (0,53)) \\ &= 0,014 \text{ m} \\ \text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,014 \times \frac{1,1}{4(0,53)} \times \frac{(1)^2}{2(9,8)} \\ &= 0,000370 \text{ m} \end{aligned}$$

### Headloss Pipa

Headloss mayor :

$$\begin{aligned} \text{Hf mayor} &= \left( \frac{0,000334}{0,2785 \times 120 \times 0,05^{2,63}} \right)^{1,85} \times 10 \text{ m} \\ &= 0,012 \text{ m} \\ \text{Head kecepatan} &= V^2/2g \\ &= (0,3)^2/2 \times 9,81 \\ &= 0,0045 \text{ m} \end{aligned}$$

Headloss aksesoris

2 elbow 90; k = 0,2

$$\begin{aligned} \text{Hm} &= k \times H_v \\ &= 0,2 \times 0,0005 \text{ m} \\ &= 1 \times 10^{-4} \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total headloss pipa} &= 0,012 \text{ m} + 0,0045 \text{ m} + 1 \times 10^{-4} \text{ m} \\ &= 0,0290 \text{ m} \end{aligned}$$

### **5.1.5.4 Kolam Aerasi**

Kolam aerasi merupakan unit pengolahan air limbah berupa kolam terbuka yang dilengkapi dengan aerator untuk memenuhi kebutuhan oksigen. Kolam aerasi termasuk sistem lumpur aktif, tetapi tidak menerapkan resirkulasi lumpur.

Kriteria perencanaan :

Waktu retensi = 2 – 6 hari

Kedalaman = 3 – 5 m

Laju beban volumetrik = 20 – 30 gBOD/m<sup>3</sup>.hari

Kemiringan kolam = 1:1,5 – 1:2

Diketahui :

Debit = 28,86 m<sup>3</sup>/hari

BOD<sub>in</sub> = 246,22 mg/L

TSS<sub>in</sub> = 369,98 mg/L

COD<sub>in</sub> = 716,84 mg/L

TKN = 855,83 mg/L

Direncanakan :

Waktu retensi = 4 hari

Kedalaman = 3 m

Temperatur = 25°C

Koefisien reaksi kimia orde pertama =  $K_{20} = 2,5/\text{hari}$

Laju autolisis (b) = 0,07/hari

Koefisien *yield* = 0,6

Berikut ini adalah perhitungan kolam aerasi :

### Menghitung nilai $K_T$ pada suhu 25 °C

$$K_{25} = 2,5 \times (1,06)^{1-20^\circ}$$

$$K_{25} = 2,5 \times (1,06)^{25-20^\circ}$$

$$= 3,345$$

### Menghitung konsentrasi BOD efluen

$$S_e = \frac{S_0}{1+k\theta}$$

$$S_e = \frac{246,22}{1 + \frac{3,345}{\text{hari}} \times 4 \text{ hari}} = 17,12 \text{ mg/L}$$

### Konsentrasi Sel Bakteri

$$x = \frac{Y(S_0 - S_e)}{1+b\theta}$$

$$x = \frac{0,65(246,22 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 17,12 \text{ mg/L})}{1 + (\frac{0,07}{\text{hari}} \times 4 \text{ hari})} = 116,3 \text{ mg/L}$$

Total konsentrasi BOD efluen ( $L_e$ )

$$L_e = S_e + 0,94x$$

$$= 17,12 \text{ mg/L} + (0,94 \times 116,3 \text{ mg/L})$$

$$= 126,44 \text{ mg/L}$$

Berdasarkan perencanaan yang dilakukan, dengan menentukan kedalaman kolam 3m, maka luas kolam dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \frac{\text{debit influen} \times \text{waktu retensi}}{\text{Kedalaman kolam}} \\ &= \frac{28,86 \text{ m}^3 \times 4 \text{ hari}}{3 \text{ m}} \\ &= 38,48 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Perbandingan rasio panjang dan lebar direncanakan adalah 3 :2, maka dimensi kolam yang didapatkan adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Rasio panjang} : \text{lebar} &= 3:2 \\ (L)(1,5L) &= 38,48 \text{ m}^2 \\ 1,5L^2 &= 38,48 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \sqrt{\frac{38,48}{1,5}} \\ &= 5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 1,5L \\ &= 1,5 \times 5 \text{ m} \\ &= 7,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As aktual} &= P \times L \\ &= 5 \text{ m} \times 7,5 \text{ m} \\ &= 37,5 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan dimensi dapat dilakukan kesesuaian waktu retensi aktual dengan kriteria desain, perhitungan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Waktu retensi} &= \frac{\text{Luas permukaan kolam} \times \text{kedalaman kolam}}{\text{debit influen rata-rata}} \\ &= \frac{37,5 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m}}{28,86 \text{ m}^3} \\ &= 3,89 \text{ hari (sesuai, rentang 2-6 hari)} \end{aligned}$$

### **Menghitung kebutuhan aerasi dan daya aerator**

#### 1) Kebutuhan aerasi

Estimasi jumlah kebutuhan oksigen untuk penyisihan BOD

$$\begin{aligned} R_{O_2} &= (1,5(S_o - S_e)Q - 1,42XQ) \times 10^{-3}/24 \\ &= (1,5(246,22 \text{ mg/L} - 126,44 \text{ mg/L}) 28,86 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &\quad - 1,42 \times 116,3 \text{ mg/L} \times 28,86 \text{ m}^3/\text{hari}) \times 10^{-3}/24 \\ &= 5185,27 \text{ g/hari} - 4766,11 \text{ g/hari} \\ &= 0,017 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Efisiensi penyisihan ammonia pada pengolahan ini direncanakan adalah 80%, sehingga TKN efluen adalah 171,16 mg/L (belum memenuhi baku mutu).

$$\begin{aligned}
 R_{O_2} &= (4,33(C_i - C_e)Q) \times 10^{-3}/24 \\
 &= (4,33(855,83 \text{ mg/L} - 171,16 \text{ mg/L}) \times 28,86 \\
 &\quad \text{m}^3/\text{hari} \times 10^{-3}/24 \\
 &= 3,56 \text{ kg/jam} \\
 R_{O_2 \text{ total}} &= 0,017 \text{ kg/jam} + 3,56 \text{ kg/jam} \\
 &= 3,577 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan kebutuhan oksigen diatas, maka kebutuhan oksigen total kolam aerasi adalah 3,577 kg/jam.

2) Kebutuhan daya aerator

Direncanakan aerator akan menggunakan tipe *surface low-speed mechanical aerators*, dengan standar 1,8 kgO<sub>2</sub>/kWh (1,5 – 2,1)

Perhitungan daya aerator yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$N = N_o \left( \frac{C_w - C_L}{9,17} \right) (1,024)^{T-20} \alpha$$

$$C_w = \beta \times C_s$$

Diketahui :

$$\alpha = 0,8$$

$$\beta = 0,95$$

$$C_s = \text{pada suhu } 25^\circ\text{C} \text{ adalah } 8,26 \text{ mg/L}$$

$$C_L = \text{konsentrasi DO dalam kolam adalah } 2 \text{ mg/L}$$

$$N_o = 1,8 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$$

$$\begin{aligned}
 C_w &= 0,95 \times 8,26 \text{ mg/L} \\
 &= 7,847 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$N = N_o \left( \frac{C_w - C_L}{9,17} \right) (1,024)^{T-20} \alpha$$

$$\begin{aligned}
 N &= 1,8 \text{ kgO}_2/\text{kWh} \cdot \text{jam} \left( \frac{7,847 \text{ mg/L} - 2 \text{ mg/L}}{9,17} \right) (1,024)^{25-20} \times 0,8 \\
 &= 1,0337 \text{ kgO}_2/\text{kWh} \cdot \text{jam}
 \end{aligned}$$

Daya aerator yang dibutuhkan :

$$\text{kW} = \frac{RO_2}{N}$$

$$\begin{aligned}
 \text{kW} &= \frac{3,577 \text{ kgO}_2/\text{jam}}{1,0337 \text{ kgO}_2/\text{kWh} \cdot \text{jam}} \\
 &= 3,46 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

### Desain Aerator

Jenis Aerator = Low Speed Mechanical Surface Aerator Twister

Merk = DBS Manufacturing

Model = NSA1-08  
 Volume kolam aerasi =  $112,5 \text{ m}^3$   
 Kapasitas aerator = 5,5 kW atau 7 Horsepower  
 Jumlah aerator yang dibutuhkan = Tenaga aerator / Kapasitas aerator  
 =  $3,46 \text{ kW} / 5,6 \text{ kW}$   
 =  $0,62 = 1 \text{ unit}$

Spesifikasi lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran.  
 Berdasarkan hasil perhitungan diatas, didapatkan jumlah dari kolam aerasi tanpa resirkulasi adalah 1 unit dengan lebar 5 m, panjang 7,5 m dan kedalaman 3 m dengan *freeboard* 0,3 m. Aerator yang digunakan merupakan aerator dengan tipe *low speed mechanical surface aerator* dengan merk DBS Manufacturing NSA 1-08 Twister. Jumlah aerator yang dibutuhkan adalah sebanyak 1 unit dengan tenaga yang diperlukan sebesar 5,6 kW.

### **Produksi lumpur**

Direncanakan :

$$Y = 0,4 \text{ gVSS/gBOD}$$

$$Q = 28,86 \text{ m}^3 \text{ atau } 28.860 \text{ L}$$

$$\text{BOD}_{in} = 246,22 \text{ mg/L}$$

$$\text{BOD}_{ef} = 126,44 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lumpur BOD (P}_x) &= Q_{in} \times Y \times (\text{BOD}_{in} - \text{BOD}_{ef}) \\
 &= 28.86 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,4 \times (246,22 \text{ mg/L} - \\
 &\quad 126,44 \text{ mg/L}) \\
 &= 1.382,74 \text{ g/hari} \\
 &= 1,38 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Lumpur Nitrifikasi

Direncanakan :

$$Y_n = 0,15 \text{ Kg}_{VSS}/\text{Kg}_N$$

$$Kd_n = 0,12$$

$$\text{TKN}_{in} = 855,83 \text{ mg/L}$$

$$\text{TKN}_{ef} = 171,16 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NO}_x &= (855,83 \text{ mg/L} - 171,16 \text{ mg/L}) \\
 &= 684,66 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$P_x \text{Nitrifikasi} = \frac{Q \times \text{NO}_x \times Y_n}{1 + (Kd_n \times \text{SRT})}$$

$$P_x \text{Nitrifikasi} = \frac{28,86 \text{ m}^3/\text{hari} \times 684,66 \text{ mg/L} \times 0,15}{1 + (0,12 \times 4 \text{ hari})}$$

$$\begin{aligned}
&= 2002,63 \text{ g/hari} \\
&= 2 \text{ kg/hari} \\
\text{Lumpur total} &= P_{\text{x}BOD} + P_{\text{x}Nitrifikasi} \\
&= 1,38 + 2 \\
&= 3,38 \text{ kg/hari} \\
\text{Persen solid rencana} &= 5\% \\
\text{Lumpur total} &= 3,38 \times \frac{100\%}{5\%} \\
&= 67,6 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

### Densitas Lumpur

$$\begin{aligned}
\text{Konsentrasi lumpur} &= 5\% ; \\
\text{Densitas lumpur} &= 2,65 \text{ kg/L} ; \\
\text{Konsentrasi air} &= 95\% \\
\text{Densitas air} &= 1 \text{ kg/L} \\
\text{densitas lumpur} &= \frac{(5\% \times \rho_{\text{lumpur}}) + (95\% \times \rho_{\text{air}})}{100\%} \\
&= \frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100} \\
&= 1,0825 \text{ kg/L}
\end{aligned}$$

### Volume Lumpur

$$\begin{aligned}
\text{Volume lumpur} &= \text{massa lumpur total} / \rho_{\text{Lumpur}} \\
&= \frac{67,6 \text{ kg/hari}}{1,0825 \text{ kg/L}} \\
&= 0,062 \text{ m}^3/\text{hari}
\end{aligned}$$

Apabila lumpur direncanakan akan dikuras setiap satu tahun sekali atau 365 hari, maka jumlah lumpur yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\text{Volume lumpur} &= \text{Volume lumpur per hari} \times \text{waktu pengurasan} \\
&= 0,062 \text{ m}^3/\text{hari} \times 365 \text{ hari} \\
&= 22,63 \text{ m}^3/\text{tahun}
\end{aligned}$$

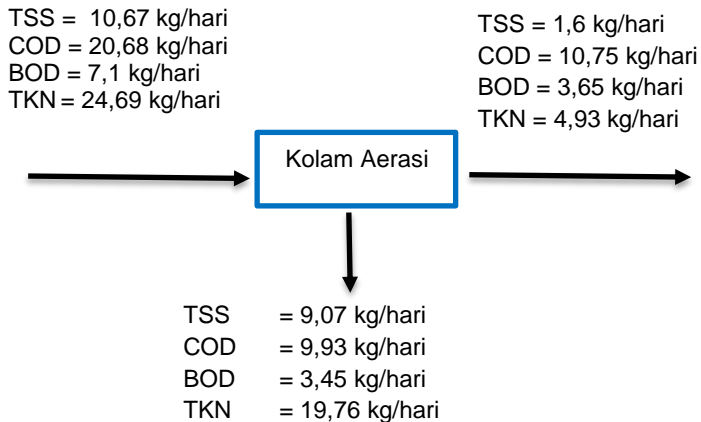
**Tabel 5.18 Efisiensi Kolam Aerasi**

Parameter	Konsentrasi Influen (mg/L)	Efisiensi	Konsentrasi Efluen (mg/L)
TSS	369,98	85%	55,49
COD	716,84	48%	372,75
BOD	246,22	49%	126,44
TKN	855,83	80%	171,16

$$\text{Massa TSS influen} = (\text{TSS influen} \times Q_{\text{average}})$$



$$\begin{aligned}
&= \frac{369,98 \text{ mg/L} \times 28.860 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 10,67 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD influen} &= (\text{COD influen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{716,84 \text{ mg/L} \times 28.860 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 20,68 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD influen} &= (\text{BOD influen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{246,22 \text{ mg/L} \times 28.860 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 7,1 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TKN influen} &= (\text{TKN influen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{855,83 \text{ mg/L} \times 28.860 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 24,69 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TSS effluen} &= (\text{TSS effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{55,49 \text{ mg/L} \times 28.860 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 1,6 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD effluen} &= (\text{COD effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{372,75 \text{ mg/L} \times 28.860 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 10,75 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD effluen} &= (\text{BOD effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{126,44 \text{ mg/L} \times 28860 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 3,65 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TKN effluen} &= (\text{TKN effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{171,16 \text{ mg/L} \times 28.860 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 4,93 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TSS tersisihkan} &= \text{TSS influen} - \text{TSS effluen} \\
&= 10,67 - 1,6 = 9,07 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD tersisihkan} &= \text{COD influen} - \text{COD effluen} \\
&= 20,68 - 10,75 = 9,93 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD tersisihkan} &= \text{BOD influen} - \text{BOD effluen} \\
&= 7,1 - 3,65 = 3,45 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TKN tersisihkan} &= \text{TKN influen} - \text{TKN effluen} \\
&= 24,69 - 4,93 = 19,76 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$



### Pipa Efluen

$$\begin{aligned}
 \text{Debit efluen} &= Q_{in} - Q_{lumpur} \\
 &= 28,86 \text{ m}^3/\text{hari} - 0,06 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 28,8 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan pipa PVC dengan kecepatan sebesar 0,6 m/detik.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang (A)} &= Q/v \\
 &= 28,8 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1 \text{ hari} / 86400 \text{ detik} / 0,6 \text{ m/detik} \\
 &= 5 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter pipa} &= \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \\
 &= \sqrt{\frac{4 \times 5 \times 10^{-4}}{3,14}} \\
 &= 0,025 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapatkan diameter pipa sebesar 20 mm yang disesuaikan dengan diameter pipa di pasaran dengan bahan PVC dengan ukuran 50 mm, selanjutnya diperlukan cek kecepatan pipa dengan ukuran pasaran, berikut adalah perhitungan cek kecepatan pipa :

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan pipa (V)} &= \frac{3,34 \times 10^{-4}}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,026^2} \\ &= 0,3 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

### **Total headloss**

Headloss bangunan

- Jari-jari hidrolis  $= \frac{L \times H}{\frac{L+2H}{5 \times 3}} = \frac{5+2 \times 3}{5 \times 3} = 1,36 \text{ m}$
- Kecepatan  $= 0,03 \text{ m/detik}$
- Slope  $= \left( \frac{n \times Vh}{R^{2/3}} \right)^2 = \left( \frac{0,015 \times 0,03}{1,36^{2/3}} \right)^2 = 1,42 \times 10^{-7} \text{ m}$
- Headloss  $= \text{Slope} \times \text{panjang bak} = 1,42 \times 10^{-7} \times 7,5 = 1,07 \times 10^{-6} \text{ m}$

Headloss pipa :

$$\begin{aligned} H_f \text{ mayor} &= \left( \frac{0,000334}{0,2785 \times 120 \times 0,05^{2,63}} \right)^{1,85} \times 5,2 \text{ m} \\ &= 0,0062 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Head kecepatan} &= V^2/2g \\ &= (0,3)^2/2 \times 9,81 \\ &= 0,0045 \text{ m} \end{aligned}$$

Headloss aksesoris

2 elbow 90;  $k = 0,2$

$$\begin{aligned} H_m &= k \times H_v \\ &= 0,2 \times 0,0005 \text{ m} \\ &= 1 \times 10^{-4} \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total headloss pipa} &= 1,07 \times 10^{-6} \text{ m} + 0,062 \text{ m} + 0,0045 \text{ m} \\ &\quad + 1 \times 10^{-4} \text{ m} \\ &= 0,069 \text{ m} \end{aligned}$$

### **5.1.5.5 Perencanaan Teknik Terinci *Constructed Wetland***

Karakteristik influen :

Debit = 28,8 m<sup>3</sup>/hari

TSSin = 55,49 mg/L

BODin = 126,44 mg/L

CODin = 372,44 mg/L

TKN<sub>Nin</sub> = 171,16 mg/L

Direncanakan :

Suhu = 25°C

Tipe vegetasi = *Iris Pseudacorus*

Slope = 0,01 (0,5 – 1%, Hoffman *et al.*, 2011)

Kedalaman = 0,6 m

Porositas media, = 40%

Media yang digunakan adalah *gravelly sand*. Media ini merupakan kombinasi antara pasir – kerikil dengan persentase pasir 85% dan kerikil 15%. Penggunaan media pasir atau campuran kerikil dan pasir merupakan alteratid yang baik karena penggunaan batuan tidak direkomendasikan. Selain itu, media *gravelly sand* memiliki kemampuan untuk mengurangi poluran. Menurut Safitri (2016), karakteristik dari *gravelly sand* adalah sebagai berikut :

Diameter maksimum = 8 mm

Porositas = 0,35

Ks = 1640 (ft<sup>3</sup>/ft<sup>2</sup>.d) atau 499,71 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d

#### Laju konstanta orde pertama peyisihan BOD, K<sub>T</sub>

$$K_T = K_R \theta_R^{(T-TR)}$$

$$K_T = 1,104 \times 1,06^{(25-20)}$$

$$= 1,04 \text{ hari}$$

Target removal efisiensi BOD memenuhi baku mutu PermenLHK No.68 tahun 2016, sehingga konsentrasi efluen yang diharapkan adalah 30 mg/L.

$$\begin{aligned} \text{A cross (Ac)} &= Q/K_s \times S \\ &= 28,8 \text{ m}^3 / (499,71 \times 0,01) \\ &= 5,76 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar (w)} &= \text{Ac} / d \\ &= 5,76 \text{ m}^2 / 0,6 \text{ m} \\ &= 9,6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang (p)} = \frac{Td \times Q}{W \times d \times \alpha}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang (p)} &= \frac{1,04 \text{ hari} \times 28,8 \text{ m}^3/\text{hari}}{9,6 \text{ m} \times 0,6 \times 0,4} \\ &= 13 \text{ m} \end{aligned}$$

#### Laju konstanta orde pertama peyisihan TKN, K<sub>T</sub>

$$K_T = K_R \theta_R^{(T-TR)}$$

$$K_T = 0,2187 \times 1,048^{(25-20)}$$

$$= 0,276 \text{ hari}$$

Laju permukaan yang dibutuhkan:

Dalam perencanaan ini, target konsentrasi efluen dari TKN adalah 10 mg/L hal ini disesuaikan dengan baku mutu air limbah domestik PermenLHK No.68/2016, dengan menggunakan tanaman *Iris Pseudacorus* menurut Hidayah et.,al (2018) mampu menyisihkan ammonia sebanyak 97%.

Cek luas permukaan secara aktual

$$\begin{aligned} \text{Acw} &= 9,6 \text{ m} \times 13 \text{ m} \\ &= 124,8 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Periksa kesesuaian waktu retensi hidrolik (HRT) hasil perhitungan sesuai dengan kriteria desain.

$$\text{HRT} = \frac{\text{Luas permukaan} \times \text{kedalaman} \times \text{porositas media}}{\text{debit influen}}$$

$$\text{HRT} = \frac{124,8 \text{ m}^2 \times 0,6 \times 40\%}{28,8 \text{ m}^3/\text{hari}}$$

$$\text{HRT} = \frac{169 \text{ m}^2 \times 0,6 \times 40\%}{28,8 \text{ m}^3/\text{hari}}$$

$$= 1,04 \text{ hari (sesuai kriteria 0,5 – 3 hari)}$$

$$\text{HLR} = \frac{28,8 \text{ m}^3/\text{hari}}{124,8 \text{ m}^2}$$

$$= 0,23 \text{ m/hari (sesuai, } < \text{HLR} < 1 \text{ m}^3/\text{ m}^2/\text{hari (Ellis et al., 2003)}$$

$$= 23 \text{ cm/hari}$$

### **Menghitung kebutuhan tanaman**

Tanaman *Iris Pseudacorus* ditanam dengan kerapatan 1 m<sup>2</sup> terdapat 5 tanaman, perhitungan kebutuhan tanaman adalah sebaagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan tanaman} &= \text{Kerapatan} \times \text{Luas} \\ &= 5 \text{ tanaman/m}^2 \times 124,8 \text{ m}^2 \\ &= 624 \text{ tanaman} \end{aligned}$$

### **Menghitung kebutuhan media gravel sand**

$$\text{Ketinggian gravel sand} = 0,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume gravel sand} &= \text{Luas} \times \text{Ketinggian gravel sand} \\ &= 124,8 \text{ m}^2 \times 0,6 \text{ m} \\ &= 74,88 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

### **Debit efluen (Qef)**

Debit yang masuk ke dalam CW tidak akan sama dengan debit yang keluar dari CW, debit efluen CW dipengaruhi laju evaporasi (ET), presipitasi (P) dan Infiltrasi (I).

Berikut ini adalah perhitungan dari debit yang keluar dari CW:

Diketahui:

$$Q_{in} = 28,8 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Luas CW} = 169 \text{ m}^2$$

$$ET = 28,55 \text{ mm/hari}$$

$$P = 18,8 \text{ mm/hari}$$

$$I = 0 \text{ mm/hari}$$

Debit Evapotranspirasi ( $Q_{et}$ )

$$Q_{et} = A_s \times ET$$

$$= 169 \text{ m}^2 \times 28,55 \text{ mm/hari}$$

$$= 4,8 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Debit presipitasi ( $Q_p$ )

$$Q_p = A_s \times P$$

$$= 169 \text{ m}^2 \times 18,8 \text{ mm/hari}$$

$$= 3,1 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Debit efluen CW ( $Q_{ef}$ )

$$Q_{ef} = Q_{in} - Q_{et} + Q_p + Q_i$$

$$= 28,8 - 4,8 + 3,1 + 0$$

$$= 27,1 \text{ m}^3/\text{hari}$$

### **Efisiensi unit pengolahan**

#### 1. BOD

$$\text{Efisiensi penyisihan BOD} = \frac{\text{Konsentrasi BOD}_{in} - \text{BOD}_{ef}}{\text{Konsentrasi BOD}_{in}}$$

$$\text{Efisiensi penyisihan BOD} = \frac{126,44 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 30 \text{ mg/L}}{126,44 \text{ mg/L}}$$

$$\text{Efisiensi penyisihan BOD} = 76,2\%$$

#### 2. COD

Menurut Akratos dan Vassilios (2007), CW yang mempunyai efisiensi removal  $\pm 80\%$ , mempunyai nilai efisiensi removal sebesar  $\pm 80\%$ , sehingga pada perencanaan ini, nilai efisiensi removal COD dianggap sama dengan penelitian yang telah dilakukan, namun disesuaikan dengan efisiensi penyisihan BOD, sehingga estimasi efisiensi penyisihan COD adalah 76%.

$$\text{COD efluen} = (1 - 0,76) \times 372,44 \text{ mg/L}$$

$$= 89,38 \text{ mg/L}$$

#### 3. TSS

SSF wetland, penyisihan TSS dapat dihitung menggunakan rumus dari Metcalf dan Eddy (2004) berikut ini :

$$C_e = C_o (0,1058 + 0,0011 (\text{HLR}))$$

$$C_o = 55,49 \text{ mg/L}$$

$$\text{HLR} = 17 \text{ cm/hari}$$

$$C_e = 55,49 \text{ mg/L} (0,1058 + 0,0011 (23)) = 7,27 \text{ mg/L}$$

$$\text{Efisiensi penyisihan TSS} = \frac{55,49 - 7,27}{55,49}$$

$$\text{Efisiensi penyisihan TSS} = 86,8\%$$

#### 4. TKN

$$\text{Efisiensi penyisihan TKN} = \frac{\text{Konsentrasi (TKN}_{in} - \text{TKN}_{ef})}{\text{Konsentrasi BOD}_{in}}$$

$$\text{Efisiensi penyisihan TKN} = \frac{171,16 \text{ mg/L} - 10 \text{ mg/L}}{171,16 \text{ mg/L}}$$

$$\text{Efisiensi penyisihan TKN} = 94\%$$

#### 5. Total Koliform

Konsentrasi total koliform efluen

$$C_e = \frac{C_i}{[1 + (\text{HRT} \times Kt)]^n}$$

$$C_e = \frac{2 \times 10^6}{[1 + (5 \times 1,04)]^1}$$

$$C_e = \frac{2 \times 10^6}{[1 + (5 \times 1,04)]^1}$$

$$C_e = 322.580,65 \text{ MPN/100 mL}$$

$$\text{Efisiensi penyisihan Coliform} = \frac{\text{Konsentrasi}_{in} - \text{Konsentrasi}_{ef}}{\text{Konsentrasi BOD}_{in}}$$

$$\text{Efisiensi penyisihan Coliform} = \frac{(2 \times 10^6 - 322.580,65) \text{ MPN/100 mL}}{2 \times 10^6 \text{ MPN/100 mL}}$$

$$\text{Efisiensi penyisihan Coliform} = 83,8 \%$$

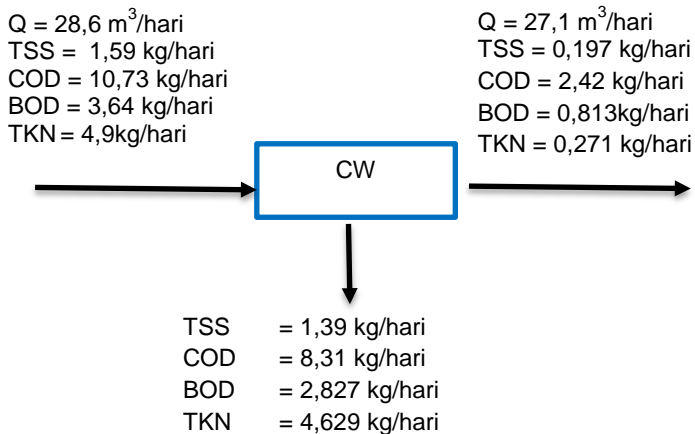
**Tabel 5.19 Efisiensi Constructed Wetland**

Parameter	Konsentrasi Influen (mg/L)	Efisiensi	Konsentrasi Efluen (mg/L)
TSS	55,49	86,8%	7,27
COD	372,44	76%	89,38
BOD	126,44	76,2%	30
TKN	171,16	94%	10
<b>Total Coliform</b>	<b>2000000</b>	<b>83,8%</b>	<b>322.580,65</b>

$$\text{Massa TSS influen} = (\text{TSS influen} \times Q_{\text{average}})$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{55,49 \text{ mg/L} \times 28.800 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 1,59 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD influen} &= (\text{COD influen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{372,44 \text{ mg/L} \times 28.800 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 10,73 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD influen} &= (\text{BOD influen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{126,44 \text{ mg/L} \times 28.800 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 3,64 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TKN influen} &= (\text{TKN influen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{171,16 \text{ mg/L} \times 28.800 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 4,9 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TSS effluen} &= (\text{TSS effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{7,27 \text{ mg/L} \times 27.100 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 0,197 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD effluen} &= (\text{COD effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{89,38 \text{ mg/L} \times 27.100 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 2,42 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD effluen} &= (\text{BOD effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{30 \text{ mg/L} \times 27.100 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 0,813 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TKN effluen} &= (\text{TKN effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{10 \text{ mg/L} \times 27.100 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 0,271 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TSS tersisihkan} &= \text{TSS influen} - \text{TSS effluen} \\
&= 1,59 - 0,197 = 1,39 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD tersisihkan} &= \text{COD influen} - \text{COD effluen} \\
&= 10,73 - 2,42 = 8,31 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD tersisihkan} &= \text{BOD influen} - \text{BOD effluen} \\
&= 3,64 - 0,813 = 2,827 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TKN tersisihkan} &= \text{TKN influen} - \text{TKN effluen} \\
&= 4,9 - 0,271 = 4,629 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$





Perhitungan *Headloss*  
 Headloss bangunan

- Jari-jari hidrolis =  $\frac{L \times H}{\frac{L+2H}{9,6 \times 0,6}}$  = 0,92 m
- Kecepatan = 0,03 m/detik
- Slope =  $\left(\frac{n \times Vh}{R^{2/3}}\right)^2$   
 =  $\left(\frac{0,015 \times 0,03}{0,92^{2/3}}\right)^2$  = 2,26 x 10<sup>-7</sup> m
- Headloss = Slope x panjang bak  
 = 2,26 x 10<sup>-7</sup> x 13 = 2,94 x 10<sup>-6</sup> m

*Headloss* pada media dapat dihitung menggunakan rumus Darcy Weisbach sebagai berikut:

$$H_f = \frac{Q \times A_s}{K \times h \times W^2}$$

Keterangan :

- Hf = Headloss (m)
- Q = Debit (m<sup>3</sup>/s)
- As = Luas permukaan *constructed wetland* (m<sup>2</sup>)
- K = Konduktivitas hidrolis (m/hari)
- W = Lebar *constructed wetland* (m)

H = Kedalaman muka air (m)

$$H_f = \frac{0,00031 \times 124,8}{499,71 \times 0,6 \times 9,6^2}$$

$$= 1,4 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Diameter pipa inlet sama dengan diameter pipa outlet kolam aerasi yaitu 50 mm.

Perhitungan dimensi pipa efluen CW ke bak pengumpul

Pipa outlet direncanakan dengan panjang 2 m.

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang (A)} &= Q/v \\ &= 27,1 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1 \text{ hari} / 86400 \text{ detik} / 0,6 \\ &\text{ m/detik} \\ &= 5 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter pipa} &= \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \\ &= \sqrt{\frac{4 \times 5 \times 10^{-4}}{3,14}} \end{aligned}$$

$$= 0,025 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapatkan diameter pipa sebesar 25 mm yang disesuaikan dengan diameter pipa di pasaran dengan bahan PVC dengan ukuran 50 mm, selanjutnya diperlukan cek kecepatan pipa dengan ukuran pasaran, berikut adalah perhitungan cek kecepatan pipa :

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan pipa (V)} &= \frac{3,1 \times 10^{-4}}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,05^2} \\ &= 0,3 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

### **Total headloss**

Headloss mayor :

$$\begin{aligned} H_f \text{ mayor} &= \left( \frac{0,00031}{0,2785 \times 120 \times 0,05^{2,63}} \right)^{1,85} \times 2 \text{ m} \\ &= 0,002 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Head kecepatan} &= V^2/2g \\ &= (0,3)^2/2 \times 9,81 \\ &= 0,0045 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total headloss pipa} &= 0,002 \text{ m} + 0,0045 \text{ m} \\ &= 0,0065 \text{ m} \\ \text{Total headloss CW} &= 2,94 \times 10^{-6} \text{ m} + 1,4 \times 10^{-6} \text{ m} + 0,0065 \text{ m} \\ &= 6,5 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

*Subsurface flow constructed wetland* ini juga dilengkapi oleh *medium gravel* pada bagian inlet dan outlet untuk mencegah terjadinya *clogging*. *Medium gravel* diletakkan sepanjang 1 m disisi inlet dan 1 m disisi outlet, sehingga *medium gravel* memiliki lebar 1 m, panjang disesuaikan dengan lebar *wetland*.

### 5.1.5.6 Unit Desinfeksi

Unit desinfeksi bertujuan untuk membunuh bakteri-bakteri yang ada pada air limbah terutama bakteri *patogen* sehingga aman dibuang ke badan air. Unit desinfeksi menggunakan kaporit dan pengaduk lambat. Berikut adalah perhitungannya:

$$\begin{aligned} \text{Total coliform influen (No)} &= 322.580,65 \text{ MPN/100 mL} \\ \text{Baku mutu (N)} &= 100 \text{ MPN/100 mL} \end{aligned}$$

Berdasarkan Metcalf and Eddy (2003), diperoleh nilai sebagai berikut.

$$\text{Waktu kontak (T)} = 30 \text{ menit}$$

$$\text{Koefisien slope of Inactivation Curve (n)} = 2,8$$

$$\text{Koefisien Value of X-intercept (b)} = 4$$

Kebutuhan *chlorine* (C) adalah:

$$N/No = (C \times T / b)^{-n}$$

$$(100)/(322.580) = (C \times 30 / 4)^{-2,8}$$

$$(C \times 30 / 4) = 22,94$$

$$C = (22,94 \times 4) / 30$$

$$C = 3,06 \text{ mg/L}$$

$$\text{Sisa klor direncanakan} = 1 \text{ mg/L}$$

$$\text{Dosis klor dibutuhkan} = 3,06 \text{ mg/L} + 1 = 4,06 \text{ mg/L}$$

$$\text{Kadar klor dalam kaporit} = 60\%$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan kaporit} &= (Q_{\text{average}} \times \text{dosis klor}) \times \text{kemurnian} \\ &= 27.100 \text{ L/hari} \times 4,06 \text{ mg/L} \times \end{aligned}$$

$$(100\%/60\%)$$

$$= 183.376,6 \text{ mg/hari}$$

$$= 0,183 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa jenis kaporit} = 0,86 \text{ kg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit kaporit} &= \text{Kebutuhan kaporit/massa jenis kaporit} \\ &= (0,183 \text{ kg/hari}) / (0,86 \text{ kg/L}) \end{aligned}$$

$$= 0,21 \text{ L/hari}$$

$$= 0,0002 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Konsentrasi larutan kaporit yang akan dibuat = 10%  
= 0,1 mg/L

Debit pelarut yang dibutuhkan:

$$= [(100\% - \text{konsentrasi larutan}) / \text{konsentrasi larutan}] \times \text{debit kaporit}$$

$$= [(100\% - 10\%) / 10\%] \times 0,0002 \text{ L/hari}$$

$$= 0,0014 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Debit larutan kaporit = debit kaporit + debit pelarut  
= 0,0002 m<sup>3</sup>/hari + 0,0014 m<sup>3</sup>/hari  
= 0,0016 m<sup>3</sup>/hari

Pelarutan kaporit dilakukan selama 24 jam sekali atau sehari 1 kali. Sehingga diperoleh dimensi bak pelarut sebagai berikut.

Volume = 0,0016 m<sup>3</sup>

H rencana = 0,3 m

Freeboard = 0,3 m

(P:L) = (1:1)

$A_{\text{surface}} = \text{volume} / H \text{ rencana}$

$$= 0,0016 \text{ m}^3 / 0,3 \text{ m}$$

$$= 0,053 \text{ m}^2$$

Lebar =  $(A_{\text{surface}})^{1/2}$

$$= (0,053 \text{ m}^2)^{1/2}$$

$$= 0,07 \text{ m} \sim 0,15 \text{ m}$$

Panjang = 0,15 m

Dimensi bak pelarut :

Panjang = 0,15 m

Lebar = 0,15 m

Kedalaman (H) = 0,3 m

Freeboard = 0,3 m

### **Perhitungan Bak Desinfeksi**

Kriteria Desain

Jarak antar sekat	>	45	cm
Kedalaman air	>	1	m
Td	=	15 -	men
	=	30	it
Jumlah kompartemen	=	3	

(Schulz dan Okun, 1984)

Direncanakan :

Kompartemen

1			
G	=	50/detik	
Td	=	10 menit	
	=	600 detik	
Kompartemen			
2			
G	=	45/detik	
Td	=	10 menit	
	=	600 detik	
Kompartemen			
3			
G	=	40/detik	
Td	=	10 menit	
	=	600 detik	
Kedalaman	=	1,2	m
Freeboard	=	30	cm
Panjang :			
Lebar	=	3 : 1	
KL	=	49	
Jenis flokulator	=	Mekanis	
Diasumsikan :			
Suhu Air	=	25 °C	
$\mu$	=	$0,8949 \times 10^{-3}$	N.detik/m <sup>2</sup>
$\rho$	=	997,07	kg/m <sup>3</sup>
$v$	=	$0,8975 \times 10^{-6}$	m <sup>2</sup> /detik
Debit	=	27,10	m <sup>3</sup> /hari
Jumlah Bak	=	1	
	=	27,10	m <sup>3</sup> /hari
	=	0,00031	m <sup>3</sup> /detik
Perhitungan Dimensi Bak			
Td Total	=	Td Kompartemen 1 + 2 + 3	
	=	10+10+10	
	=	30 menit	
	=	1800 detik	
Volume Bak	=	Q x Td	
	=	0,00031 m <sup>3</sup> /detik x 1800 detik	
	=	0,6 m <sup>3</sup>	
Luas Permukaan Bak	=	Volume / h	

$$\begin{aligned}
 &= 0,6 \text{ m}^2 \\
 A &= \text{panjang} \times \text{lebar} \\
 0,6 &= 3 \text{ lebar} \times \text{lebar} \\
 0,6 &= 3 \text{ lebar}^2 \\
 \text{Lebar} &= 0,43 \text{ m} \sim 1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### Perhitungan Kompartemen

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang tiap kompartemen} &= \text{Panjang bak / jumlah kompartemen} \\
 &= 3/3 \\
 &= 1\text{m} \\
 \text{Lebar} &= 1\text{m} \\
 \text{Kedalaman} &= 1,2\text{m}
 \end{aligned}$$

### Kompartemen 1

Direncanakan

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Kompartemen} &= p \times l \times h \\
 &= 1 \times 1 \times 1,2 \\
 &= 1,2 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Power 1

$$\begin{aligned}
 P &= G_1^2 \times v \times \mu \\
 &= 50^2 \times 1 \times 0,8949 \times 10^{-3} \\
 &= 2,23725 \text{ Watt} \\
 &= 0,002237 \text{ kWatt}
 \end{aligned}$$

Efisiensi motor

$$\begin{aligned}
 P' &= 90\% \\
 &= P / \text{efisiensi} \\
 &= 2,23725 / 90\% \\
 &= 2,485 \text{ Watt} \\
 &= 0,00245 \text{ kWatt}
 \end{aligned}$$

Diameter blade

$$\begin{aligned}
 &= 40\% \times \text{lebar kompartemen} \\
 &= 40\% \times 1 \\
 &= 0,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \left( \frac{P}{KL \times D^2 \times \rho} \right)^{1/3} \\
 &= \left( \frac{2,485}{49 \times 0,4^2 \times 997,07} \right)^{1/3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,068 \quad \text{rps} \\
&= 4,095 \quad \text{rpm} \\
\text{Cek Nre} &= \frac{D^2 \times n \times \rho}{\mu} \\
&= \frac{0,4^2 \times 0,068 \times 997,07}{0,8949 \times 10^{-3}} \\
&= 12167,87 > 10000 \\
&\text{(memenuhi)}
\end{aligned}$$

## Kompartemen 2

Direncanakan

Volume Kompartemen

$$\begin{aligned}
&= p \times l \times h \\
&= 1 \times 1 \times 1,2 \\
&= 1,2 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

Power 1

$$\begin{aligned}
P &= G_1^2 \times v \times \mu \\
&= 45^2 \times 1 \times 0,8949 \times 10^{-3} \\
&= 1,812173 \quad \text{Watt} \\
&= 0,001812 \quad \text{kWatt}
\end{aligned}$$

Efisiensi motor

$$\begin{aligned}
&= 90\% \\
P' &= P / \text{efisiensi} \\
&= 1,812173 / 90\% \\
&= 2,013525 \quad \text{Watt} \\
&= 0,002014 \quad \text{kWatt}
\end{aligned}$$

Diameter blade

$$\begin{aligned}
&= 40\% \times \text{lebar kompartemen} \\
&= 40\% \times 1 \\
&= 0,4 \quad \text{m}
\end{aligned}$$

D

$$= \left( \frac{P}{KL \times n^3 \times \rho} \right)^{1/2}$$

n

$$\begin{aligned}
&= \left( \frac{P}{KL \times D^2 \times \rho} \right)^{1/3} \\
&= \left( \frac{2,013525}{49 \times 0,4^2 \times 997,07} \right)^{1/3}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,06363 \quad \text{rps} \\
&= 3,817594 \quad \text{rpm} \\
\text{Cek Nre} &= \frac{D^2 \times n \times \rho}{\mu} \\
&= \frac{0,4^2 \times 0,06363 \times 997,07}{0,8949 \times 10^{-3}} \\
&= 11342,52 > 10000 \\
&\text{(memenuhi)}
\end{aligned}$$

### Kompartemen 3

Direncanakan

Volume Kompartemen

$$\begin{aligned}
&= p \times l \times h \\
&= 1 \times 1 \times 1,2 \\
&= 1,2 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

Power 1

$$\begin{aligned}
P &= G_1^2 \times v \times \mu \\
&= 40^2 \times 1 \times 0,8949 \times 10^{-3} \\
&= 1,43184 \quad \text{Watt} \\
&= 0,001432 \quad \text{kWatt}
\end{aligned}$$

Efisiensi motor

$$= 90\%$$

P'

$$\begin{aligned}
&= P / \text{efisiensi} \\
&= 0,001432 / 90\% \\
&= 1,590933 \quad \text{Watt} \\
&= 0,001591 \quad \text{kWatt}
\end{aligned}$$

Diameter blade

$$\begin{aligned}
&= 40\% \times \text{lebar kompartemen} \\
&= 40\% \times 1 \\
&= 0,4 \quad \text{m}
\end{aligned}$$

D

$$= \left( \frac{P}{KL \times D^2 \times \rho} \right)^{1/3}$$

n

$$\begin{aligned}
&= \left( \frac{P}{KL \times D^2 \times \rho} \right)^{1/3} \\
&= \left( \frac{1,590933}{49 \times 0,4^2 \times 997,07} \right)^{1/3}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,05882 \quad \text{rps} \\
&= 3,529295 \quad \text{rpm}
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
\text{Cek Nre} &= \frac{D^2 \times n \times \rho}{\mu} \\
&= \frac{0,4^2 \times 0,05882 \times 997,07}{0,8949 \times 10^{-3}} \\
&= 10485,95 > 10000 \\
&\text{(memenuhi)}
\end{aligned}$$

Pipa outlet direncanakan dengan panjang 4 m.

$$\begin{aligned}
\text{Luas penampang (A)} &= Q/v \\
&= 27,1 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1 \text{ hari} / 86400 \text{ detik} / 0,6 \\
&\text{m/detik} \\
&= 5 \times 10^{-4}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Diameter pipa} &= \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \\
&= \sqrt{\frac{4 \times 5 \times 10^{-4}}{3,14}} \\
&= 0,025 \text{ m}
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapatkan diameter pipa sebesar 25 mm yang disesuaikan dengan diameter pipa di pasaran dengan bahan PVC dengan ukuran 50 mm, selanjutnya diperlukan cek kecepatan pipa dengan ukuran pasaran, berikut adalah perhitungan cek kecepatan pipa :

$$\begin{aligned}
\text{Kecepatan pipa (V)} &= \frac{3,1 \times 10^{-4}}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,05^2} \\
&= 0,3 \text{ m/detik}
\end{aligned}$$

### **Total headloss**

Head bangunan :

- Jari-jari hidrolis  $= \frac{L \times H}{L+2H} = \frac{1 \times 1}{1+2 \times 1} = 0,3 \text{ m}$
- Kecepatan  $= 0,03 \text{ m/detik}$
- Slope  $= \left( \frac{n \times Vh}{R^{2/3}} \right)^2 = \left( \frac{0,015 \times 0,03}{0,3^{2/3}} \right)^2 = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$
- Headloss  $= \text{Slope} \times \text{panjang bak}$

$$= 1 \times 10^{-6} \times 3 = 3,02 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Headloss pipa :

$$H_f \text{ mayor} = \left( \frac{0,00031}{0,2785 \times 120 \times 0,05^{2,63}} \right)^{1,85} \times 4 \text{ m}$$

$$= 0,005 \text{ m}$$

Head kecepatan

$$= V^2/2g$$

$$= (0,3)^2/2 \times 9,81$$

$$= 0,0045 \text{ m}$$

Total headloss pipa

$$= 0,005 \text{ m} + 0,0045 \text{ m}$$

$$= 0,00545 \text{ m}$$

Total headloss

$$= 3,02 \times 10^{-6} \text{ m} + 0,00545 \text{ m}$$

$$= 5,45 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka didapatkan dimensi dari bak desinfeksi yang berbentuk persegi panjang. Bak desinfeksi yang direncanakan memiliki panjang 3 m, lebar 1 m dan kedalaman 1,2 m dengan *freeboard* 30 cm. Bak desinfeksi dibagi menjadi 3 kompartemen dengan masing-masing kompartemen memiliki panjang 1 m. Sistem pengadukan menggunakan flokulator mekanis yang berjumlah 3 unit dan diletakkan di setiap kompartemen. Sistem desinfeksi yang direncanakan menggunakan kaporit, sehingga membutuhkan bak pelarut kaporit. Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan kaporit yang dibutuhkan adalah 0,183 kg/hari. Dimensi bak pelarut kaporit cukup kecil karena sesuai dengan kebutuhan pelarutan kaporit itu sendiri. Panjangnya 15 cm, lebar 15 cm dan kedalamannya 30 cm. Berikut Tabel 5.20 efisiensi removal dan karakteristi efluen dari unit desinfeksi.

**Tabel 5.20 Efisiensi Removal Unit Desinfeksi**

Parameter	Konsentrasi Influen (mg/L)	Efisiensi	Konsentrasi Efluen (mg/L)
TSS	7,27	-	7,27
COD	89,38	-	89,38
BOD	30	-	30
TKN	10	-	10
<b>Total Coliform</b>	<b>322.580,65</b>	<b>99%</b>	<b>100</b>

$$\text{Massa TSS influen} = (\text{TSS influen} \times Q_{\text{average}})$$

$$= \frac{7,27 \text{ mg/L} \times 27.100 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 0,197 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned}
\text{Massa COD influen} &= (\text{COD influen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{89,38 \text{ mg/L} \times 27.100 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 2,42 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD influen} &= (\text{BOD influen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{30 \text{ mg/L} \times 27.100 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 0,813 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TKN influen} &= (\text{TKN influen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{10 \text{ mg/L} \times 27.100 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 0,271 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TSS effluen} &= (\text{TSS effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{7,27 \text{ mg/L} \times 27.100 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 0,197 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD effluen} &= (\text{COD effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{89,38 \text{ mg/L} \times 27.100 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 2,42 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD effluen} &= (\text{BOD effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{30 \text{ mg/L} \times 27.100 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 0,813 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TKN effluen} &= (\text{TKN effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{10 \text{ mg/L} \times 27.100 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 0,271 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TSS tersisihkan} &= \text{TSS influen} - \text{TSS effluen} \\
&= 0,197 - 0,197 = 0 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD tersisihkan} &= \text{COD influen} - \text{COD effluen} \\
&= 2,42 - 2,42 = 0 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD tersisihkan} &= \text{BOD influen} - \text{BOD effluen} \\
&= 0,813 - 0,813 = 0 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TKN tersisihkan} &= \text{TKN influen} - \text{TKN effluen} \\
&= 0,271 - 0,271 = 0 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

### 5.1.5.7 Perencanaan Bak Indikator

Bak indikator berfungsi sebagai bak untuk menguji kualitas efluen dari bak desinfeksi dengan indikator biologis. Jika indikator biologis tersebut dapat hidup dalam air efluen tersebut, dapat diartikan kualitas efluen dari pengolahan IPLT tersebut adalah baik, namun apabila sebaliknya maka kualitas efluen dinyatakan buruk, sehingga harus dilakukan evaluasi. Selain itu, bak indikator juga digunakan sebagai pengumpul efluen dari desinfeksi sebelum dibuang ke badan air. Berikut ini merupakan perhitungan dimensi bak indikator.

Direncanakan :

Jumlah bak = 1 unit

Td = 60 menit = 3600 detik

Qin = 27,1 m<sup>3</sup>/hari  
= 0,0003 m<sup>3</sup>/detik

Volume bak = Qin x Td  
= 0,0003 m<sup>3</sup>/detik x 3600 detik  
= 1,08 m<sup>3</sup>

Kedalaman rencana = 0,5 m

As = Volume / Kedalaman  
= 1,08 m<sup>3</sup> / 1 m  
= 2,16 m<sup>2</sup>

Lebar =  $\sqrt{\frac{As}{2}}$

Lebar =  $\sqrt{\frac{1,08}{2}}$   
= 1,03 m = 1 m

Panjang = 2 x Lebar  
= 2 x 1 m  
= 2 m

Dimensi dari bak indikator yang digunakan adalah sebagai berikut :

Panjang = 2 m

Lebar = 1 m

Kedalaman = 0,5 m

Freeboard = 0,5 m

Diameter pipa inlet sama dengan diameter pipa outlet yaitu 50 mm.

Head bangunan :

- Jari-jari hidrolis =  $\frac{L \times H}{L + 2H}$   
=  $\frac{1 \times 0,5}{1 + 2 \times 0,5}$  = 0,25 m

- Kecepatan = 0,03 m/detik

- Slope =  $\left(\frac{n \times Vh}{R^{2/3}}\right)^2$   
=  $\left(\frac{0,015 \times 0,03}{0,25^{2/3}}\right)^2$  = 1,28 x 10<sup>-6</sup> m

- Headloss = Slope x panjang bak  
= 1,28 x 10<sup>-6</sup> x 2 = 2,57 x 10<sup>-6</sup> m



*medium* (100 mm)  
*coarse gravel* (100 mm)  
 Rencana pengisian : 3 hari sekali  
 Pengeringan : 10 hari  
 Jumlah *cell* : 4  
 Perhitungan:

- Menghitung dimensi tiap bed  
 Volume lumpur tiap bed = Q lumpur x Pengisian  
 = 0,078 m<sup>3</sup>/hari x 3 hari  
 = 0,234 m<sup>3</sup>

$$\begin{aligned}
 \text{Luas permukaan bed} &= \frac{\text{Volume lumpur tiap bed}}{\text{Tebal lapisan lumpur}} \\
 &= \frac{0,234 \text{ m}^3}{0,3 \text{ m}} \\
 &= 0,78 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas } 0,78 \text{ m}^2 &= P \times L \quad (P : L = 2 : 1) \\
 &= 2L^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L &= \sqrt{\frac{0,78}{2}} \\
 &= 0,62 \text{ m} \\
 &= 1 \text{ m} \\
 P &= 1 \text{ m} \times 2 \\
 &= 2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jika direncanakan untuk ketinggian, *Freeboard* = 0,3 m, maka dapat dihitung ketinggian total.

$$\begin{aligned}
 \text{Ketinggian total} &= H \text{ lumpur} + H \text{ media} + \text{freeboard} \\
 \text{SDB} &= 1,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### **Menghitung sistem underdrain**

Direncanakan:

$$\text{Kecepatan air underdrain} = 0,6 \text{ m/s}$$

$$\text{Kadar air di cake sludge} = 80 \%$$

### **Volume cake kering tiap pengisian**

$$\begin{aligned}
 V1 &= \frac{\text{Volume} \times (1 - \text{kadar air})}{\frac{1 - \text{kadar air cake solid}}{0,078 \text{ m}^3 \times (1 - 0,95)}} \\
 &= \frac{1 - 0,8}{0,078 \text{ m}^3 \times (1 - 0,95)} \\
 &= 0,01875 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

### **Volume air tiap pengisian**

$$\begin{aligned}
 V2 &= (V \text{ sludge} \times \% \text{ air}) - (V \text{ cake} \times \% \text{ air}) \\
 &= (0,078 \text{ m}^3 \times 95\%) - (0,01875 \text{ m}^3 \times 80\%)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,0591 \text{ m}^3 \\
\text{Kecepatan pada pipa asumsi} &= 0,3 \text{ m/detik} \\
\text{A pipa} &= \text{Volume} / \text{Kecepatan pada pipa} \\
&= 0,01875 \text{ m}^3 / (0,3 \text{ m/detik} \times \\
&\quad 86400 \text{ detik/hari}) \\
&= 7 \times 10^{-7}
\end{aligned}$$

### **Diameter pipa**

$$\begin{aligned}
&= \sqrt{\frac{4 \times 7 \times 10^{-7}}{3,14}} \\
&= 0,0009 \text{ m}
\end{aligned}$$

Underdrain berfungsi untuk menampung dan mengeluarkan air dari lumpur. Terletak di bawah lapisan kerikil (media). Pipa underdrain di rencanakan dengan menggunakan pipa terkecil dipasaran dengan diameter 50 mm. Karena diameter yang sangat kecil maka akan mudah tersumbat akibat adanya kerak dan endapan.

#### **5.1.5.9 Profil Hidrolis**

Perhitungan profil hidrolis didasarkan pada hasil perhitungan headloss dari masing-masing unit pengolahan. Pada umumnya sistem pembuangan harus mampu mengalirkan air buangan, dari satu unit pengolahan ke unit pengolahan selanjutnya yang harus memiliki kemiringan yang cukup agar air dapat mengalir secara gravitasi. Untuk itu pada perencanaan ini direncanakan masing-masing unit pengolahan dibuat dengan kemiringan 1%. Elevasi muka air diawal unit bangunan didasarkan pada elevasi tanah bangunan pengolahan.

- **Unit Solid Separation Chamber**

$$\begin{aligned}
\text{Elevasi tanah} &= +64 \text{ m} \\
\text{Tinggi ramp} &= +2,27 \text{ m} \\
\text{Elevasi baru} &= +66,27 \text{ m} \\
\text{Muka air} &= \text{Elevasi tanah} - \text{freeboard} \\
&= +66,27 \text{ m} - 0,3 \text{ m} \\
&= +65,97 \text{ m} \\
\text{Hf baffled} &= 0,000184 \text{ m} \\
\text{Muka air setelah baffled} &= \text{Muka air SSC} - \text{Hf}
\end{aligned}$$

$= +65,97 \text{ m} - 0,000184 \text{ m}$   
 $= +65,96981$   
 Hf total SSC = 0,01650 m  
 • Unit *Anaerobik Baffled Reactor (ABR)*  
 Elevasi tanah = +64 m  
 Unit ABR ditanam 29 cm diatas tanah, sehingga *freeboard* dibawah tanah adalah 11 cm  
 Muka air = Elevasi tanah – *freeboard* - Hfpipa  
 $= +64 \text{ m} - 0,11 \text{ m} - 0,0650 \text{ m}$   
 $= +63,8735 \text{ m}$   
 Hf total ABR = 0,06595 m  
 • Unit *Aerated Lagoon*  
 Elevasi tanah = +64 m  
 Unit *Aerated lagoon* ditanam 23 cm diatas tanah sehingga *freeboard* dibawah tanah adalah 7 cm.  
 Muka air = Muka air *Anaerobik Baffled Reactor* - Hf total ABR  
 $= +63,8735 \text{ m} - 0,06595 \text{ m}$   
 $= +63,807 \text{ m}$   
 Hf total AL = 0,06690 m  
 • Unit *Constructed Wetland*  
 Unit *constructed wetland* ditanam 28 cm diatas tanah, sehingga *freeboard* dibawah tanah yaitu 12 cm.  
 Elevasi tanah = +64 m  
 Muka air = Muka air *Aerated Lagoon* - Hfpipa  
 $= +63,807 \text{ m} - 0,06690 \text{ m}$   
 $= +63,740 \text{ m}$   
 Hf total CW = 0,0650 m  
 • Unit Desinfeksi  
 Elevasi tanah = +64 m  
 Muka air = Muka air unit *constructed wetland* - Hfpipa  
 $= +63,740 \text{ m} - 0,0650 \text{ m}$   
 $= +63,734 \text{ m}$   
 Hf total unit desinfeksi = 0,00545 m  
 • Unit Bak Indikator  
 Elevasi tanah = +64 m  
 Muka air = Muka air unit desinfeksi – Hfpipa  
 $= +63,734 \text{ m} - 0,00545 \text{ m}$



$$= +63,728 \text{ m}$$

$$\text{Hf total unit bak indikator} = 0,0145 \text{ m}$$

$$\text{Muka air keluar ke badan air} = +63,728 \text{ m} - 0,0145 \text{ m}$$

$$= +63,714 \text{ m}$$

Berikut Tabel 5.21 merupakan hasil perhitungan profil hidrolis pada setiap unit:

**Tabel 5.21 Rekapitulasi *Headloss* Unit Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)**

Unit	Jenis Headloss	Besaran Headloss (m)	Tinggi Muka Air (m)
<b>SSC</b>	<b>Muka Air SSC</b>		<b>65,97000</b>
	Hf jatuhan	0,000089	
	hf kecepatan	0,0000094	
	Hf belokan	0,000089	
	<b>Total Headloss</b>	<b>0,0001874</b>	<b>65,96981</b>
	Headloss Kecepatan	0,00450	
	Headloss	0,01200	
	<b>Total Headloss</b>	<b>0,01650</b>	
<b>ABR</b>			
<b>Kompartemen 1</b>	Hf jatuhan	0,00019	
	Hf kecepatan	0,00178	
<b>Kompartemen 2</b>	Hf jatuhan	0,00570	
	Hf belokan	0,00570	
	Hf kecepatan	0,00037	
<b>Kompartemen 3</b>	Hf jatuhan	0,00570	
	Hf belokan	0,00570	
	Hf kecepatan	0,00037	
<b>Kompartemen 4</b>	Hf jatuhan	0,00570	
	Hf belokan	0,00570	
	Hf kecepatan	0,00037	
<b>Kompartemen 5</b>	Hf jatuhan	0,00570	
	Hf belokan	0,00570	
	Hf kecepatan	0,00037	
	Headloss Mayor	0,01200	

Unit	Jenis Headloss	Besaran Headloss (m)	Tinggi Muka Air (m)
	Headloss Kecepatan	0,00450	
	Headloss Aksesoris	0,00040	
	<b>Total Headloss</b>	<b>0,06595</b>	<b>63,87350</b>
<b>Aerated Lagoon</b>	Headloss bangunan	0,00000	
	Headloss mayor	0,06650	
	Headloss minor	0,00040	
	<b>Total Headloss</b>	<b>0,06690</b>	<b>63,80755</b>
<b>Constructed Wetland</b>	Headloss bangunan	0,00000	
	Headloss media	0,00000	
	Headloss pipa	0,00650	
	<b>Total Headloss</b>	<b>0,00650</b>	<b>63,74065</b>
<b>Desinfeksi</b>	Headloss bangunan	0,00000	
	Headloss pipa	0,00545	
	<b>Total Headloss</b>	<b>0,00545</b>	<b>63,73414</b>
<b>Bak Indikator</b>	Headloss bangunan	0,00000257	
	Headloss pipa	0,0145	
	<b>Total Headloss</b>	<b>0,01450257</b>	<b>63,72869</b>

## 5.2 Rencana Anggaran Biaya

*Bill of Quantity* (BOQ) adalah perhitungan volume dari bahan, peralatan, dan pekerjaan yang dibutuhkan dalam perencanaan instalasi pengolahan lumpur tinja, sedangkan Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah perhitungan biaya yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan bahan, peralatan, maupun pekerjaan berdasarkan pada Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK).

### 5.2.1 Harga Satuan

Harga satuan digunakan sebagai acuan dalam analisa harga satuan pokok pekerjaan yang digunakan untuk perhitungan rencana anggaran biaya yang dibutuhkan. Harga satuan yang digunakan pada perencanaan ini ada 3, yaitu harga satuan upah, material, dan sewa peralatan.

**Tabel 5.22 Harga Satuan Upah**

No	Uraian	Satuan	Harga (Rp)
----	--------	--------	------------

No	Uraian	Satuan	Harga (Rp)
1	Mandor	O.H	Rp 95.000
2	Kepala Tukang Kayu	O.H	Rp 90.000
3	Tukang Kayu	O.H	Rp 85.000
4	Pekerja	O.H	Rp 70.000

Sumber : HSPK Kota Madiun, 2018

**Tabel 5.23 Harga Satuan Material**

No	Jenis Bahan	Satuan	Harga (Rp)
1	Pasir Urug	m <sup>3</sup>	151.000
2	Sirtu	m <sup>3</sup>	240.000
3	Pasir Pasang	m <sup>3</sup>	187.700
4	Pasir Beton Eks. Bengawan Solo	m <sup>3</sup>	351.600
5	Semen Portland	kg	1.500
6	Pipa plastik PVC Rucika diameter 50 mm	m	54.000
7	Pipa plastik PVC rucika diameter 110 mm	m	152.000
8	Bend 90° 110 mm	buah	20.250
9	Bend 90° 50 mm	buah	9.950
10	T Socket Spigot PVC 110 mm x 110 mm	buah	15.200
11	T Socket Spigot PVC 50 mm x 50 mm	buah	8.400
12	Semen PC Gresik 50 kg	Zak	66.850
13	Pasir cor	m <sup>3</sup>	187.700
14	Batu pecah mesin 1/2 cm	m <sup>3</sup>	283.600
15	Batu merah kelas 1	buah	600
16	Paku Usuk	kg	19.550
17	Kayu Meranti Bekisting	m <sup>3</sup>	2.800.000
18	Minyak Bekisting	Liter	25.400
19	Besi beton polos	kg	9.185
20	Kawat beton	kg	25.000
21	Electrode baja	kg	98.000
22	Gedeg guling	m <sup>2</sup>	54.000
23	Paku biasa 2-5 inchi	Doz	19.550
24	Kayu meranti usuk 4/6, 5/7	m <sup>3</sup>	3.000.000
25	Bambu bongkotan diameter 10-12 cm, P 3.00 mtr	Batang	17.600
26	Plywood Uk. 122x244x9 mm	Lembar	275.000
27	Pompa Submersible	Buah	14.000.000
28	Surface Aerator Twister	buah	42.500.000

No	Jenis Bahan	Satuan	Harga (Rp)
29	Media Gravel 20 mm	m <sup>3</sup>	165.000
30	Media Gravelly Sand	m <sup>3</sup>	115.000
31	<i>Iris Pseudacorus</i>	batang	5.000
32	Grass Block Thirek	m <sup>2</sup>	85.000

Sumber : HSPK Kota Madiun, 2018

**Tabel 5.24 Harga Satuan Sewa Peralatan**

No	Jenis Peralatan	Satuan	Harga Sewa (Rp)
1	Sewa Excavator 6 m <sup>3</sup>	Jam	657.150
2	Sewa Stemper	Jam	222.950
3	Sewa Dump Truk 5 ton	Jam	346.650
4	Sewa Vibrator Roller min. 5 jam	Jam	469.450
5	Sewa Crane 25 ton min 8 jam (termasuk Mob/Demob Operator BBM)	Jam	5.850.000
6	Sewa Sheet Pile WF	m <sup>2</sup>	1.100
7	Sewa Sheet Pile C	m <sup>2</sup>	1.100

Sumber : HSPK Kota Madiun, 2018

### 5.2.2 Analisa HSPK

Analisis harga satuan merupakan perataan jenis satuan dari alat/bahan yang digunakan atau *Bill of Quantity* (BOQ). Penentuan harga dari masing-masing bahan yang digunakan pada suatu perencanaan pembangunan menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) guna menyamaratakan satuan yang digunakan. Dalam melakukan perhitungan anggaran biaya yang dibutuhkan, maka terlebih dahulu dilakukan analisa harga satuan. Pada perencanaan ini analisa harga diperoleh dari HSPK Kota Madiun Tahun 2018 yang disesuaikan dengan pekerjaan yang dibutuhkan. Adapun analisa harga satuan yang digunakan untuk pekerjaan IPLT adalah sebagai berikut:

**Tabel 5.25 Analisa HSPK IPLT Kota Madiun**

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)	
1	Pembersihan Lapangan					
	<b>Upah</b>					
	Kepala tukang/Mandor	0,05	org/hr	Rp 95.000	Rp 4.750	
	Pembantu tukang	0,1	org/hr	Rp 70.000	Rp 7.000	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 11.750</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 11.750</b>	
2	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi					
	<b>Upah</b>					
	Kepala tukang/Mandor	0,045	org/hr	Rp 95.000	Rp 4.275	
	Pembantu tukang	0,9	org/hr	Rp 70.000	Rp 63.000	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 67.275</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 67.275</b>	
3	Pengurangan Pasir Padat					
	<b>Upah</b>					
	Kepala tukang/Mandor	0,01	org/hr	Rp 95.000	Rp 950	
	Pembantu tukang	0,3	org/hr	Rp 70.000	Rp 21.000	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 21.950</b>	
	<b>Bahan</b>					
	Pasir Urug	1,2	m <sup>3</sup>	Rp 151.000	Rp 181.200	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 181.200</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 203.150</b>	
4	Lantai Kerja K-250					
	<b>Upah</b>					

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)	
	Kepala tukang/Mandor	0,015	org/hr	Rp 95.000	Rp 1.425	
	Tukang	0,01	org/hr	Rp 90.000	Rp 900	
	Pembantu tukang	0,1	org/hr	Rp 70.000	Rp 7.000	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 9.325</b>	
	<b>Bahan</b>					
	Semen PC Gresik 50 kg	9,6	Zak	Rp 66.850	Rp 641.760	
	Pasir cor	0,4325	m <sup>3</sup>	Rp 187.700	Rp 81.180	
	Batu pecah mesin 1/2 cm	0,54	m <sup>3</sup>	Rp 283.600	Rp 153.144	
	Biaya air	215	Liter	Rp 4.420	Rp 1.036.300	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 1.912.384</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 1.921.709</b>	
5	Pekerjaan Bekisting Sloof					
	<b>Bahan</b>					
	Paku Usuk	0,3	kg	Rp 19.550	Rp 5.865	
	Kayu Meranti Bekisting	0,045	m <sup>3</sup>	Rp 2.800.000	Rp 126.000	
	Minyak Bekisting	0,1	Liter	Rp 25.400	Rp 2.540	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 134.405</b>	
	<b>Upah</b>					
	Kepala tukang/Mandor	0,005	org/hr	Rp 95.000	Rp 475	
	Tukang	0,025	org/hr	Rp 90.000	Rp 2.250	
	Pembantu tukang	0,125	org/hr	Rp 70.000	Rp 8.750	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 11.475</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 145.880</b>	
6	Pekerjaan Beton K-250					

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)	
	<b><u>Bahan</u></b>					
	Semen PC Gresik 50 kg	9,6	Zak	Rp 66.850	Rp 641.760	
	Pasir cor	0,4325	m <sup>3</sup>	Rp 187.700	Rp 81.180	
	Batu pecah mesin 1/2 cm	0,54	m <sup>3</sup>	Rp 283.600	Rp 153.144	
	Biaya air	215	Liter	Rp 4.420	Rp 1.036.300	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 1.912.384</b>	
	<b><u>Upah</u></b>					
	Kepala tukang/Mandor	0,333	org/hr	Rp 95.000	Rp 31.635	
	Tukang	0,035	org/hr	Rp 90.000	Rp 3.150	
	Pembantu tukang	6,6667	org/hr	Rp 70.000	Rp 466.669	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 501.454</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 2.413.9838</b>	
7	1 kg Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)					
	<b><u>Upah</u></b>					
	Kepala tukang/Mandor	0,0003	org/hr	Rp 95.000	121	
	Tukang	0,0007	org/hr	Rp 90.000	1,102	
	Pembantu tukang	0,007	org/hr	Rp 70.000	1,025	
	<b>Jumlah</b>				<b>2,247</b>	
	<b><u>Bahan</u></b>					
	Besi beton polos	1,05	kg	Rp 9.185	Rp 9.644	
	Kawat beton	0,015	kg	Rp 25.000	Rp 375	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 10.019</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 10.021</b>	
8	Pemasangan Pipa Diameter 100 mm					

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)	
	<b>Bahan</b>					
	Pipa plastik PVC rucika diameter 110 mm	1	Batang	Rp 152.000	Rp 152.000	
	Perlengkapan 35% harga pipa	0,105	Buah	Rp 152.000	Rp 15.960	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 167.960</b>	
	<b>Upah</b>					
	Mandor	0,004	org/hr	Rp 95.000	Rp 380	
	Kepala tukang	0,0013	org/hr	Rp 95.000	Rp 124	
	Tukang	0,136	org/hr	Rp 90.000	Rp 12.240	
	Pembantu tukang	0,08	org/hr	Rp 70.000	Rp 5.600	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 18.344</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 186.304</b>	
9	<b>Pemasangan Pipa Diameter 50mm</b>					
	<b>Bahan</b>					
	Pipa plastik PVC Rucika diameter 50 mm	1	Batang	Rp 54.000	Rp 54.000	
	Perlengkapan 35% harga pipa	0,105	Buah	Rp 54.000	Rp 5.670	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 59.670</b>	
	<b>Upah</b>					
	Mandor	0,004	org/hr	Rp 95.000	Rp 380	
	Kepala tukang	0,0013	org/hr	Rp 95.000	Rp 124	
	Tukang	0,136	org/hr	Rp 90.000	Rp 12.240	
	Pembantu tukang	0,08	org/hr	Rp 70.000	Rp 5.600	



No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 18.344</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 78.014</b>	
10	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek					
	<b>Sewa Peralatan</b>					
	Sewa Dump Truk 5 ton	0,25	jam	Rp 346.650	Rp 86.663	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 86.663</b>	
	<b>Upah</b>					
	Pembantu tukang	0,3	org/hr	Rp 70.000	Rp 21.000	
	<b>Jumlah</b>				<b>36.599</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 86.699</b>	
11	Pemasangan (Sewa) Sheet Pile Baja (Tinggi = 6m) untuk Pengaman Galian/Tebing Pekerjaan Beton K-250					
	<b>Bahan</b>					
	Electrode baja	0,2	kg	Rp 98.000	Rp 19.600	
	Gedeg guling	2,5	m <sup>2</sup>	Rp 54.000	Rp 135.000	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 154.600</b>	
	<b>Sewa Peralatan</b>					
	Sewa Crane 30 ton min 8 jam (termasuk Mob/Demob Operator BBM)	0,5712	Jam	Rp 5.850.000	Rp 3.341.520	
	Sewa Sheet Pile WF	319,5	m <sup>2</sup>	Rp 1.100	Rp 351	
	Sewa Sheet Pile C	22,7	m <sup>2</sup>	Rp 1.100	Rp 25	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 3.341.896</b>	
	<b>Upah</b>					
	Mandor	0,1	org/hr	Rp 95.000	Rp 9.500	

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)	
	Kepala tukang	0,2	org/hr	Rp 90.000	Rp 18.000	
	Tukang	0,4	org/hr	Rp 85.000	Rp 34.000	
	Pembantu tukang	1	org/hr	Rp 70.000	Rp 70.000	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 131.500</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 3.627.996</b>	
12	<b>Pembuatan Bouwplank/Titik</b>					
	<b>Bahan</b>					
	Paku biasa 2-5 inchi	0,05	Doz	Rp 19.550	Rp 978	
	Kayu meranti usuk 4/6, 5/7	0,012	m <sup>3</sup>	Rp 3.000.000	Rp 36.000	
	Kayu meranti bekisting	0,008	m <sup>3</sup>	Rp 2.800.000	Rp 22.400	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 59.378</b>	
	<b>Upah</b>					
	Mandor	0,01	org/hr	Rp 95.000	Rp 950	
	Kepala tukang	0,004	org/hr	Rp 95.000	Rp 380	
	Tukang	0,1	org/hr	Rp 90.000	Rp 9.000	
	Pembantu tukang	0,1	org/hr	Rp 70.000	Rp 7.000	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 17.330</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 76.708</b>	
13	<b>1 m<sup>2</sup> Pekerjaan Bekisting Lantai</b>					
	<b>Bahan</b>					
	Paku usuk	0,4	kg	Rp 19.550	Rp 7.820	
	Plywood Uk. 122x244x9 mm	0,35	Lembar	Rp 275.000	Rp 96.250	
	Kayu meranti bekisting	0,04	m <sup>3</sup>	Rp 2.800.000	Rp 112.000	

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)	
	Kayu meranti balok 4/6, 5/7	0,015	m <sup>3</sup>	Rp 3.000.000	Rp 45.000	
	Minyak bekisting	0,2	Liter	Rp 25.400	Rp 5.080	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 266.150</b>	
	<b>Upah</b>					
	Kepala tukang/Mandor	0,033	org/hr	Rp 95.000	Rp 3.135	
	Tukang	0,33	org/hr	Rp 90.000	Rp 29.700	
	Pembantu tukang	0,66	org/hr	Rp 70.000	Rp 46.200	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 79.035</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 345.185</b>	
14	1 m <sup>2</sup> Pekerjaan Bekisting Dinding					
	<b>Bahan</b>					
	Paku usuk	0,4	kg	Rp 19.550	Rp 7.820	
	Plywood Uk. 122x244x9 mm	0,35	Lembar	Rp 275.000	Rp 96.250	
	Kayu meranti bekisting	0,03	m <sup>3</sup>	Rp 2.800.000	Rp 84.000	
	Kayu meranti balok 4/6, 5/7	0,02	m <sup>3</sup>	Rp 3.000.000	Rp 60.000	
	Minyak bekisting	0,2	Liter	Rp 25.400	Rp 5.080	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 253.150</b>	
	<b>Upah</b>					
	Kepala tukang/Mandor	0,033	org/hr	Rp 95.000	Rp 3.135	
	Tukang	0,33	org/hr	Rp 90.000	Rp 29.700	
	Pembantu tukang	0,66	org/hr	Rp 70.000	Rp 46.200	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 79.035</b>	

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 332.185</b>	
15	<b>Pemasangan Pompa</b>					
	<b>Bahan</b>					
	Pompa	1	Buah	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 14.000.000</b>	
	<b>Upah</b>					
	Kepala tukang/Mandor	0,005	org/hr	Rp 95.000	Rp 475	
	Tukang	0,01	org/hr	Rp 90.000	Rp 900	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 1.375</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 14.001.375</b>	
16	<b>Pemasangan Aerator Twister</b>					
	<b>Bahan</b>					
	Aerator Twister	1	unit	Rp 42.500.000	Rp 42.500.000	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 42.500.000</b>	
	<b>Upah</b>					
	Kepala tukang/Mandor	0,005	org/hr	Rp 95.000	Rp 475	
	Tukang	0,01	org/hr	Rp 90.000	Rp 900	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 1.375</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 42.501.375</b>	
17	<b>Pemasangan Flokulator</b>					
	<b>Bahan</b>					
	Flokulator	1	kg	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 5.000.000</b>	
	<b>Upah</b>					

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)	
	Kepala tukang/Mandor	0,005	org/hr	Rp 95.000	Rp 475	
	Tukang	0,01	org/hr	Rp 90.000	Rp 900	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 1.375</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 5.001.375</b>	
18	Pekerjaan Pengurugan Media Gravel 20 mm					
	<b>Bahan</b>					
	Gravel	1,2	m3	Rp 165.000	Rp 198.000	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 198.000</b>	
	<b>Upah</b>					
	Kepala tukang/Mandor	0,005	org/hr	Rp 95.000	Rp 475	
	Tukang	0,01	org/hr	Rp 90.000	Rp 900	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 1.375</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 199.375</b>	
19	Pemasangan Bend 90					
	<b>Bahan</b>					
	Ben 90	1	buah	Rp 20.250	Rp 20.250	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 20.250</b>	
	<b>Upah</b>					
	Kepala tukang/Mandor	0,005	org/hr	Rp 95.000	Rp 475	
	Tukang	0,01	org/hr	Rp 90.000	Rp 900	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 1.375</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 21.625</b>	
20	Pengurugan Tanah Kembali					
	<b>Upah</b>					

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)	
	Kepala tukang/Mandor	0,0083	org/hr	Rp 95.000	Rp 789	
	Pembantu tukang	0,25	org/hr	Rp 90.000	Rp 22.500	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 23.289</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 23.289</b>	
21	Pekerjaan Pengurugan Media <i>Gravelly Sand</i>					
	<b>Bahan</b>					
	Gravelly Sand	1,2	m3	Rp 115.000	Rp 138.000	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 138.000</b>	
	<b>Upah</b>					
	Kepala tukang/Mandor	0,005	org/hr	Rp 95.000	Rp 475	
	Tukang	0,01	org/hr	Rp 90.000	Rp 900	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 1.375</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 139.375</b>	
22	Pekerjaan Penanaman Tanaman Iris					
	<b>Bahan</b>					
	Tanaman <i>Iris Pseudacorus</i>	1	batang	Rp 5.000	Rp 5.000	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 5.000</b>	
	<b>Upah</b>					
	Kepala tukang/Mandor	0,005	org/hr	Rp 95.000	Rp 475	
	Tukang	0,1	org/hr	Rp 70.000	Rp 7.000	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 7.475</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 12.475</b>	
23	Pekerjaan Pengurugan Media Pasir					
	<b>Bahan</b>					

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)	
	Pasir Urug	1,2	m3	Rp 151.000	Rp 181.200	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 181.200</b>	
	<b>Upah</b>					
	Kepala tukang/Mandor	0,005	org/hr	Rp 95.000	Rp 475	
	Tukang	0,01	org/hr	Rp 70.000	Rp 700	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 1.175</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 182.375</b>	
24	Pekerjaan Pengurugan <i>Grass Block</i>					
	<b>Bahan</b>					
	Grass Block	1,2	m3	Rp 85.000	Rp 102.000	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 102.000</b>	
	<b>Upah</b>					
	Kepala tukang/Mandor	0,005	org/hr	Rp 95.000	Rp 475	
	Tukang	0,01	org/hr	Rp 70.000	Rp 700	
	<b>Jumlah</b>				<b>Rp 1.175</b>	
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>Rp 103.175</b>	

Sumber : HSPK Kota Madiun, 2018

### 5.2.3 Perhitungan BOQ unit IPLT

Rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan BOQ antara lain:

#### 1. Rumus Volume Galian

$$V = \frac{a+b}{2} x h x p \quad (5.2)$$

Keterangan :

A = Lebar galian pondasi bagian bawah

B = Lebar galian pondasi bagian atas

H = Tinggi galian pondasi

P = panjang galian pondasi

#### 2. Rumus Volume Pasir Urug

$$\text{Volume pasir urug} = \text{As bangunan} \times \text{h pasir} \quad (5.3)$$

#### 3. Rumus Pekerja Beton

$$\text{Volume lantai kerja} = \text{As bangunan} \times \text{h beton} \quad (5.4)$$

#### 4. Rumus Pembersihan Lahan

$$\text{Volume} = \text{panjang} \times \text{lebar} \quad (5.5)$$

### 1. Unit Solid Separation Chamber

Panjang = 12,8 m

Lebar = 5 m

Kedalaman = 2,27 m

Tebal beton = 0,2 m

- Pekerjaan pembersihan lapangan  
= luas lahan konstruksi  
= 64 m<sup>2</sup>
- Pekerjaan galian tanah  
Karena *Solid Separation Chamber* dibangun diatas tanah, maka tidak ada galian.
- Pekerjaan volume pasir urug  
= Luas unit x tebal pasir urug  
= 64 m<sup>2</sup> x 0,1 m  
= 6,4 m<sup>3</sup>
- Pekerjaan volume lantai kerja K-250  
= Luas unit x ( tebal beton + lantai kerja)  
= 64 m<sup>2</sup> x (0,2 m + 0,05 )  
= 16 m<sup>3</sup>
- Pekerjaan volume beton dinding K-250



$$\begin{aligned}
&= \text{Volume unit dengan dinding} - \text{volume unit tanpa} \\
&\text{dinding} \\
&= [(12,8 \text{ m} + 0,4 \text{ m}) \times (5 \text{ m} + 0,4 \text{ m}) \times (2,27 \text{ m} + 0,2 \text{ m}) - \\
& (12,8 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 2,27 \text{ m})] \\
&= 30,7816 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

- Pekerjaan bekisting dinding  
= volume beton dinding  
= 30,7816 m<sup>3</sup>
- Pekerjaan bekisting lantai  
= volume beton lantai  
= 16 m<sup>3</sup>
- Pekerjaan pembesian dengan besi beton  
= Volume dinding x 110 kg/m<sup>3</sup>  
= 30,7816 m<sup>3</sup> x 110 kg/m<sup>3</sup>  
= 3385,976 kg

#### **Pekerjaan untuk RAMP**

Panjang = 15 m

Lebar = 5 m

Kedalaman = 2,27 m

- Pekerjaan pembersihan lapangan  
= luas lahan konstruksi  
= 75 m<sup>2</sup>
- Volume pasir urug RAMP  
= 75 m<sup>2</sup> x 0,1 m  
= 7,5 m<sup>3</sup>
- Volume lantai kerja K-250 RAMP  
= 74 m<sup>2</sup> x 0,05  
= 3,7 m<sup>3</sup>
- Volume beton dinding K-250 RAMP  
= [(15 m + 0,4 m) x (5 m + 0,4 m) x (2,27 m + 0,2 m) -  
(15 m x 5 m x 2,27 m)]  
= 35,1552 m<sup>3</sup>
- Pekerjaan bekisting dinding  
= volume beton dinding  
= 35,1552 m<sup>3</sup>
- Pekerjaan bekisting lantai  
= volume beton lantai  
= 7,5 m<sup>3</sup>

- Pekerjaan pembesian dengan besi beton  
 = Volume dinding x 110 kg/m<sup>3</sup>  
 = 35,1552 m<sup>3</sup> x 110 kg/m<sup>3</sup>  
 = 3867,072 kg
- Volume urugan tanah untuk RAMP  
 = Volume total ramp dengan dinding  
 = 205,40 m<sup>3</sup>

Berdasarkan perhitungan tersebut untuk unit *Solid Separation Chamber* (SSC) didapatkan hasil perhitungan total sebagai berikut :

- Pekerjaan pembersihan lapangan  
 = 75 m<sup>2</sup> + 64 m<sup>2</sup>  
 = 139 m<sup>2</sup>
- Volume pasir urug  
 = 6,4 m<sup>3</sup> + 7,5 m<sup>3</sup> + 205,40 m<sup>3</sup>  
 = 219,3 m<sup>3</sup>
- Volume lantai kerja K-250  
 = 16 m<sup>3</sup> + 3,7m<sup>3</sup>  
 = 19,7 m<sup>3</sup>
- Volume beton dinding K-250  
 = 30,7816 m<sup>3</sup> + 35,1552 m<sup>3</sup>  
 = 65,9368 m<sup>3</sup>
- Pekerjaan bekisting dinding  
 = 65,9368 m<sup>3</sup>
- Pekerjaan bekisting lantai  
 = 19,7 m<sup>3</sup>
- Pekerjaan pembesian dengan besi beton  
 = 3385,976 kg + 3867,072 kg  
 = 7253,048 kg
- Pekerjaan pemasangan pipa 50 mm

Jumlah pipa yang dibutuhkan hingga unit ABR sepanjang 11 m dan underdrain 12 m. Panjang pipa perbatang adalah 4 m, maka dibutuhkan 6 batang pipa. Pipa yang digunakan diameter 50 mm.

- Pekerjaan volume media gravel  
 = 12,8 m x 5 m x 0,2 m  
 = 12,8 m<sup>3</sup>
- Pekerjaan volume media sand

$$= 12,8 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$$

$$= 12,8 \text{ m}^3$$

## 2. Unit Drying Area

Panjang = 4 m

Lebar = 2 m

Kedalaman = 1,3 m

Tebal beton = 0,2 m

- Pekerjaan pembersihan lapangan  
= luas lahan konstruksi  
=  $8 \text{ m}^2$
- Volume galian tanah  
=  $\frac{1}{2} \times (0,3 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 2 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,3 \text{ m}) + (0,6 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 2 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,6 \text{ m}) \times (1,3 \text{ m} + 0,1 \text{ m} + 0,2 \text{ m}) \times 4 \text{ m}$   
=  $21,12 \text{ m}^3$
- Volume pasir urug  
= Luas unit x tebal pasir urug  
=  $8 \text{ m}^2 \times 0,1 \text{ m}$   
=  $0,8 \text{ m}^3$
- Volume lantai kerja K-250  
= Luas unit x ( tebal beton + tebal lantai kerja )  
=  $8 \text{ m}^2 \times (0,2 \text{ m} + 0,05)$   
=  $2 \text{ m}^3$
- Volume beton dinding K-250  
= Volume beton dengan dinding – Volume beton tanpa dinding  
=  $[(2 \text{ m} + 0,4 \text{ m}) \times (4 \text{ m} + 0,4 \text{ m}) \times (1,3 \text{ m} + 0,2 \text{ m}) - (2 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 1,3 \text{ m})]$   
=  $5,44 \text{ m}^3$
- Volume pengurugan tanah kembali  
= Volume galian total – Volume beton dengan dinding  
=  $21,12 \text{ m}^3 - 15,84 \text{ m}^3$   
=  $5,28 \text{ m}^3$
- Volume pengangkutan tanah keluar proyek  
= Pekerjaan volume galian tanah  
=  $21,12 \text{ m}^3$
- Pekerjaan bekisting dinding  
= volume beton dinding

- = 5,44 m<sup>3</sup>
- Pekerjaan bekisting lantai  
= volume beton lantai  
= 2 m<sup>3</sup>
- Pekerjaan pembesian dengan besi beton  
= Volume dinding x 110 kg/m<sup>3</sup>  
= 5,44 m<sup>3</sup> x 110 kg/m<sup>3</sup>  
= 598,4 kg
- Pekerjaan volume media pasir  
= Lebar x Panjang x Kedalaman  
= 2 m x 4 m x 0,3 m  
= 2,4 m<sup>3</sup>
- Pekerjaan volume media grassblock  
= Lebar x Panjang x Kedalaman  
= 2 m x 4 m x 0,2 m  
= 1,6 m<sup>3</sup>

### 3. Unit Anaerobic Baffled Reactor

Jumlah susunan ABR	= 1 unit
Panjang bak pengendap	= 5,3 m
Panjang ABR	= 1,1 m
Jumlah kompartemen ABR	= 4 kompartemen
Panjang ABR	= 4,4 m
Panjang ABR total	= 9,7 m
Lebar bak pengendap	= 1,5 m
Kedalaman (H total)	= 1,9 m
Tebal beton	= 0,15 m

- Pekerjaan Pembersihan Lapangan  
= luas lahan konstruksi  
= 29,945 m<sup>2</sup>
- Volume beton dinding  
= ( H total x tebal beton x lebar bak pengendap) + [2 x (H total x tebal beton x panjang bak pengendap)] + [2 x (H total x tebal beton x lebar ABR)] + [(H total x tebal beton x panjang ABR)]  
= [(1,9 m x 0,15 m x 1,5 m)] + [2 x (1,9 m x 0,15 m x 5,3 m)] + [2 x (1,9 m x 0,15 m x 1,5 m)] + [(1,9 m x 0,15 m x 9,7m)]  
= 7,069 m<sup>3</sup>

- Volume beton lantai  
 = (panjang BP + tebal beton) x ( lebar BP + tebal beton) x tebal beton] + (panjang ABR) x ( lebar ABR + (tebal x 2)) x tebal]  
 = [(5,3 m + 0,15 m) x (1,5 + 0,15 m ) x 0,15 m ] + (9,7 m) x (9,7 m + (0,15 m x 2)) x 0,15 m]  
 = 2,863 m<sup>3</sup>
- Volume beton atap  
 = Volume beton lantai  
 = 2,863 m<sup>3</sup>
- Volume beton antara kompartemen  
 = [(kompartemen ABR) – lubang pipa]  
 = (jumlah kompartemen x ( tebal x H total x lebar )) – (jumlah kompartemen x jumlah pipa per kompartemen x (  $\pi \times ((d/2)^2) \times$  tebal beton)]  
 = [(4 x (0,15 m x 1,9 m x 1,5 m) – (4 x 3 x (3,14 x ((0,1 m /2)<sup>2</sup>) x 0,15m)]  
 = 1,682 m<sup>3</sup>
- Pemasangan pipa air kotor 100 mm  
 Panjang di pasaran = 6 m  
 Panjang yang dibutuhkan per pipa = 1 m  
 Total pipa 1 ABR  
 = 4 kompartemen x 3 pipa  
 = 12 pipa  
 Panjang total pipa 1 ABR  
 = 12 x 1 m = 12 m  
 Jumlah pipa yang dibutuhkan untuk  
 = (12 m / 4 m per batang)  
 = 3 batang
- Volume total beton  
 = Volume beton dinding + Volume beton lantai + Volume beton atap + Volume beton antara kompartemen  
 = 7,069 m<sup>3</sup> + 2,863 m<sup>3</sup> + 2,863 m<sup>3</sup> + 1,682 m<sup>3</sup>  
 = 14,48 m<sup>3</sup>
- Volume bekisting dinding  
 = Volume beton dinding  
 = 7,069 m<sup>3</sup>
- Volume bekisting lantai

- = volume beton lantai  
= 2,863 m<sup>3</sup>
- Volume bekisting atap  
= volume beton atap  
= 2,863 m<sup>3</sup>
- Volume bekisting antar kompartemen  
= volume beton antar kompartemen  
= 1,682 m<sup>3</sup>
- Urugan pasir dipadatkan  
= ( lebar + (tebal x 2) ) x ((panjang ABR) + (tebal x 2) ) x tinggi pasir  
= [( 1,5 m + (0,15 m x 2 ) ) x ((9,7 m + (0,15 m x 2) ) x 0,1 m]  
= 1,8 m<sup>3</sup>
- Lantai kerja K-250  
= ( lebar + (tebal x 2) ) x ((panjang ABR) + (tebal x 2) ) x tinggi lantai  
= [( 1,5 m + (0,15 m x 2 ) ) x ((9,7 m + (0,15 m x 2) ) x 0,05m]  
= 0,9 m<sup>3</sup>
- Kedalaman penanaman IPAL  
= H total + tebal dinding atas + tebal dinding bawah  
= 1,9 m + 0,15 m + 0,15 m  
= 2,2 m
- Pekerjaan penggalian tanah untuk konstruksi  
Panjang = ((panjang total ABR) + (tebal beton x jumlah sekat)) + 0,5 x 2  
= (9,7 + (0,15 x 4) ) + (0,5 x 2)  
= 11,3 m  
Lebar = (lebar total + lebar beton) + 0,5 x 2  
= (1,5 + 0,15) + (0,5 x 2)  
= 2,65 m  
Tinggi = 2,2 m
- Volume penggalian tanah untuk konstruksi  
= panjang x lebar x tinggi  
= 11,3 m x 2,65 m x 2,2 m  
= 65.897 m<sup>3</sup>
- Pengangkutan tanah keluar proyek

Pekerjaan volume penggalian tanah untuk konstruksi  
= 65.897 m<sup>3</sup>

- Pekerjaan Pembesian dengan besi beton (polos)  
Volume pembesian didasarkan pada perhitungan volume dinding bangunan dan volume antar kompartemen yaitu (7,069 m<sup>3</sup> + 1,682 m<sup>3</sup>). Besi yang digunakan memiliki berat 110 kg/m<sup>3</sup>, sehingga diperoleh berat besi yaitu  
= Volume pembesian x berat besi  
= (7,069 m<sup>3</sup> + 1,682 m<sup>3</sup>) x 110 kg/m<sup>3</sup>  
= 962,61 kg
- Pekerjaan pipa  
Jumlah pipa yang dibutuhkan hingga unit *aerated lagoon* sepanjang 5 m. Panjang pipa perbatang adalah 4 m, maka dibutuhkan 2 batang pipa. Pipa yang digunakan diameter 50 mm.

#### 4. Unit Aerated Lagoon

Panjang = 7,5 m

Lebar = 5 m

Kedalaman = 3 m

Freeboard = 0,3 m

Tebal beton = 0,2 m

- Pekerjaan pembersihan lapangan  
= luas lahan konstruksi  
= 37,5 m<sup>2</sup>
- Volume galian tanah  
=  $\frac{1}{2} \times (0,3 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 5 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,3 \text{ m}) + (0,6 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 5 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,6 \text{ m}) \times (3,3 \text{ m} + 0,1 \text{ m} + 0,2 \text{ m}) \times 7,5 \text{ m}$   
= 170,1 m<sup>3</sup>
- Volume pasir urug  
= Luas unit x tebal pasir urug  
= 37,5 m<sup>2</sup> x 0,1 m  
= 3,75 m<sup>3</sup>
- Volume lantai kerja K-250  
= 37,5 m<sup>2</sup> x (0,2 m + 0,05)  
= 9,375 m<sup>3</sup>
- Volume beton dinding K-250

$$= [(7,5 \text{ m} + 0,4 \text{ m}) \times (5 \text{ m} + 0,4 \text{ m}) \times (3,3 \text{ m} + 0,2 \text{ m}) - (7,5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 3,3 \text{ m})]$$

$$= 25,56 \text{ m}^3$$

- Volume pengurugan tanah kembali  
 $= 170,1 \text{ m}^3 - 149,31 \text{ m}^3$   
 $= 20,79 \text{ m}^3$
- Volume pengangkutan tanah keluar proyek  
 $= \text{Pekerjaan volume galian tanah}$   
 $= 170,1 \text{ m}^3$
- Pekerjaan bekisting dinding  
 $= \text{volume beton dinding}$   
 $= 25,56 \text{ m}^3$
- Pekerjaan bekisting lantai  
 $= \text{volume beton lantai}$   
 $= 3,75 \text{ m}^3$
- Pekerjaan pembesian dengan besi beton  
 $= \text{Volume dinding} \times 110 \text{ kg/m}^3$   
 $= 25,56 \text{ m}^3 \times 110 \text{ kg/m}^3$   
 $= 2811,6 \text{ kg}$
- Pekerjaan pemasangan pipa 50 mm  
 Jumlah pipa yang dibutuhkan hingga unit *Constructed Wetland* sepanjang 5 m. Panjang pipa perbatang adalah 4 m, maka dibutuhkan 2 batang pipa. Pipa yang digunakan diameter 50 mm.

##### **5. Unit Constructed Wetland**

Panjang = 13 m

Lebar = 9,6 m

Kedalaman = 0,6 m

Freeboard = 0,4 m

Tebal beton = 0,2 m

- Pekerjaan pembersihan lapangan  
 $= \text{luas lahan konstruksi}$   
 $= 124,8 \text{ m}^2$
- Volume galian tanah  
 $= \frac{1}{2} \times (0,3 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 9,6 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,3 \text{ m}) + (0,6 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 9,6 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,6 \text{ m}) \times (1 \text{ m} + 0,1 \text{ m} + 0,2 \text{ m}) \times 13 \text{ m}$   
 $= 184,21 \text{ m}^3$



- Volume pasir urug  
 $= 124,8 \text{ m}^2 \times 0,1 \text{ m}$   
 $= 12,48 \text{ m}^3$
- Volume lantai kerja K-250  
 $= 124,8 \text{ m}^2 \times (0,2 \text{ m} + 0,05)$   
 $= 31,2 \text{ m}^3$
- Volume beton dinding K-250  
 $= [(9,6 \text{ m} + 0,4 \text{ m}) \times (13 \text{ m} + 0,4 \text{ m}) \times (1 \text{ m} + 0,2 \text{ m}) - (9,6 \text{ m} \times 13 \text{ m} \times 1 \text{ m})]$   
 $= 36 \text{ m}^3$
- Volume pengurugan tanah kembali  
 $= 184,21 \text{ m}^3 - 160,8 \text{ m}^3$   
 $= 23,41 \text{ m}^3$
- Volume pengangkutan tanah keluar proyek  
 $= \text{Pekerjaan volume galian tanah}$   
 $= 184,21 \text{ m}^3$
- Pekerjaan bekisting dinding  
 $= \text{volume beton dinding}$   
 $= 36 \text{ m}^3$
- Pekerjaan bekisting lantai  
 $= \text{volume beton lantai}$   
 $= 31,2 \text{ m}^3$
- Pekerjaan pembesian dengan besi beton  
 $= \text{Volume dinding} \times 110 \text{ kg/m}^3$   
 $= 36 \text{ m}^3 \times 110 \text{ kg/m}^3$   
 $= 3960 \text{ kg}$
- Pekerjaan pemasangan pipa 50 mm  
 Jumlah pipa yang dibutuhkan hingga badan air sepanjang 2 m. Panjang pipa perbatang adalah 4 m, maka dibutuhkan 1 batang pipa. Pipa yang digunakan diameter 50 mm.
- Pekerjaan volume media gravel  
 $= 0,2 \text{ m} \times 9,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$   
 $= 1,152 \text{ m}^3$
- Pekerjaan volume media gravelly sand  
 $= 12,8 \text{ m} \times 9,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$   
 $= 73,728 \text{ m}^3$
- Kebutuhan tanaman

$$\begin{aligned}
 &= \text{Kerapatan} \times \text{Luas} \\
 &= 5 \text{ tanaman/m}^2 \times 124,8 \text{ m}^2 \\
 &= 624 \text{ tanaman}
 \end{aligned}$$

## 6. Unit Bak Desinfeksi

Panjang = 3 m

Lebar = 1 m

Kedalaman = 1 m

Freeboard = 0,3 m

Tebal beton = 0,2 m

- Pekerjaan pembersihan lapangan  
= luas lahan konstruksi  
= 3 m<sup>2</sup>
- Volume galian tanah  
=  $\frac{1}{2} \times (0,3 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 1 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,3 \text{ m}) + (0,6 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 1 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,6 \text{ m}) \times (1,3 \text{ m} + 0,1 \text{ m} + 0,2 \text{ m}) \times 3 \text{ m}$   
= 11,04 m<sup>3</sup>
- Volume pasir urug  
= 3 m<sup>2</sup> x 0,1 m  
= 0,3 m<sup>3</sup>
- Volume lantai kerja K-250  
= 3 m<sup>2</sup> x (0,2 m + 0,05)  
= 0,75 m<sup>3</sup>
- Volume beton dinding K-250  
= [(3 m + 0,4 m) x (1 m + 0,4 m) x (1,3 m + 0,2 m) - (3 m x 1 m x 1,3 m)]  
= 3,24 m<sup>3</sup>
- Volume beton penutup K-250  
= 3 m<sup>2</sup> x 0,2 m  
= 0,6 m<sup>3</sup>  
Volume beton total = 3,24 m<sup>3</sup> + 0,6 m<sup>3</sup>  
= 3,84 m<sup>3</sup>
- Volume pengurugan tanah kembali  
= 11,04 m<sup>3</sup> - 7,14 m<sup>3</sup>  
= 3,9 m<sup>3</sup>
- Volume pengangkutan tanah keluar proyek  
= Pekerjaan volume galian tanah

- = 11,04 m<sup>3</sup>
- Pekerjaan bekisting dinding  
= volume beton dinding  
= 3,24 m<sup>3</sup>
- Pekerjaan bekisting lantai  
= volume beton lantai  
= 0,75 m<sup>3</sup>
- Pekerjaan pembesian dengan besi beton  
= Volume dinding x 110 kg/m<sup>3</sup>  
= 3,24 m<sup>3</sup> x 110 kg/m<sup>3</sup>  
= 356,4 kg
- Pekerjaan pemasangan pipa 50 mm  
Jumlah pipa yang dibutuhkan hingga badan air sepanjang 11 m. Panjang pipa perbatang adalah 4 m, maka dibutuhkan 3 batang pipa. Pipa yang digunakan diameter 50 mm.

#### **7. Unit Bak Indikator**

Panjang = 2 m

Lebar = 1 m

Kedalaman = 0,5 m

Freeboard = 0,5 m

Tebal beton = 0,2 m

- Pekerjaan pembersihan lapangan  
= luas lahan konstruksi  
= 2 m<sup>2</sup>
- Volume galian tanah  
=  $\frac{1}{2} \times (0,3 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 1 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,3 \text{ m}) + (0,6 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 1 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,6 \text{ m}) \times (1 \text{ m} + 0,1 \text{ m} + 0,2 \text{ m}) \times 2 \text{ m}$   
= 5,98 m<sup>3</sup>
- Volume pasir urug  
= 2 m<sup>2</sup> x 0,1 m  
= 0,2 m<sup>3</sup>
- Volume lantai kerja K-250  
= 2 m<sup>2</sup> x (0,2 m + 0,05 )  
= 0,5 m<sup>3</sup>
- Volume beton dinding K-250

$$= [(2 \text{ m} + 0,4 \text{ m}) \times (1 \text{ m} + 0,4 \text{ m}) \times (1 \text{ m} + 0,2 \text{ m}) - (2 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m})]$$

$$= 2,032 \text{ m}^3$$

- Volume pengurugan tanah kembali  
 $= 5,98 \text{ m}^3 - 4,032 \text{ m}^3$   
 $= 1,948 \text{ m}^3$
- Volume pengangkutan tanah keluar proyek  
 $= \text{Pekerjaan volume galian tanah}$   
 $= 5,98 \text{ m}^3$
- Pekerjaan bekisting dinding  
 $= \text{volume beton dinding}$   
 $= 2,712 \text{ m}^3$
- Pekerjaan bekisting lantai  
 $= \text{volume beton lantai}$   
 $= 0,5 \text{ m}^3$
- Pekerjaan pembesian dengan besi beton  
 $= \text{Volume dinding} \times 110 \text{ kg/m}^3$   
 $= 2,032 \text{ m}^3 \times 110 \text{ kg/m}^3$   
 $= 223,52 \text{ kg}$
- Pekerjaan pemasangan pipa 50 mm  
 Jumlah pipa yang dibutuhkan hingga badan air sepanjang 11 m. Panjang pipa perbatang adalah 4 m, maka dibutuhkan 3 batang pipa. Pipa yang digunakan diameter 50 mm.

### **8. Unit Sludge Drying Bed**

Panjang = 2 m

Lebar = 1 m

Kedalaman = 1,2 m

Tebal beton = 0,2 m

- Pekerjaan pembersihan lapangan  
 $= \text{luas lahan konstruksi}$   
 $= 2 \text{ m}^2$
- Volume galian tanah  
 $= \frac{1}{2} \times (0,3 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 1 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,3 \text{ m}) + (0,6 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 1 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,6 \text{ m}) \times (1,2 \text{ m} + 0,1 \text{ m} + 0,2 \text{ m}) \times 2 \text{ m}$   
 $= 6,9 \text{ m}^3$

- Volume pasir urug  
 = Luas unit x tebal pasir urug  
 =  $2 \text{ m}^2 \times 0,1 \text{ m}$   
 =  $0,2 \text{ m}^3$
- Volume lantai kerja K-250  
 =  $2 \text{ m}^2 \times (0,2 \text{ m} + 0,05)$   
 =  $0,5 \text{ m}^3$
- Volume beton dinding K-250  
 = Volume unit dengan dinding – Volume unit tanpa dinding  
 =  $[(2 \text{ m} + 0,4 \text{ m}) \times (1 \text{ m} + 0,4 \text{ m}) \times (1,2 \text{ m} + 0,2 \text{ m}) - (2 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1,2 \text{ m})]$   
 =  $2,304 \text{ m}^3$
- Volume pengurugan tanah kembali  
 = Volume galian tanah – Volume unit dengan dinding  
 =  $6,9 \text{ m}^3 - 4,704 \text{ m}^3$   
 =  $2,196 \text{ m}^3$
- Volume pengangkutan tanah keluar proyek  
 = Pekerjaan volume galian tanah  
 =  $6,9 \text{ m}^3$
- Pekerjaan bekisting dinding  
 = volume beton dinding  
 =  $2,304 \text{ m}^3$
- Pekerjaan bekisting lantai  
 = volume beton lantai  
 =  $0,5 \text{ m}^3$
- Pekerjaan pembesian dengan besi beton  
 = Volume dinding x  $110 \text{ kg/m}^3$   
 =  $2,304 \text{ m}^3 \times 110 \text{ kg/m}^3$   
 =  $253,44 \text{ kg}$
- Pekerjaan pemasangan pipa 50 mm  
 Jumlah pipa yang dibutuhkan hingga unit desinfeksi sepanjang 3 m. Panjang pipa perbatang adalah 4 m, maka dibutuhkan 1 batang pipa. Pipa yang digunakan diameter 50 mm.
- Pekerjaan volume media gravel  
 = Lebar x panjang x kedalaman  
 =  $1 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}$

- $= 0,6 \text{ m}^3$   
Pekerjaan volume media sand  
= Lebar x panjang x kedalaman  
=  $1 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}$   
=  $0,6 \text{ m}^3$

Setelah diperoleh perhitungan kuantitas, maka dapat dilakukan perhitungan anggaran biaya yang mengacu pada Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Madiun tahun 2018, perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Kota Madiun dapat dilihat pada Tabel 5.26 sampai 5.33.

**Tabel 5.26 RAB Unit Solid Separation Chamber**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	139	11.750	1.633.250
2	Pemasangan Bowplank	Titik	6	76.708	460.245
2	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	219,3	203.150	44.550.795
3	Lantai Kerja K-250	m <sup>3</sup>	19,7	1.921.709	37.857.672
4	Pekerjaan Bekisting Lantai	m <sup>3</sup>	19,7	345.185	6.800.145
5	Pekerjaan Bekisting Dinding	m <sup>3</sup>	65,9368	345.185	22.760.394
6	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	65,9638	2.413.838	159.225.944
7	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	kg	7253,05	10.021	72.686.399
8	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 50 mm	Batang	6	78.014	468.081
9	Pengurugan Media Gravel	m <sup>3</sup>	12,8	199.375	2.552.000
10	Pengurugan Media Pasir	m <sup>3</sup>	12,8	182.375	2.334.400
<b>Total</b>					<b>346.442.924</b>

**Tabel 5.27 RAB Unit Drying Area**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	8	11.750	94.000
2	Pemasangan Bowplank	Titik	4	76.708	306.830
3	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	21,12	67.275	1.420.848
4	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	0,8	203.150	162.520
5	Lantai Kerja K-250	m <sup>3</sup>	2	1.921.709	3.843.419
6	Pekerjaan Bekisting Lantai	m <sup>3</sup>	2	345.185	690.370
7	Pekerjaan Bekisting Dinding	m <sup>3</sup>	5,44	345.185	1.877.806
8	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	5,44	2.413.838	13.131.280
9	Pekerjaan Pengurugan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	5,28	23.289	122.963
10	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	kg	598,4	10.021	5.996.864
11	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	21,12	86.699	1.831.085
12	Pengurugan Media Pasir	m <sup>3</sup>	2,4	182.375	437.700
13	Pengurugan Media Grass Block	m <sup>3</sup>	1,6	103.175	165.080
<b>Total</b>					<b>29.447.985</b>



**Tabel 5.28 RAB Unit Anaerobic Baffled Reactor**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	29,945	11.750	351.854
2	Pemasangan Bowplank	Titik	4	76.708	306.830
3	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	65,897	67.275	4.433.221
4	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	1,8	203.150	365.670
5	Lantai Kerja K-250	m <sup>3</sup>	0,9	1.921.709	1.729.538
6	Pekerjaan Bekisting Lantai	m <sup>3</sup>	2,863	345.185	988.265
7	Pekerjaan Bekisting Atap	m <sup>3</sup>	2,863	345.185	988.265
8	Pekerjaan Bekisting Dinding	m <sup>3</sup>	7,069	332.185	2.348.216
9	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	14,48	2.413.838	34.952.378
10	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	Kg	962,61	10.021	9.646.793
11	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	65,897	86.699	5.713.211
12	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 100 mm	Batang	3	186.304	558.911
13	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 50 mm	Batang	2	78.014	156.027
<b>Total</b>					<b>62.539.177</b>

**Tabel 5.29 RAB Unit Aerated Lagoon**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	37,5	11.750	440.625
2	Pemasangan Bowplank	Titik	4	76.708	306.830
3	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	170,1	67.275	11.443.478
4	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	37,5	203.150	7.618.125
5	Lantai Kerja K-250	m <sup>3</sup>	9,375	1.921.709	18.016.024
6	Pekerjaan Bekisting Lantai	m <sup>3</sup>	3,75	345.185	1.294.444
7	Pekerjaan Bekisting Dinding	m <sup>3</sup>	25,56	345.185	8.822.929
8	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	25,56	2.413.838	61.697.706
9	Pekerjaan Pengurugan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	20,79	23.289	484.168
10	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	kg	2811,6	10.021	28.176.441
11	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	170,1	86.699	14.747.517
12	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 50 mm	Batang	2	78.014	156.027
13	Pemasangan Mechanical Surface Aerator	Unit	1	42.501.375	42.501.375
<b>Total</b>					<b>195.705.687</b>

**Tabel 5.30 RAB Unit *Constructed Wetland***

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	124,8	11.750	1.466.400
2	Pemasangan Bowplank	Titik	4	76.708	306.830
3	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	184,21	67.275	12.392.728
4	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	12,48	203.150	2.535.312
5	Lantai Kerja K-250	m <sup>3</sup>	31,2	1.921.709	59.957.329
6	Pekerjaan Bekisting Lantai	m <sup>3</sup>	31,2	345.185	10.769.772
7	Pekerjaan Bekisting Dinding	m <sup>3</sup>	36	345.185	12.426.660
8	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	36	2.413.838	86.898.177
9	Pekerjaan Pengurugan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	23,41	23.289	545.184
10	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	kg	3960	10.021	39.685.128
11	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	184,21	86.699	15.970.841
12	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 50 mm	buah	1	78.014	78.014
13	Pengurugan Media Gravel	m <sup>3</sup>	1,152	199.375	229.680
14	Pengurugan Media Gravel Sand	m <sup>3</sup>	73,728	139.375	10.275.840
15	Penanaman Tanaman Iris <i>Pseudacorus</i>	Buah	624	12.475	7.784.400
<b>Total</b>					<b>261.322.294</b>

**Tabel 5.31 RAB Unit Desinfeksi**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	3	11.750	35.250
2	Pemasangan Bowplank	Titik	4	76.708	306.830
3	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	11,04	67.275	742.716
4	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	0,3	203.150	60.945
5	Lantai Kerja K-250	m <sup>3</sup>	0,75	1.921.709	1.441.282
6	Pekerjaan Bekisting Lantai	m <sup>3</sup>	0,75	345.185	258.889
7	Pekerjaan Bekisting Dinding	m <sup>3</sup>	3,24	345.185	1.118.399
8	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	3,84	2.413.838	9.269.139
9	Pekerjaan Pengurugan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	3,9	23.289	90.825
10	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	Kg	356,4	10.021	3.571.662
11	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	11,04	86.699	957.158
12	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 50 mm	Batang	1	78.014	78.014
13	Pemasangan Flokulator	Unit	3	5.001.375	15.004.125
<b>Total</b>					<b>32.935.233</b>

**Tabel 5. 32 RAB Unit Bak Indikator**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	2	11.750	23.500
2	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	Titik	4	76.708	306.830
3	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	5,98	67.275	402.305
4	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	0,2	203.150	40.630
5	Lantai Kerja K-250	m <sup>3</sup>	0,5	1.921.709	960.855
6	Pekerjaan Bekisting Lantai	m <sup>3</sup>	0,5	345.185	172.593
7	Pekerjaan Bekisting Dinding	m <sup>3</sup>	2,032	345.185	701.416
8	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	2,032	2.413.838	4.904.919
9	Pekerjaan Pengurugan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	1,948	23.289	45.366
10	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	Kg	223,52	10.021	2.240.005
11	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	5,98	86.699	518.461
12	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 50 mm	Batang	3	78.014	234.041
<b>Total</b>					<b>10.550.919</b>

**Tabel 5.33 RAB Unit *Sludge Drying Bed***

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	2	11.750	23.500
2	Pemasangan Bowplank	Titik	4	76.708	306.830
3	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	6,9	67.275	464.198
3	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	0,2	203.150	40.630
4	Lantai Kerja K-250	m <sup>3</sup>	0,5	1.921.709	960.855
5	Pekerjaan Bekisting Lantai	m <sup>3</sup>	0,5	345.185	172.593
6	Pekerjaan Bekisting Dinding	m <sup>3</sup>	2,304	345.185	795.306
7	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	2,304	2.413.838	5.561.483
8	Pekerjaan Pengurugan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	2,196	23.289	51.142
9	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	kg	253,44	10.021	2.539.848
10	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	6,9	86.699	598.224
11	Pemasangan Pipa Air Limbah dan underdrain diameter 50 mm	Batang	1	78.014	78.014
12	Pengurugan Media Gravel	m <sup>3</sup>	0,6	199.375	119.625
13	Pengurugan Media Pasir	m <sup>3</sup>	0,6	182.375	109.425
<b>Total</b>					<b>11.592.621</b>

Berikut adalah Tabel 5.34 Rekapitulasi dari Rencana Anggaran Biaya (RAB) dari tiap unit pengolahan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun.

**Tabel 5.34 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) Pembangunan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun**

Unit Pengolahan	Jumlah Unit	RAB 1 Unit (Rp)	Total RAB (Rp)
SSC	4	346.442.924	1.385.771.697
ABR	1	62.539.177	62.539.177
<i>Aerated Lagoon</i>	1	195.705.687	195.705.687
<i>Constructed Wetland</i>	1	261.322.294	261.322.294
Desinfeksi	1	32.935.233	32.935.233
Bak Indikator Efluen	1	10.550.919	10.550.919
Drying Area	4	29.447.985	117.911.940
SDB	4	11.592.621	46.370.485
		Total	2.113.107.433
		Pajak 10%	211.310.743
		Total Biaya	2.324.418.176
		Pembulatan	2.325.000.000

Berdasarkan hasil perhitungan, maka telah didapatkan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pembangunan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun, yaitu sebesar Rp 2.325.000.000.

#### **5.2.4 Rencana Anggaran Biaya Operasional**

Biaya operasi dan pemeliharaan IPLT yang dimaksud adalah biaya yang dikeluarkan untuk mengoperasikan dan merawat peralatan dan bangunan di lokasi IPLT. Biaya operasi dan pemeliharaan meliputi :

1. Biaya personel ( upah dan gaji )
2. Biaya penunjang dan *overhead* kantor meliputi pemeriksaan laboratorium, biaya perlindungan (kesehatan, pakaian, perlengkapan K3) dan administrasi kantor.
3. Biaya pengeluaran listrik
4. Biaya pemeliharaan IPLT meliputi biaya yang dikeluarkan untuk memelihara dan mempertahankan bangunan IPLT

selalu siap untuk dioperasikan, biaya ini disusun sesuai dengan kondisi peralatan dan bangunan serta petunjuk pabrik untuk perawatan, seperti perawatan alat, perawatan lahan dan pembelian bahan kimia.

Biaya operasional dan pemeliharaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun dapat dilihat pada Tabel 5.35 sampai 5.39.

**Tabel 5.35 Biaya Tenaga Kerja**

No	Posisi	Jumlah	Gaji (Rp)	
			Bulan	Tahun
1	Kepala IPLT	1	4.000.000	48.000.000
2	Tenaga Supervisi	1	2.500.000	30.000.000
3	Tenaga Mekanik	1	2.200.000	26.400.000
4	Tenaga Laboratorium	1	2.200.000	26.400.000
5	Tenaga Penunjang			
	a. Operasional IPLT	3	4.500.000	216.000.000
	b. Keamanan dan kebersihan	2	2.000.000	48.000.000
6	Staf Administrasi	1	2.200.000	26.400.000
	Total Jumlah	10	19.600.000	421.200.000

**Tabel 5.36 Biaya Penunjang dan Overhead Kantor**

Jenis Biaya	Keterangan	Biaya Satuan	Bulan (Rp)	Tahunan (Rp)
Peralatan Penunjang				
a. Peralatan K3	10	300.000	-	3.000.000
b. Pakaian Kerja	10	150.000	-	1.500.000
c. Sepatu Kerja	10	150.000		1.500.000
Uji Laboratorium	7 sampel	350.000	2.450.000	29.400.000
Biaya Kantor	5 % biaya tenaga kerja		980.000	11.760.000
			3.430.000	46.020.000

**Tabel 5.37 Biaya Kebutuhan Listrik**

No	Nama Alat	Power (Kw)	Jumlah	Waktu operasional per hari (jam)	Pemakaian Listrik/bulan (Kwh/bulan)
1	Aerator	5,6	1	24	4.032
2	Flokulator	0,02	1	24	14,4
3	Penerangan	2	1	12	720



No	Nama Alat	Power (Kw)	Jumlah	Waktu operasional per hari (jam)	Pemakaian Listrik/bulan (Kwh/bulan)
Jumlah pemakaian listrik					4.766,4
Biaya listrik per Kwh (Rp./Kwh)					1.500
Biaya listrik per bulan (Rp)					7.030.440
Biaya listrik per tahun (Rp)					84.365.280

**Tabel 5.38 Biaya Perawatan IPLT**

No	Jenis Biaya	Biaya O&M per bulan total (Rp./bulan)	Biaya O&M per tahun total (Rp./tahun)
1	Perawatan alat	1.500.000	18.000.000
2	Pengurasan lumpur	1.500.000	18.000.000
3	Perawatan lahan	1.000.000	12.000.000
4	Pembelian bahan kimia	1.000.000	12.000.000
Total		5.000.000	60.000.000

**Tabel 5.39 Rekapitulasi Biaya Pengolahan, Pengoperasian dan Pemeliharaan IPLT**

No	Jenis Biaya	Biaya O&M per bulan Total (Rp/bulan)
1	Biaya Tenaga Kerja	19.600.000
2	Biaya Kebutuhan Listrik	7.030.440
3	Biaya Penunjang dan <i>Overhead</i> Kantor	3.430.000
4	Biaya Perawatan IPLT	5.000.000
Jumlah (Rp.)		35.060.440
	Kapasitas IPLT per hari (m <sup>3</sup> )	30
	Kapasitas pengolahan per bulan (m <sup>3</sup> )	900
	Biaya operasional per bulan (Rp.)	35.060.440
	Biaya operasional per m <sup>3</sup> (Rp.)	38.956
	Biaya operasional per tahun (Rp.)	426.725.280

### 5.3 Analisis Kelayakan Ekonomi

Analisis kelayakan ekonomi dilaksanakan untuk mendapatkan gambaran proyeksi laporan ekonomi kedepan guna menentukan nilai ekonomi suatu kegiatan dan kelayakan dari pembangunan yang direncanakan. Pengkajian kelayakan ekonomi meliputi penyusunan laporan keuangan dengan menganalisis proyek laporan ekonomi terhadap kriteria kelayakan

ekonomi. Pada perencanaan ini, analisis ekonomi yang digunakan adalah kelayakan dari *Economic Net Present Value* (ENPV) dan *Benefit Cost Ratio* (EBCR).

### 5.3.1 Nilai Cost

Nilai *cost* diperoleh dari biaya investasi pembangunan, pengadaan alat berat, operasional dan pemeliharaan IPLT. Biaya investasi pembangunan IPLT adalah Rp 2.325.000.000, dengan biaya pembuatan *Detail Engineering Desain* Rp 300.000.000. pengadaan alat berat Rp 100.000.000 sedangkan perkiraan rincian kegiatan operasional dan pemeliharaan IPLT dapat dilihat pada Tabel 5.36 sampai 5.40, dan rekapitulasi nilai *cost* yang akan naik sebesar 2% pertahun disesuaikan dengan nilai inflasi rata-rata pertahun, dapat dilihat pada Tabel 5.40, dan perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

**Tabel 5.40 Rekapitulasi Nilai Cost Operasional dan Pemeliharaan IPLT**

No	Jenis Biaya	Biaya O&M per bulan Total (Rp/bulan)
1	Biaya Tenaga Kerja	19.600.000
2	Biaya Kebutuhan Listrik	7.030.440
3	Biaya Penunjang dan Overhead Kantor	3.430.000
4	Biaya Perawatan IPLT	5.000.000
	Jumlah (Rp.)	35.060.440
	Biaya operasional per bulan (Rp.)	35.060.440
	Biaya operasional per tahun (Rp.)	426.725.280

### 5.3.2 Nilai Benefit

Nilai *benefit* diperoleh dari biaya retribusi masyarakat, hasil pemanfaatan produk yang dihasilkan IPLT, dan nilai manfaat lain yang timbul akibat perencanaan IPLT. Manfaat yang timbul pada penyelenggaraan IPLT akan dikonversikan menjadi mata uang sehingga dapat dilakukan perbandingan dengan nilai *cost* yang dibutuhkan dalam pembangunan dan pengoperasian IPLT. Manfaat yang dianalisis pada perencanaan ini meliputi biaya retribusi, pemanfaatan lumpur hasil olahan, manfaat kesehatan, dan perbaikan lingkungan.

- Biaya Retribusi

Berdasarkan Peraturan Daerah Kota Madiun Nomor 9 Tahun 2017 tentang retribusi penyediaan dan/atau penyedotan kakus pasal 6 menyatakan bahwa tingkat penggunaan jasa retribusi penyediaan dan/atau penyedotan kakus diukur menurut jumlah volume berdasarkan meteran satuan kubik, klasifikasi penggunaan layanan, dan lokasi penggunaan layanan. Berdasarkan pasal 8 untuk besarnya tarif retribusi ditetapkan yaitu sebesar Rp 100.000/m<sup>3</sup> yang akan ditinjau kembali selama 3 tahun sekali sesuai dengan indeks harga dan perkembangan perekonomian.

Biaya retribusi pada perencanaan ini direncanakan sesuai dengan Peraturan Daerah Kota Madiun Nomor 9 Tahun 2017 tentang retribusi penyediaan dan/atau penyedotan kakus pasal 8 yaitu sebesar Rp 100.000/m<sup>3</sup> dan direncanakan akan meningkat setiap 3 tahun sekali, mengacu pada tingkat inflasi uang per tahun yaitu 2% (Bank Indonesia, 2019). Kenaikan biaya retribusi per 3 tahun yaitu Rp 6.000, sehingga pemasukan di tahun terakhir perencanaan yaitu Rp 136.000/m<sup>3</sup> dengan total pelayanan penduduk yaitu 11.172 KK.

Pemasukan = Biaya retribusi sekali pengurusan x Jumlah penduduk dilayani pertahun (KK)

$$\begin{aligned} \text{Pemasukan} &= \text{Rp } 136.000/\text{m}^3 \times 11.172 \text{ KK} \\ &= 1.519.366.467/\text{tahun} \end{aligned}$$

- Pemanfaatan lumpur tinja hasil olahan sebagai pupuk  
Berdasarkan hasil perhitungan, jumlah lumpur yang dihasilkan oleh Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) adalah 1.423 kg/hari atau 506.588 kg/tahun. Berdasarkan harga pasar, harga dari pupuk organik Rp 1000/kg (Oktiawan dan Priambada, 2007). Nilai manfaat dari hasil pengolahan lumpur tinja adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Nilai} &= \text{Hasil lumpur per kg} \times \text{Harga pupuk per kg} \\ &= 506.588 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp } 1000/\text{kg} \\ &= \text{Rp } 506.588.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

- Biaya kesehatan  
Kesehatan masyarakat di Kota Madiun akan mengalami peningkatan apabila pelayanan sanitasi yang baik, berdasarkan hasil kuisisioner, rata-rata pengeluaran

masyarakat di Kota Madiun untuk biaya kesehatan adalah Rp 50.000/orang.tahun. Nilai manfaat berupa peningkatan kesehatan masyarakat di Kota Madiun di akhir periode perencanaan yang didapatkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Nilai} &= \text{Jumlah jiwa} \times \text{biaya kesehatan} \\ &= 134.059 \text{ orang} \times \text{Rp } 50.000 \text{ orang/tahun} \\ &= \text{Rp } 6.702.995.000/\text{tahun}\end{aligned}$$

- Perbaikan lingkungan  
Perbaikan lingkungan yang ditimbulkan dengan tidak adanya Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) menghabiskan biaya Rp 15.000/m<sup>2</sup>. Apabila sebelum adanya Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) luas lahan yang terdampak yaitu 750 m<sup>2</sup>, maka nilai manfaat yang dapat diperoleh yaitu sebagai berikut :  
Nilai = Luas lahan terdampak x biaya perbaikan lingkungan  
= 750 m<sup>2</sup> x Rp 15.000 m<sup>2</sup>/tahun  
= Rp 11.250.000./tahun

Nilai benefit total selama 20 tahun yang diperoleh dari pembangunan dan pengoperasian Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) jika di rupiahkan adalah sebesar Rp 36.925.172.784 dan total nilai cost yaitu Rp 5.567.591.158

Berdasarkan persamaan 2.15 dan 2.17 maka didapatkan perbitungan nilai *Economic Net Present Value* (ENPV) dan *Economic Benefit Cost Ratio* (EBCR) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Nilai ENPV IPLT} &= \text{Total NPV in} - \text{Total NPV out} \\ &= \text{Rp } 36.925.172.784 - \text{Rp } 5.567.591.158 \\ &= \text{Rp } 31.357.581.626\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai EBCR IPLT} &= \text{Total Benefit / Total Cost} \\ &= \text{Rp } 36.925.172.784 / \text{Rp } 5.567.591.158 \\ &= 6.6\end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan nilai EBCR pada pembangunan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) menunjukkan nilai 6.6 dimana nilai tersebut >1, dan perhitungan nilai ENPV menunjukkan nilai positif yaitu Rp 31.357.581.626 sehingga proyek pembangunan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun, layak

secara ekonomi, perhitungan *Economic Benefit Cost Ratio* (EBCR) dan *Economic Net Present Value* (ENPV) selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB 6**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Kesimpulan Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota adalah sebagai berikut :

1. Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun direncanakan dengan pelayanan 70% pada akhir periode perencanaan tahun 2038, kapasitas Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) mencapai 30 m<sup>3</sup>/hari, dengan unit alternatif antara lain *Solid Separation Chamber* (SSC), *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), *Aerated Lagoon*, *Constructed Wetland*, Desinfeksi, Bak Indikator, *Drying Area*, *Sludge Drying Bed*, dan membutuhkan luas lahan sebesar 477,85 m<sup>2</sup>.
2. Berdasarkan perhitungan perencanaan teknik terinci (*Detail Engineering Design*) Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun, maka dapat dilakukan perhitungan terhadap Rencana Anggaran Biaya (RAB) dengan berdasarkan HSPK Kota Madiun Tahun 2018. Total Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang dibutuhkan untuk pembangunan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun sebesar Rp 2.325.000.000.-
3. Berdasarkan analisa perhitungan kelayakan ekonomi, nilai *Economic Benefit Cost Ratio* (EBCR) adalah 6,6 dimana nilai tersebut >1, dan perhitungan nilai *Economic Net Present Value* (ENPV) menunjukkan nilai positif yaitu Rp 31.357.581.626, dari kedua metode tersebut maka peoyek perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun layak secara ekonomi.

#### **6.2 Saran**

Saran untuk perbaikan perencanaan ini adalah sebagai berikut :

1. Perlu adanya sosialisasi kepada masyarakat tentang pemanfaatan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) dan pentingnya pengurusan lumpur tinja.

2. Apabila adanya pembangunan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun diperlukan adanya program Layanan Lumpur Tinja Terjadwal (LLTT) untuk memenuhi kapasitas yang telah direncanakan, serta peran dari masing-masing OPD untuk mengoptimalkan fungsi dari Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai efisiensi removal dari tumbuhan *Iris Pseudacorus* bila digunakan pada *sub surface flow constructed wetland* sebagai unit pengolahan stabilisasi pada Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT).
4. Perawatan terhadap Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) sangat penting untuk diperhatikan agar kinerja bangunan tetap baik dan sesuai dengan perencanaan awal.



## DAFTAR PUSTAKA

- Armawati, N. 2018. **Optimalisasi Pasokan Terhadap Keberlanjutan Instalasi Pengolahan Limbah Tinja (IPLT) di Jawa Timur (Studi Kasus IPLT Bandardowo, Kabupaten Jombang)**. Thesis Departemen Teknik Lingkungan. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Azizah, C. 2017. **Layanan Lumpur Tinja Terjadwal di Kecamatan Lowokwaru Kota Malang**. Thesis Departemen Teknik Lingkungan. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Badan Pusat Statistika Kota Madiun. 2018. **Kota Madiun dalam Angka 2018**. Kota Madiun : BPS Kota Madiun.
- Badan Pusat Statistika Kota Madiun. 2018. **Kecamatan Kartoharjo dalam Angka 2018**. Kota Madiun : BPS Kota Madiun.
- Badan Pusat Statistika Kota Madiun. 2018. **Kecamatan Manguharjo dalam Angka 2018**. Kota Madiun : BPS Kota Madiun.
- Badan Pusat Statistika Kota Madiun. 2018. **Kecamatan Taman dalam Angka 2018**. Kota Madiun : BPS Kota Madiun
- Cronk, J.K & S.M Fennessy. 2001. **Wetland Plants : Biology and Ecology**. Lewis Publisher. Florida
- Devi, R dan Dahiya, R.P. 2008. **COD And BOD Removal From Domestic Wastewater Generated in Decentralised Sectors**. Bioresource Technology, 99(2), 344–349.
- Dewi, N.A.M.S.U. 2014. **Analisis Multikriteria dalam Menentukan Lokasi IPLT dengan Pendekatan Geographic Information System (GIS) dan Analytical Hierarchy Procees (AHP) (Studi Kasus: Kabupaten Bogor)**. Thesis Departemen Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Bandung.
- Ellis, J. B., R. B. E Shutes dan D. M Revitt. 2003. **Guidance Manual for Constructed Wetlands**. United Kingdom : Evironmental Agency
- Fakkaew, K., Koottatep, T., dan Polprasert, C. 2018. **Faecal Sludge Treatment And Utilization By Hydrothermal Carbonization**. Journal of Environmental Management, 216, 421–426.

- Hadatu, T.L.M., 2019 . **Alternatif Revitalisasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Supit Urang Kota Malang**. Tugas Akhir Teknik Lingkungan. Surabaya : ITS
- Handayasari, I. 2015. **Stabilisasi Tanah pada Lahan Bekas Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah dengan Pemanfaatan Serbuk Limbah Botol Kaca Sebagai Bahan Campuran**. Jurnal Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik- PLN.
- Hardyanto, E, DAN Hairiah, K. 2008. Biologi Tanah : **Landasan Pengelolaan Tanah Sehat. Malang** : Pustaka Adipura
- Hermawati. 2011. **Analisis Kelayakan Finansial dan Ekonomi Terhadap Pelabuhan Sumba Tengah**. Jurnal Konstruksi. 3(1).
- Hernández Leal, L., Zeeman, G., Temmink, H., dan Buisman, C.J.N. 2007. **Characterisation And Biological Treatment Of Greywater**. Water Sci. Technol. 56,193–200.
- Hidayat, H., Sasmita, A., dan Reza, M. 2017. **Perencanaan Pembangunan Instalasi Lumur Tinja (IPLT) di Kecamatan Tampan Kota Pekanbaru Baru**. Jurnal Fakultas Teknik Universitas Riau, 4(1).
- Hlavinek, P., Ongken, B., Jiri. M., Ivana, M., 2007. **Dangerous Pollutants (Xenobiotics) in Urban Water Cycle**. Springer : Lednice, Czech Republic.
- Hoffman, H., Pkatzer, C., Winker, M., Von Muech, E. 2011. **Technology Review of Constructed Wetland**. Eschborn.
- Jacobs, J., M. Graves, J. Mangold. 2010. **Plant Guide for Paleyello Iris (*Iris Pseudacorus*)**. USDA- Natural Resouces Conservation Service, Montana State Office; Montana.
- Kementrian Kesehatan Republik Indonesia. 2018. **Sanitasi Total Berbasis Masyarakat**. Jakarta : Direktorat Kesehatan Lingkungan.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2018. **Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)**. Jakarta : Direktorat Jenderal Cipta Karya.
- Leady, B. 1997. **Constructed Subsurface Flow Wetlands for Wastewater Treatment**. Purdue University.

- Kiswanayani, A. V., Susanawati, L. D., Wirosodarmo, R. 2016. **Komposisi Sampah dan Potensi Emisi Gas Rumah Kaca pada Pengelolaan Sampah Domestik: Studi Kasus TPA Winongo Kota Madiun.** Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan. Universitas Brawijaya.
- Marbun, J. 2006. **Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Kota Merauke.** Tugas Akhir Teknik Lingkungan. Surabaya : ITS
- Mbéguéré, M., Gining, J.N., Dodane, P.H., dan Kone, D. 2010. **Socio-Economic Profile And Profitability Of Faecal Sludge Emptying Companies.** Elsevier 54, 1288-1295.
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2003. **Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik Nomor 112 Tahun 2003.** Jakarta : Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2016. **Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik Nomor 68 Tahun 2016.** Jakarta : Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2017. **Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4/PRT/M/2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik.** Jakarta : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia. 2013. **Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 03/PRT/M/2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Rumah Tangga.** Jakarta : Kementerian Pekerjaan Umum
- Metcalf dan Eddy, Inc. 1991. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse.** Dalam Hidayat, H., Sasmita, A., dan Reza, M. 2017. **Perencanaan Pembangunan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja**

- (IPLT) di Kecamatan Tampan Kota Pekanbaru.** Jurnal Fakultas Teknik Universitas Riau, 4(1).
- Mills, F., Blackett, I., dan Tayler, K. 2014. **Assessing on – site systems and sludge accumulation rates to understand pit emptying in Indonesia, Sustainable Water and Sanitation Service for All in a Fast Changing World .** 37<sup>th</sup> WEDC International Conference, Hanoi, Vietnam.
- Morel, A dan Diener, S. 2006. **Greywater Management in Low and Middle-Income Countries. Review of Different Treatment System for Households or Neighbourhoods.** Dübendorf: Swiss Federal Institut of Aquatic Science. Department of Water and Sanitation in Developing Countries.
- Palmquist, H dan Hanæus, J. 2005. **Hazardous substances in separately collected grey- and blackwater from ordinary Swedish households.** Science of The Total Environment, 348(1-3), 151–163.
- Paulo, P.L., Azevedo, C., Begosso, L., Galbiati, A.F., dan Boncz, M. A. 2013. **Natural systems treating greywater and blackwater on-site: Integrating treatment, reuse and landscaping.** Ecological Engineering, 50, 95–100.
- Pemerintah Daerah Kota Madiun. 2011. **Peraturan Daerah Kota Madiun Nomor 06 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Madiun Tahun 2010-2030.** Kota Madiun : Walikota Madiun.
- Pemerintah Daerah Kota Madiun. 2011. **Lampiran II Peraturan Daerah Kota Madiun Nomor 06 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Madiun Tahun 2010-2030.** Kota Madiun : Walikota Madiun.
- Pemerintah Daerah Kota Madiun. 2016. **Dokumen Environmental Health Risk Assesment (EHRA).** Kota Madiun : Dinas Kesehatan.
- Pemerintah Daerah Kota Madiun. 2017. **Strategi Sanitasi Kota (SSK) Madiun dalam Percepatan Pembangunan Sanitasi Pemukiman (PPSP).** Kota Madiun : Dinas Lingkungan Hidup.
- Pemerintah Daerah Kota Madiun. 2018. **Profil Kesehatan Kota Madiun Tahun 2017.** Kota Madiun : Dinas Kesehatan.

- Prawira, J. 2015. **Efektifitas Sistem Lahan Basah Buatan Sebagai Alternatif Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Tumbuhan Hias *Iris Pseudacores L.*** Skripsi. Universitas Maritim Raja Ali Haji, Riau.
- Oktarina, D dan Haki, H. 2013. **Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Sistem Kolam Kota Palembang (Studi Kasus : IPLT Sukawinatan).** Jurnal Sipil dan Lingkungan, 1(1).
- Risnawati, Damanhuri. 2009. **Penyisihan Logam pada Lindi Menggunakan *Constructed Wetland*.** Bandung: Institut Teknologi Bandung/
- Salsabilla, Z., Rispianingtati, dan Juwono, P. 2017. **Studi Kelayakan Ekonomi Pembangunan *Longstorage* Kali Mati Kabupaten Sidoarjo.** Jurnal Teknik Fakultas Teknik Pengairan Universitas Brawijaya.
- Strande, L., Ronteltap, M., dan Brdjanovic, D. 2014. **Faecal Sludge Management “System Approach for Implementation and Operation.** London : IWA Publishing
- Supradata. 2005. **Pengelolaan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Rumput Hias (*Cyperus alterifous L*) dengan Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan.** Tesis Magister Ilmu Lingkungan. Semarang : Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.
- Suryanto, A. S. 2018. **Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Skala Kota di Kota Bandung.** Jurnal Rekayasa Infrastruktur Lingkungan. Institut Teknologi Bandung.
- Suswati, A., G. Wibisono, A. Masrevaniah, D. Arfianti. 2012. **Analisis Luasan *Constructed Wetland* Menggunakan Tanaman Iris dalam Mengolah Air Limbah Domestik (*Grey Water*).** Indonesia Green Technology Journal, 1 (3):1-7.
- Tangahu, B.V dan Warmadewanthi, I.D.A.A. 2001. **Pengelolaan Limbah Rumah Tangga dengan Memanfaatkan Tanaman Cattail (*Typha angustifolia*) dalam Sistem *Constructed Wetland*.** Jurnal Purifikasi, Volume 2 No 3, ITS – Surabaya.

- Tastan, E. O., Edil, T. B., Benson, C. H., dan Aydileks, A.H. 2011. **Stabilization Of Organic Soils With Fly Ash**. Journal of Geotechnical and Enviromental Engineering, ASCE.
- Vymazal, J. 2001. **Constructed Wetland for Wastewater treatment in the Czech Republic**. Water Science and Technology. 44:369-374.
- Wardhana, I.W. 2009. **Evaluasi dan Optimalisasi Instalasi Pengolahan Limbah Tinja Kota Pekalongan**. Semarang: Universitas Diponegoro.

## **LAMPIRAN 1**

### **LEMBAR KUISIONER**

Saya Emilia Firdaus Dahniar, mahasiswa Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, sehubungan untuk memenuhi data Tugas Akhir/Skripsi saya yang berjudul "Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kota Madiun", maka saya memohon kesediaan Bapak/Ibu/Saudara/i meluangkan waktu dalam mengisi kuisisioner ini. Penelitian ini semata-mata bersifat ilmiah, dan hanya diperlukan untuk keperluan penyusunan tugas akhir/skripsi. Disamping itu juga, diharapkan hasil penelitian ini dapat memberi masukan bagi penulis.

Saya memohon kesediaan Bapak/Ibu/Saudara/i untuk menjawab semua pertanyaan yang ada secara jujur dan terbuka. Peneliti menjamin kerahasiaan identitas dan setiap jawaban responden.

Atas segala bantuan dan partisipasi yang Bapak/Ibu/Saudara/i berikan, saya mengucapkan terimakasih.

#### **IDENTITAS RESPONDEN**

1. Nama
2. Alamat  
Jalan  
Kelurahan  
Kecamatan
3. Jumlah Anggota Keluarga ..... Jiwa
4. Usia ..... Tahun
5. Jenis Kelamin  
L / P
6. Pekerjaan
  - a. Pegawai Negeri Sipil (PNS)
  - b. Pegawai Swasta
  - c. Wiraswasta
  - d. Serabutan
  - e. Lainnya
7. Pendidikan Terakhir
  - a. S1/D4
  - b. D3
  - c. SMA
  - d. SMP
  - e. Sekolah DasarLainnya :

### **Data Sanitasi Tangki Septik**

1. Apakah Bapak/Ibu/Saudara/i menggunakan tangki septik ?
  - a. Ya
  - b. Tidak

#### **Jika Jawaban Ya**

2. Dimana posisi tangki septik Bapak/Ibu/Saudara/i diletakkan ?
  - a. Luar bangunan
  - b. Dalam bangunan
  - c. Lainnya :
3. Darimanakah sumber air bersih yang Bapak/Ibu/Saudara/i gunakan ?
  - a. PDAM
  - b. Air tanah/sumur
  - c. Lainnya.
4. Berapa ukuran tangki septik yang Bapak/Ibu/Saudara/i gunakan ?
  - a. ..... m<sup>3</sup> (panjang.....m; lebar.....m; kedalaman.....m)
  - b. Tidak tahu
6. Terbuat dari apa bahan material atau konstruksi tangki septik Bapak/Ibu/Saudara/i ?
  - a. Cor beton / buis beton
  - b. Plastik atau *Fiberglass*
  - c. Pasangan batu bata
  - d. Tanpa pasangan / hanya galian
7. Apakah tangki septik Bapak/Ibu/Saudara/i terdapat lubang akses sedot tinja ?
  - a. Ya
  - b. Tidak
8. Apakah Bapak/Ibu/Saudara/i pernah melakukan pengurasan tangki septik ?
  - a. Ya
  - b. Tidak

#### **Jika Jawaban Ya**

1. Kapan terakhir Bapak/Ibu/Saudara/i melakukan pengurasan tangki septik ?



- a. ....tahun lalu
2. Berapa tahun sekali melakukan pengurasan tangki septik ?
  - a. 1 - 3 tahun
  - b. 3 - 5 tahun
  - c. 5 - 10 tahun
  - d. Lainnya.....
3. Cara untuk melakukan pengurasan tangki septik ?
  - a. Pribadi
  - b. Layanan Jasa Sedot Tinja (Truk tinja)
  - c. Memanggil tukang
4. Berapa ongkos yang dikeluarkan untuk melakukan pengurasan tangki septik ?
  - a. Rp...../m<sup>3</sup> / borongan / strip

**Jika Jawaban Tidak**

1. Mengapa Bapak/Ibu/Saudara/i tidak melakukan pengurasan ?
  - a. Alirannya tetap lancar
  - b. Ukurannya besar
  - c. Untuk ternak
  - d. Lainnya.....

**Data Kemauan Melakukan Pengurasan Tangki Septik**

1. Apabila Kota Madiun memiliki sebuah IPLT apakah Bapak/Ibu/Saudara/i berkenan melakukan pengurasan tangki septik ?
  - a. Ya
  - b. Tidak
2. Berapa kemampuan atau keinginan Bapak/Ibu/Saudara/i untuk ongkos pengurasan tangki septik ?
  - a. Rp. 50.000 – Rp. 100.000/m<sup>3</sup>
  - b. Rp. 100.000 – Rp. 150.000/m<sup>3</sup>
  - c. Rp. 150.000 – Rp. 200.000/m<sup>3</sup>
  - d.

**Data Kesehatan Masyarakat**

1. Apakah Bapak/Ibu/Saudara/i selama ini pernah mengalami permasalahan air bersih ?
  - a. Bau
  - b. Warna keruh

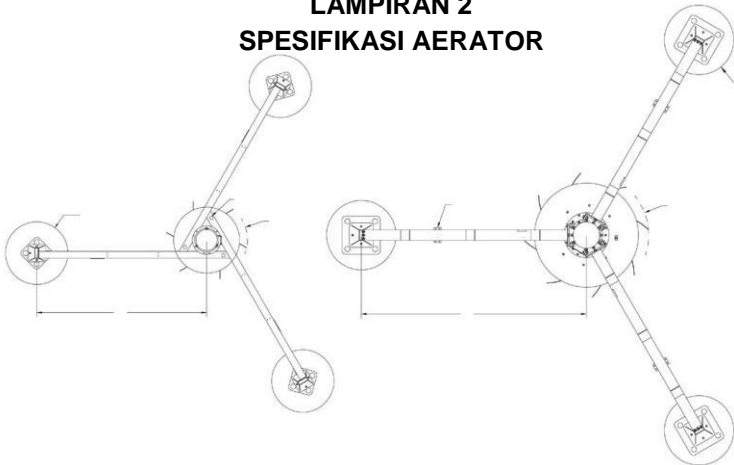
- c. Lainnya.....
- 2. Apakah penyakit yang Bapak/Ibu/Saudara/i atau keluarga sering alami ?
  - a. Diare
  - b. Tipus
  - c. Gatal – gatal
  - d. Lainnya....
- 3. Berapa kali Bapak/Ibu/Saudara/i atau keluarga mengalami diare dalam setahun ?
  - a. 1-3 kali
  - b. 4-6 kali
  - c. Lebih dari 6 kali
- 4. Berapa rata – rata biaya Bapak/Ibu/Saudara/i keluarkan untuk berobat dalam sekali sakit ?
  - a. < Rp.50.000
  - b. Rp. 50.000 – Rp. 100.000
  - c. Rp. 100.000 – Rp. 200.000
  - d. > Rp. 200.000

**LEMBAR KUISIONER**  
**PENYEDIA JASA LAYANAN SEDOT TINJA**

1. Sejak kapan jasa layanan sedot tinja ini beroperasi ?
  - a. Tahun.....
2. Berapa jumlah truk tinja yang beroperasi ?
  - a. .... unit
2. Berapa volume tangki truk tinja yang biasa digunakan ?
  - a. .... m<sup>3</sup>
3. Sejauh mana jangkauan layanan truk tinja yang dapat dilayani ?
  - a. Dalam kota
  - b. Luar kota
4. Dalam satu hari berapa KK yang biasa dilayani ?
  - a. 1 – 2
  - b. Lebih dari 2 (.....)
  - c. Tidak ada
5. Dimana lumpur tinja pengurasan tangki septik di buang ?
  - a. IPLT
  - b. Lahan kosong
  - c. Sungai
  - d. Lainnya.....
6. Berapa biaya layanan sedot tinja sekali pengurasan ?
  - a. Rp...../m<sup>3</sup>
  - b. Rp...../Strip
  - c. Rp...../Truk

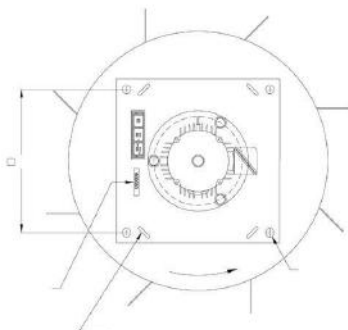
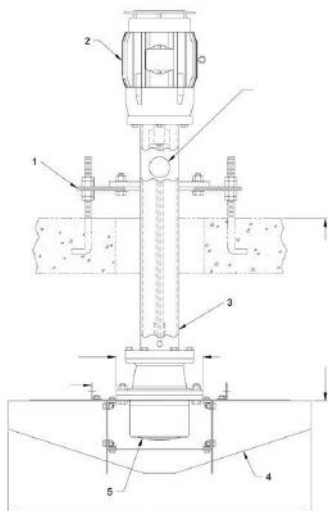
**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## LAMPIRAN 2 SPESIFIKASI AERATOR



Model	Horse-power		Service Factor		O2/Hour :		ØA	ØA	B	ØC	Weight					
	hp	kw	60hz	50hz	lb	kg	1800 rpm input	1500 rpm input			in	mm	in	mm	lb	kg
NSA1-08	7.5	5.6	6.50	5.40	26	12	42	1,067	46	1,168	98	2,489	38	965	1,047	475
NSA1-10	10	7.5	4.90	4.06	35	16	46	1,168	49	1,245	98	2,489	38	965	1,112	504
NSA1-15	15	11	3.25	2.70	53	24	49	1,245	52	1,321	98	2,489	38	965	1,203	546
NSA1-20	20	15	2.44	2.03	70	32	52	1,321	57	1,448	98	2,489	38	965	1,253	568
NSA2-25	25	19	3.84	3.20	88	40	68	1,727	74	1,880	130	3,302	40	1,016	1,960	889
NSA2-30	30	22	3.20	2.67	105	48	72	1,829	78	1,981	130	3,302	40	1,016	2,100	952
NSA2-40	40	30	2.40	2.00	140	63	76	1,930	83	2,108	169	4,280	46	1,168	2,558	1,160
NSA2-50	50	37	1.92	NR	175	79	80	2,032	NR	NR	169	4,280	46	1,168	2,682	1,216
NSA3-50	50	37	3.07	2.56	175	79	86	2,184	96	2,438	169	4,280	46	1,168	3,046	1,381
NSA3-60	60	45	2.56	2.13	210	95	88	2,235	99	2,515	169	4,280	46	1,168	3,284	1,480
NSA3-75	75	56	2.05	NR	263	119	91	2,311	102	2,591	169	4,280	46	1,168	3,500	1,587
NSA4-75	75	56	4.78	3.96	263	119	116	2,945	122	3,099	196	4,978	60	1,524	6,520	2,957
NSA4-100	100	75	3.59	2.97	350	159	122	3,089	130	3,302	196	4,978	60	1,524	6,847	3,105
NSA4-125	125	93	2.87	2.38	438	198	130	3,302	136	3,454	196	4,978	60	1,524	7,200	3,266
NSA4-150	150	112	2.39	1.98	525	238	136	3,454	144	3,658	196	4,978	60	1,524	7,700	3,492
NSA4-200	200	149	1.80	NR	700	317	144	3,658	NR	NR	196	4,978	60	1,524	8,400	3,810

Minimum recommended service factor is 1.3. At 1.0 service factor, gears have a theoretical infinite life.  
 \*Under standard conditions. Performance under field conditions may vary.  
 NR: Not recommended.



Model	Horse-power		Service Factor		O <sub>2</sub> /Hour		ØA 1800 rpm input		ØA 1500 rpm input		B		ØC		Weight	
	hp	kw	60hz	50hz	lb	kg	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	lb	kg
NSA1-08	7.5	5.6	6.50	5.40	26	12	42	1,067	46	1,168	98	2,489	38	965	1,047	475
NSA1-10	10	7.5	4.90	4.06	35	16	46	1,168	49	1,245	98	2,489	38	965	1,112	504
NSA1-15	15	11	3.25	2.70	53	24	49	1,245	52	1,321	98	2,489	38	965	1,203	546
NSA1-20	20	15	2.44	2.03	70	32	52	1,321	57	1,449	98	2,489	38	965	1,253	568
NSA2-25	25	19	3.84	3.20	88	40	68	1,727	74	1,880	130	3,302	40	1,016	1,990	889
NSA2-30	30	22	3.20	2.67	105	48	72	1,829	78	1,981	130	3,302	40	1,016	2,100	952
NSA2-40	40	30	2.40	2.00	140	63	76	1,930	83	2,108	169	4,280	46	1,168	2,598	1,160
NSA2-50	50	37	1.92	NR	175	79	80	2,032	NR	NR	169	4,280	46	1,168	2,682	1,216
NSA3-50	50	37	3.07	2.56	175	79	86	2,184	96	2,438	169	4,280	46	1,168	3,046	1,381
NSA3-60	60	45	2.56	2.13	210	95	88	2,235	99	2,515	169	4,280	46	1,168	3,264	1,480
NSA3-75	75	56	2.05	NR	263	119	91	2,311	102	2,591	169	4,280	46	1,168	3,500	1,587
NSA4-75	75	56	4.78	3.96	263	119	116	2,946	122	3,099	196	4,978	60	1,524	6,520	2,957
NSA4-100	100	75	3.59	2.97	350	159	122	3,099	130	3,302	196	4,978	60	1,524	6,847	3,105
NSA4-125	125	93	2.87	2.38	438	198	130	3,302	136	3,454	196	4,978	60	1,524	7,200	3,265
NSA4-150	150	112	2.39	1.98	525	238	136	3,454	144	3,658	196	4,978	60	1,524	7,700	3,492
NSA4-200	200	149	1.80	NR	700	317	144	3,658	NR	NR	196	4,978	60	1,524	8,400	3,810

Minimum recommended service factor is 1.8. At 1.0 service factor, gas has theoretical infinite life.  
 Under standard conditions. Performance under field conditions may vary.  
 NR: Not recommended.

## LAMPIRAN 3 DOKUMENTASI

### 1. Dokumentasi Lahan



### 2. Pengukuran Elevasi Tanah



Lowest altitude 74 m AMSL	Highest altitude 88 m AMSL	
 83	 64	 -
7°36'55"S	111°30'20"E	
Mangu Harjo, ID		

### 3. Pengambilan Sampel Lumpur Tinja





# LAMPIRAN 4 HASIL UJI LABORATORIUM

Certificate No. 03515/FOBOAM  
Date: March 15, 2019



Jl. Jend. A. Yani. No. 315 Surabaya 60234, Indonesia  
Phone/Fax: +62 31 8470547/8470563  
Email: lab@surabaya@sucofindo.co.id

## REPORT OF ANALYSIS

CLIENT : **EMILIA FIRDAUS DAHNIAR**  
Jl. Musholla 12, Kwangsen, Jiwon  
Madian

THE FOLLOWING SAMPLE (S) WERE/WAS SUBMITTED AND IDENTIFIED BY CLIENT AS :

TYPE OF SAMPLE : Waste Water

TEST REQUIRED : Ammoniac, Total Suspended Solid, pH, Oil & Grease, BOD, COD, Phosphat, Nitrogen and Coliform -  
\*) Decree of Ministry of Environment & Forestry of Indonesia of No. P. 68/Menisk/Setjen/Kum. 1/8/2016

SAMPLE IDENTIFICATION : The Following statement was stated by Client and not verified by SUCOFINDO  
" Lumpur Tinja "

DATE OF RECEIVED : February 18, 2019

DESCRIPTION OF SAMPLE : Form : Liquid  
Weight/Volume : 3 L  
Packing : Plastic Bottle

PERIOD OF ANALYSIS : February 18 up to March 04, 2019

We have tested the submitted sample (s) and the following results were obtained :

Parameters	Unit	Test Results	Requirements of Domestic Waste Water	Test Methods
<b>Microbiological :</b>				
• Coliform	MPN/100 mL	> 1600	3000	9221 B # # )
<b>Physical &amp; Chemical :</b>				
• Total Suspended Solid	mg/L	12640	30	2540 D #)
• pH (**)	-	7.88	6 - 9	4500-H <sup>-</sup> -B #)
• BOD, 5 days 20°C	mg/L	5972	30	5210 B #)
• COD by K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	mg/L	21514	100	5220 B #)
• Oil & Grease	mg/L	49.0	5	5520 B #)
• Ammoniac (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	10.1	10	4500-NH <sub>3</sub> -F #)
• Phosphat (PO <sub>4</sub> )	mg/L	8.81	-	4500 P C
• Nitrogen	mg/L	894	-	4500-N <sub>org</sub> -B

#) Standard Methods, 23<sup>rd</sup> Edition, 2017  
APHA-AWWA-WEF  
#) Standard Methods, 22<sup>nd</sup> Edition, 2012  
APHA-AWWA-WEF

\*) Excluded parameters accredited  
\*\*) pH measured at Sucofindo Laboratory Sucofindo

The test results relate to the submitted sample (s) only and the report/certificate can not be reproduced in any way, except in full context and with prior approval in writing from Sucofindo Laboratory.

This Certificate/report is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at [www.sucofindo.co.id](http://www.sucofindo.co.id)

Dept. of Commercial 3 - Testing & Eco-Framework

7103061900498



3141117

SCI-2007A

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

**LAMPIRAN 5**  
**ANALISIS KELAYAKAN**

No	Uraian	Tahun				
		2019	2020	2021	2022	2023
<b>A</b>	<b>Pelayanan Penduduk</b>					
A.1	Jumlah Penduduk (Jiwa)	177.567	178.301	179.035	179.769	180.503
A.2	Tingkat Pelayanan (%)	32	34	36	38	40
A.3	Jumlah Penduduk Terlayani (Jiwa)	56.821	60.622	64.453	68.312	72.201
A.4	Jumlah Penduduk Terlayani (KK) per tahun	4.735	5.052	5.371	5.693	6.017
<b>B.</b>	<b>PENDAPATAN</b>					
B.1	Retribusi (Kenaikan 6 % per 3 tahun)			1	1	1
	Retribusi (Rp)			100.000	100.000	100.000
	Biaya retribusi (Rp)			537.105.000	569.268.500	601.676.667
B.2	Biaya kesehatan (Rp)			3.222.630.000	3.415.611.000	3.610.060.000
B.3	Perbaikan lingkungan (Rp)			11.250.000	11.250.000	11.250.000
B.4	Pemanfaatan lumpur sebagai pupuk (Rp)			506.588.000	506.588.000	506.588.000
B.5	<b>TOTAL PENDAPATAN</b>			4.277.673.000	4.502.817.500	4.729.674.667
<b>C.</b>	<b>PENGELUARAN</b>					
C.1	Biaya Pembuatan Detail Engineering Desain (Rp)	300.000.000				
C.2	Biaya Konstruksi (Rp)		2.325.000.000			
C.3	Pengadaan Alat Berat (Rp)		100.000.000			
C.4	Biaya Operasional (Rp./m3) (meningkat 2% per tahun)			426.725.280	435.259.786	443.964.981
C.5	<b>TOTAL PENGELUARAN (Rp)</b>	300.000.000	2.425.000.000	426.725.280	435.259.786	443.964.981

\*Lanjutan

No	Uraian	Tahun				
		2024	2025	2026	2027	2028
<b>A</b>	<b>Pelayanan Penduduk</b>					
A.1	Jumlah Penduduk (Jiwa)	181.237	181.971	182.705	183.439	184.173
A.2	Tingkat Pelayanan (%)	42	44	46	48	50
A.3	Jumlah Penduduk Terlayani (Jiwa)	76.120	80.067	84.044	88.051	92.087
A.4	Jumlah Penduduk Terlayani (KK) per tahun	6.343	6.672	7.004	7.338	7.674
<b>B.</b>	<b>PENDAPATAN</b>					
B.1	Retribusi (Kenaikan 6 % per 3 tahun)					
	Retribusi (Rp)	112.000	112.000	112.000	118.000	118.000
	Biaya retribusi (Rp)	710.449.040	747.294.240	784.413.467	865.832.080	905.517.250
B.2	Biaya kesehatan (Rp)	3.805.977.000	4.003.362.000	4.202.215.000	4.402.536.000	4.604.325.000
B.3	Perbaikan lingkungan (Rp)	11.250.000	11.250.000	11.250.000	11.250.000	11.250.000
B.4	Pemanfaatan lumpur sebagai pupuk (Rp)	506.588.000	506.588.000	506.588.000	506.588.000	506.588.000
B.5	<b>TOTAL PENDAPATAN</b>	5.034.376.040	5.268.606.240	5.504.578.467	5.786.324.080	6.027.798.250

No	Uraian	Tahun				
		2024	2025	2026	2027	2028
<b>C.</b>	<b>PENGELUARAN</b>					
C.1	Biaya Pembuatan Detail Engineering Desain (Rp)					
C.2	Biaya Konstruksi (Rp)					
C.3	Pengadaan Alat Berat (Rp)					
C.4	Biaya Operasional (Rp./m3)	452.884.281	461.901.167	471.139.190	480.561.974	490.173.213
	(meningkat 2% per tahun)					
C.5	<b>TOTAL PENGELUARAN (Rp)</b>	452.884.281	461.901.167	471.139.190	480.561.974	490.173.213

\*Lanjutan

No	Uraian	Tahun				
		2029	2030	2031	2032	2033
<b>A</b>	<b>Pelayanan Penduduk</b>					
A.1	Jumlah Penduduk (Jiwa)	184.907	185.641	186.375	187.109	187.843
A.2	Tingkat Pelayanan (%)	52	54	56	58	60
A.3	Jumlah Penduduk Terlayani (Jiwa)	96.152	100.246	104.370	108.523	112.706
A.4	Jumlah Penduduk Terlayani (KK) per tahun	8.013	8.354	8.698	9.044	9.392
<b>B.</b>	<b>PENDAPATAN</b>					
B.1	Retribusi (Kenaikan 6 % per 3 tahun)					
	Retribusi (Rp)	118.000	124.000	124.000	124.000	130.000
	Biaya retribusi (Rp)	945.491.127	1.035.876.780	1.078.490.000	1.121.406.607	1.220.979.500
B.2	Biaya kesehatan (Rp)	4.807.582.000	5.012.307.000	5.218.500.000	5.426.161.000	5.635.290.000
B.3	Perbaikan lingkungan (Rp)	11.250.000	11.250.000	11.250.000	11.250.000	11.250.000
B.4	Pemanfaatan lumpur sebagai pupuk (Rp)	506.588.000	506.588.000	506.588.000	506.588.000	506.588.000
B.5	<b>TOTAL PENDAPATAN</b>	6.271.029.127	6.566.145.780	6.814.952.000	7.065.529.607	7.374.237.500
<b>C.</b>	<b>PENGELUARAN</b>					
C.1	Biaya Pembuatan Detail Engineering Desain (Rp)					
C.2	Biaya Konstruksi (Rp)					
C.3	Pengadaan Alat Berat (Rp)					
C.4	Biaya Operasional (Rp./m3)	499.976.677	509.976.211	520.175.735	530.579.250	541.190.835
	(meningkat 2% per tahun)					
C.5	<b>TOTAL PENGELUARAN (Rp)</b>	499.976.677	509.976.211	520.175.735	530.579.250	541.190.835

\*Lanjutan

No	Uraian	Tahun				
		2034	2035	2036	2037	2038
<b>A</b>	<b>Pelayanan Penduduk</b>					
A.1	Jumlah Penduduk (Jiwa)	188.577	189.311	190.045	190.779	191.513
A.2	Tingkat Pelayanan (%)	62	64	66	68	70
A.3	Jumlah Penduduk Terlayani (Jiwa)	116.918	121.159	125.430	129.730	134.059
A.4	Jumlah Penduduk Terlayani (KK) per tahun	9.743	10.097	10.452	10.811	11.172

No	Uraian	Tahun				
		2034	2035	2036	2037	2038
<b>B.</b>	<b>PENDAPATAN</b>					
B.1	Retribusi (Kenaikan 6 % per 3 tahun)					
	Retribusi (Rp)	130.000	130.000	136.000	136.000	136.000
	Biaya retribusi (Rp)	1.266.608.850	1.312.556.267	1.421.536.600	1.470.270.160	1.519.336.467
B.2	Biaya kesehatan (Rp)	5.845.887.000	6.057.952.000	6.271.485.000	6.486.486.000	6.702.955.000
B.3	Perbaikan lingkungan (Rp)	11.250.000	11.250.000	11.250.000	11.250.000	11.250.000
B.4	Pemanfaatan lumpur sebagai pupuk (Rp)	506.588.000	506.588.000	506.588.000	506.588.000	506.588.000
B.5	<b>TOTAL PENDAPATAN</b>	<b>7.630.463.850</b>	<b>7.888.476.267</b>	<b>8.210.995.600</b>	<b>8.474.730.160</b>	<b>8.740.265.467</b>
<b>C.</b>	<b>PENGELUARAN</b>					
C.1	Biaya Pembuatan Detail Engineering Desain (Rp)					
C.2	Biaya Konstruksi (Rp)					
C.3	Pengadaan Alat Berat (Rp)					
C.4	Biaya Operasional (Rp./m3) (meningkat 2% per tahun)	552.014.652	563.054.945	574.316.044	585.802.364	597.518.412
C.5	<b>TOTAL PENGELUARAN (Rp)</b>	<b>552.014.652</b>	<b>563.054.945</b>	<b>574.316.044</b>	<b>585.802.364</b>	<b>597.518.412</b>

Sumber : Hasil perhitungan

### Perhitungan ENPV dan EBCR

Tingkat bunga ( % / Tahun )							
<b>12</b>							
Periode ( N )	0	1	2	3	4	5	6
Single Payment Present Worth Factor ( P/F , i % , N )	1	0,892857143	0,797193878	0,711780248	0,635518078	0,567426856	0,506631121
NPV Pendapatan ( NPV in )	-	-	3.410.134.726	3.205.016.556	3.005.793.756	2.856.640.167	2.669.239.886
NPV Pengeluaran (NPV out)	(300.000.000)	(2165.178.571)	(340.182.781)	(309.809.318)	(282.147.772)	(256.956.006)	(234.013.506)

\*Lanjutan

Tingkat bunga ( % / Tahun )							
<b>12</b>							
Periode ( N )	7	8	9	10	11	12	13
Single Payment Present Worth Factor ( P/F , i % , N )	0,452349215	0,403883228	0,360610025	0,321973237	0,287476104	0,256675093	0,22917419
NPV Pendapatan ( NPV in )	2.489.991.750	2.336.999.248	2.173.684.478	2.019.103.545	1.887.610.008	1.749.228.438	1.619.237.025
NPV Pengeluaran (NPV out)	(213.119.443)	(194.090.921)	(176.761.375)	(160.979.109)	(146.605.974)	(133.516.155)	(121.595.070)

\*Lanjutan

Tingkat bunga ( % / Tahun )						
<b>12</b>						
Periode ( N )	14	15	16	17	18	19

Single Payment Present Worth Factor ( P/F , i % , N)	0,204619813	0,182696261	0,163121662	0,145644341	0,13003959	0,116106777
NPV Pendapatan ( NPV in )	1.508.915.095	1.394.057.217	1.286.781.358	1.195.885.043	1.102.050.436	1.014.804.053
NPV Pengeluaran (NPV out)	(110.738.367)	(100.851.013)	(91.846.458)	(83.645.882)	(76.177.499)	(69.375.937)

NPV	
Total NPV in	<b>36.925.172.784</b>
Total NPV out	<b>5.567.591.158</b>
ENPV	<b>31.357.581.626</b>
EBCR	<b>6.6</b>

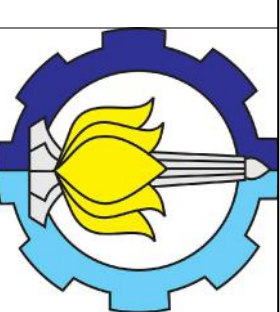
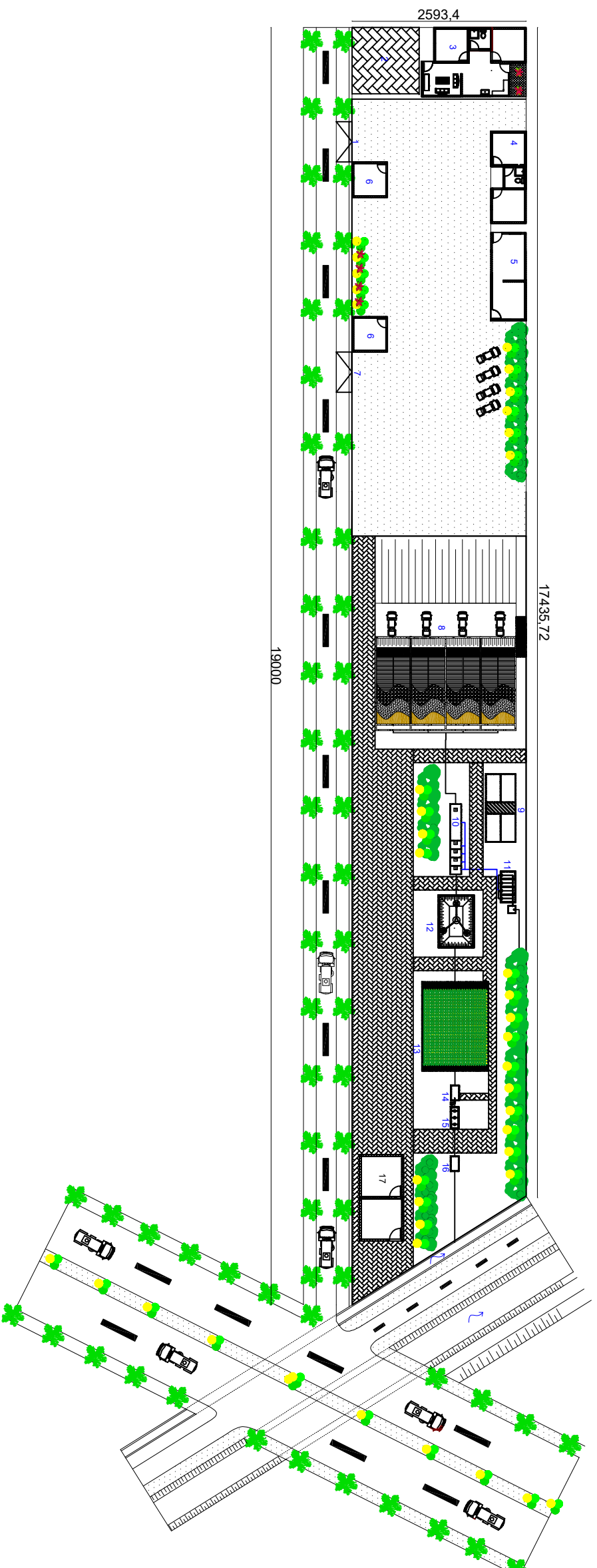
## BIOGRAFI PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Emilia Firdaus Dahniar namun lebih dikenal dengan nama Emilia. Lahir di Madiun pada tanggal 30 April 1997. Tumbuh dan berkembang di Kota Madiun, mengenyam pendidikan di MI Islamiyah 03 Madiun pada Tahun 2004 – 2009, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 3 Madiun pada tahun 2009 – 2012, dilanjutkan ke jenjang SMA yaitu di SMAN 2 Madiun pada tahun 2012 – 2015. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di S1 Departemen Teknik

Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT Badak *Natural Gas Liquefaction* (NGL), Bontang, Kalimantan Timur selama dua bulan dan melakukan studi terkait “*Hazardouswaste Decontamination*”. Selama perkuliahan penulis aktif menjadi asisten laboratorium Departemen Teknik Lingkungan bidang Mikrobiologi Lingkungan. Penulis aktif berorganisasi diantaranya bergabung pada Komunitas Kelompok Pecinta dan Pemerhati Lingkungan (KPPL), dan Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Periode 2017. Selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan pengembangan diri, seperti LKMM Pra Tingkat Dasar (Pra TD), pelatihan Sistem Manajemen Lingkungan (SMK3), pelatihan keprofesian, serta kepanitian di lingkup departemen, fakultas, institut. Penulis berharap segala bentuk komunikasi yang ingin disampaikan, baik mengenai tugas akhir maupun saran dapat dikomunikasikan langsung kepada penulis melalui e-mail [emiliafdhrs@gmail.com](mailto:emiliafdhrs@gmail.com).



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

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPL T) DI KOTA MADIUN

### LEGENDA

- 1 : JALAN INSPEKSI
- 2 : PINTU MASUK
- 3 : LAHAN PARKIR
- 4 : KANTOR OPERASIONAL
- 5 : MUSHOLLA
- 6 : LABORATORIUM
- 7 : POS SATPAM
- 8 : PINTU KELUAR
- 9 : UNIT SSC
- 10 : UNIT DRYING AREA
- 11 : UNIT ABR
- 12 : UNIT SDB
- 13 : UNIT AERATED LAGOON
- 14 : UNIT CONSTRUCTED WETLAND
- 15 : UNIT BAK PENAMPUNG
- 16 : UNIT DESINFEKSI
- 17 : UNIT BAK INSPEKSI
- 18 : RUANG SIMPAN ALAT DAN  
PEMELIHARAAN

### DOSEN PEMBIMBING

Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

### MAHASISWA

EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

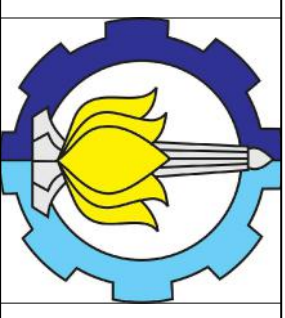
### JUDUL GAMBAR

LAYOUT INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA KOTA MADIUN

SKALA HALAMAN

1:750 1





DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMAHKANDUAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPL T) DI KOTA MADIUN

**LEGENDA**

- 1 : JALAN INSPEKSI
- 2 : PINTU MASUK
- 3 : LAHAN PARKIR
- 4 : KANTOR OPERASIONAL
- 5 : MUSHOLLA
- 6 : LABORATORIUM
- 7 : POS SATPAM
- 8 : PINTU KELUAR
- 9 : UNIT SSC
- 10 : UNIT DRYING AREA
- 11 : UNIT ABR
- 12 : UNIT SDB
- 13 : UNIT AERATED LAGOON
- 14 : UNIT CONSTRUCTED WETLAND
- 15 : UNIT BAK PENAMPUNG
- 16 : UNIT DESINFEKSI
- 17 : UNIT BAK INSPEKSI
- 18 : RUANG SIMPAN ALAT DAN  
PEMELIHARAAN

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

**MAHASISWA**

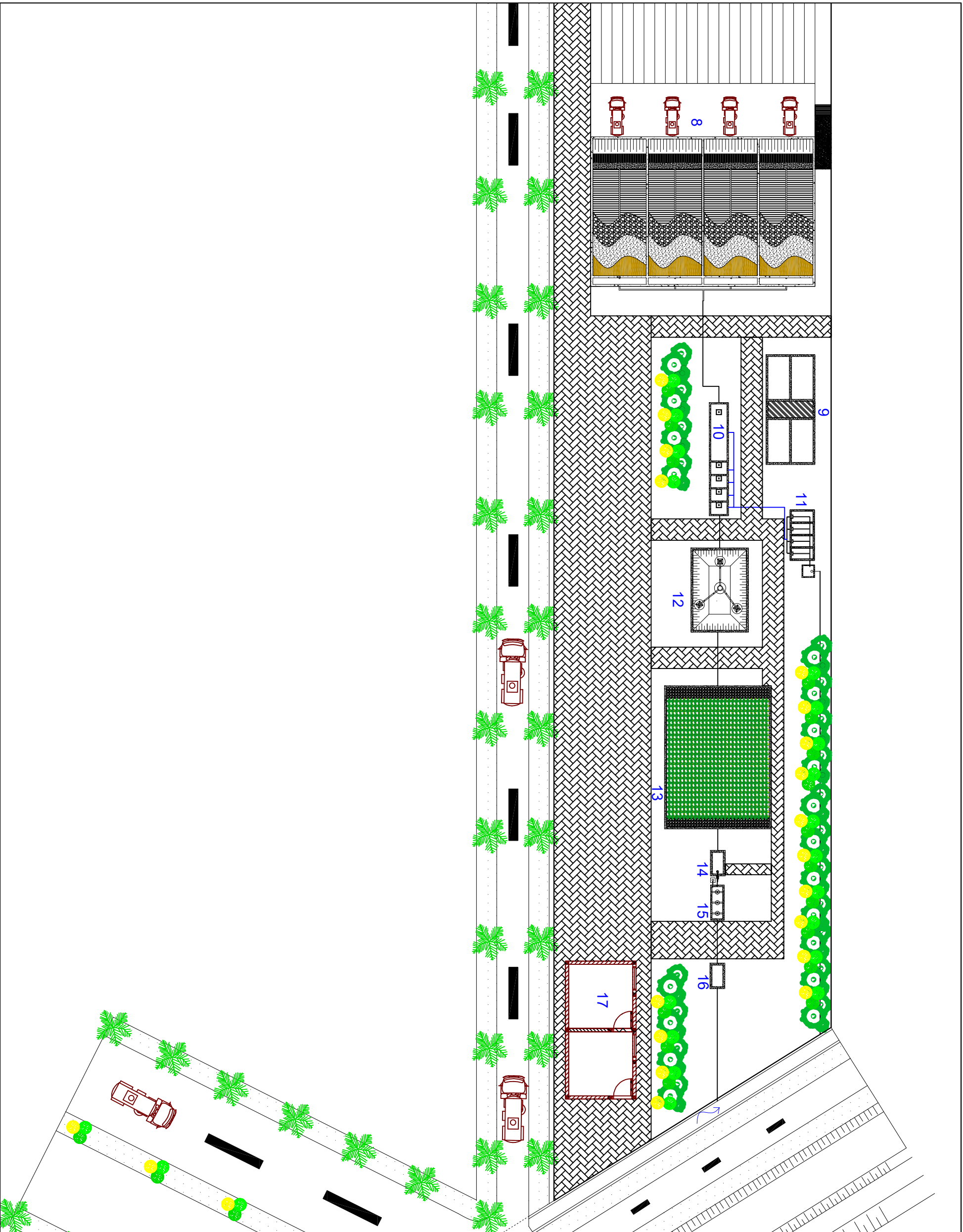
EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211544000018

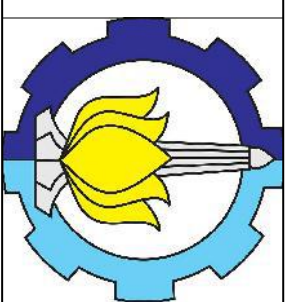
**JUDUL GAMBAR**

DETAIL  
LAYOUT INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA KOTA MADIUN

**SKALA**                      **HALAMAN**

1:350                              2








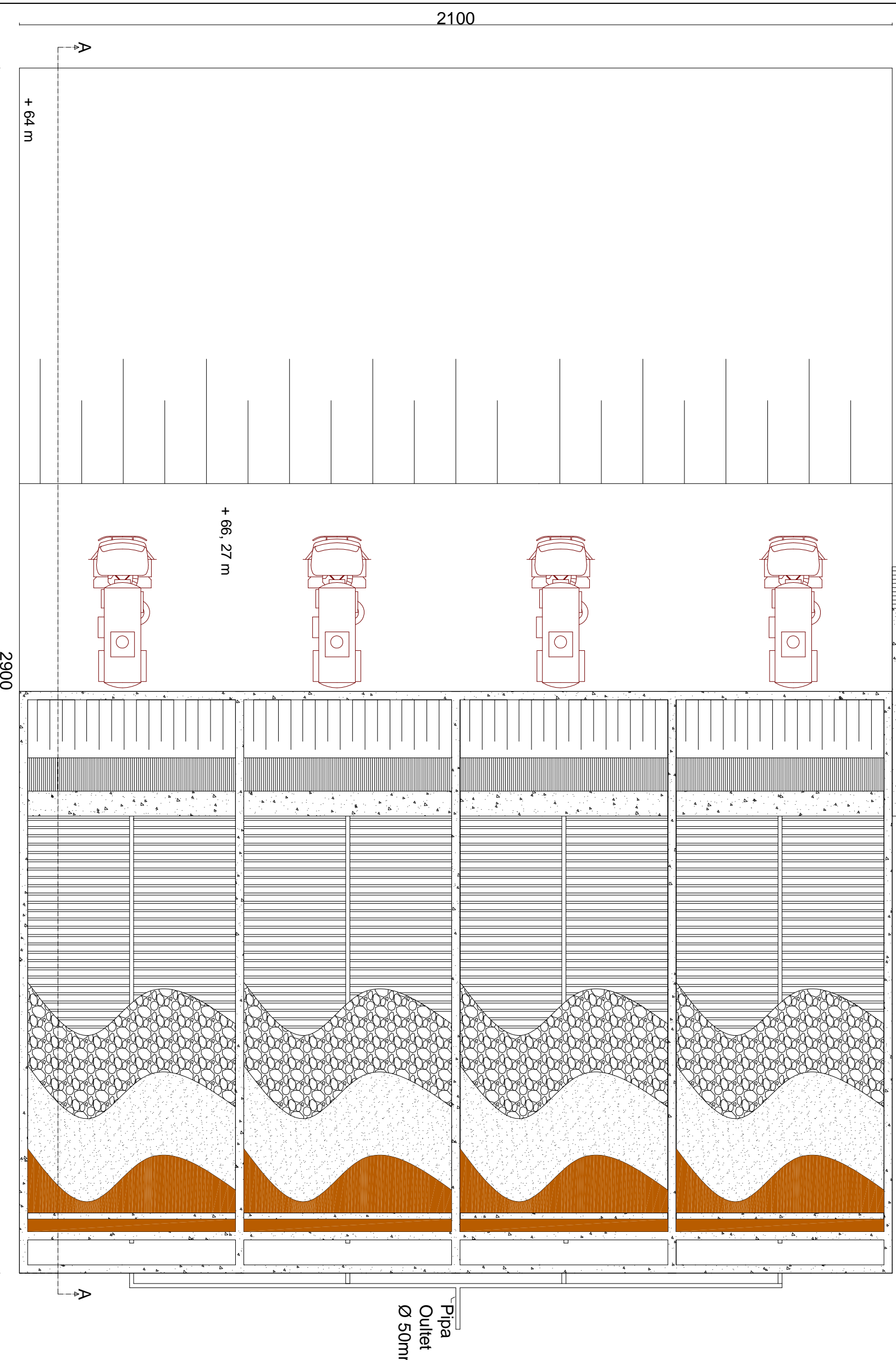


DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADJUN

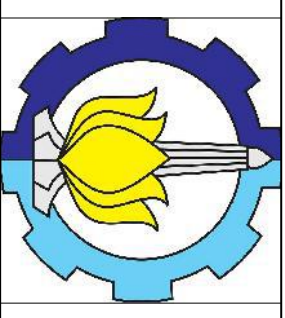
**LEGENDA**

-  : LAPISAN BETON
-  : LAPISAN GRAVEL
-  : LAPISAN PASIR
-  : LAPISAN CAKE
-  : BAR SCREEN



LAYOUT UNIT SOLID SEPARATION CHAMBER (SSC)  
SKALA 1 : 100






<p>LAYOUT UNIT SOLID SEPARATION CHAMBER (SSC)</p>		<p><b>SKALA</b></p>		<p><b>HALAMAN</b></p>	
		<p>1 : 100</p>		<p>3</p>	
<p><b>DOSEN PEMBIMBING</b></p>					
<p>Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng</p>					
<p><b>MAHASISWA</b></p>					
<p>EMILIA FIRDAUS DAHNIAR NRP 03211540000018</p>					
<p><b>JUDUL GAMBAR</b></p>					
<p>LAYOUT UNIT SOLID SEPARATION CHAMBER (SSC)</p>					

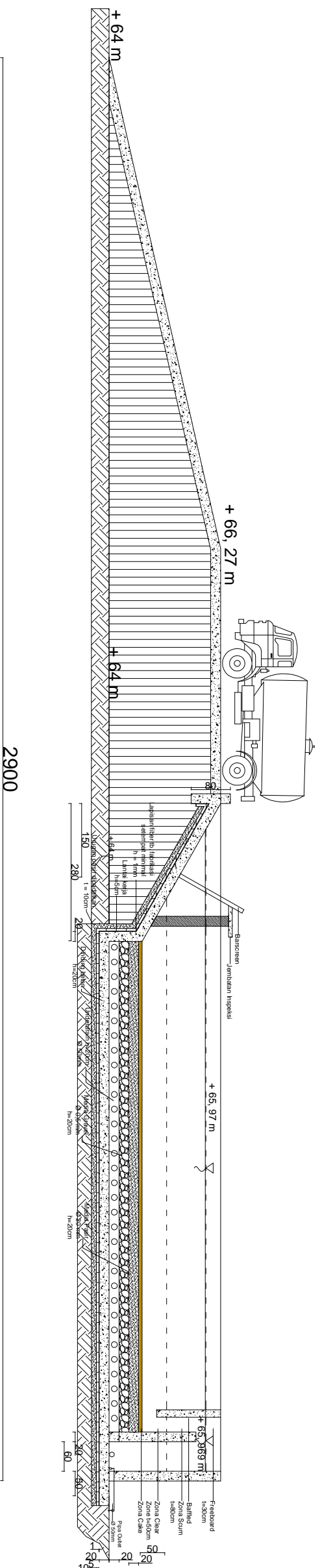


DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN  
DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADJUN

### LEGENDA

-  : LAPISAN BETON
-  : LAPISAN GRAVEL
-  : LAPISAN PASIR
-  : LAPISAN CAKE
-  : BAR SCREEN



### DOSEN PEMBIMBING

Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

### MAHASISWA

EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

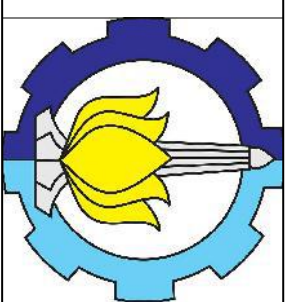
### JUDUL GAMBAR

POTONGAN A - A  
UNIT SOLID SEPARATION  
CHAMBER (SSC)

SKALA HALAMAN

1 : 100 4






POTONGAN A - A UNIT SOLID SEPARATION CHAMBER (SSC)  
SKALA 1 : 100

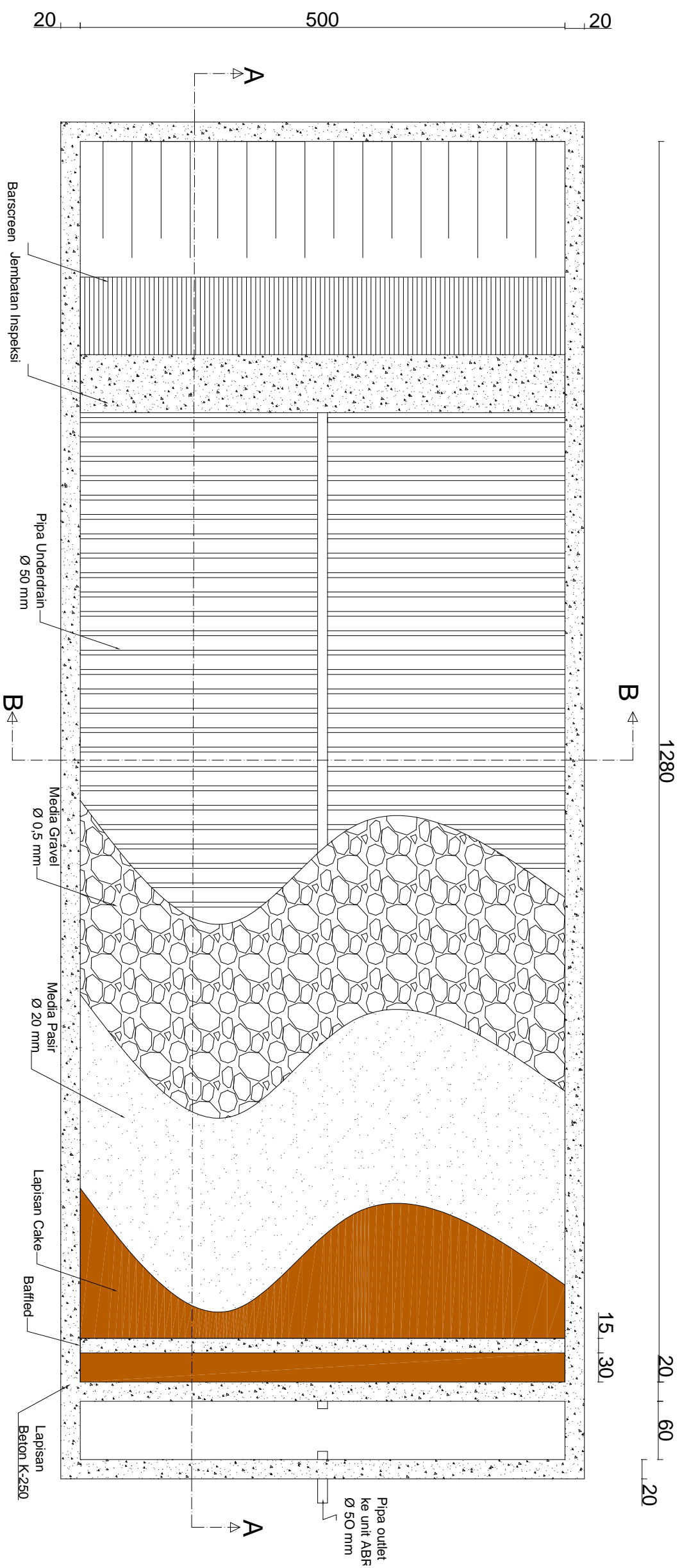


DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADIUN

**LEGENDA**

-  : LAPISAN BETON
-  : LAPISAN GRAVEL
-  : LAPISAN PASIR
-  : LAPISAN CAKE
-  : BAR SCREEN

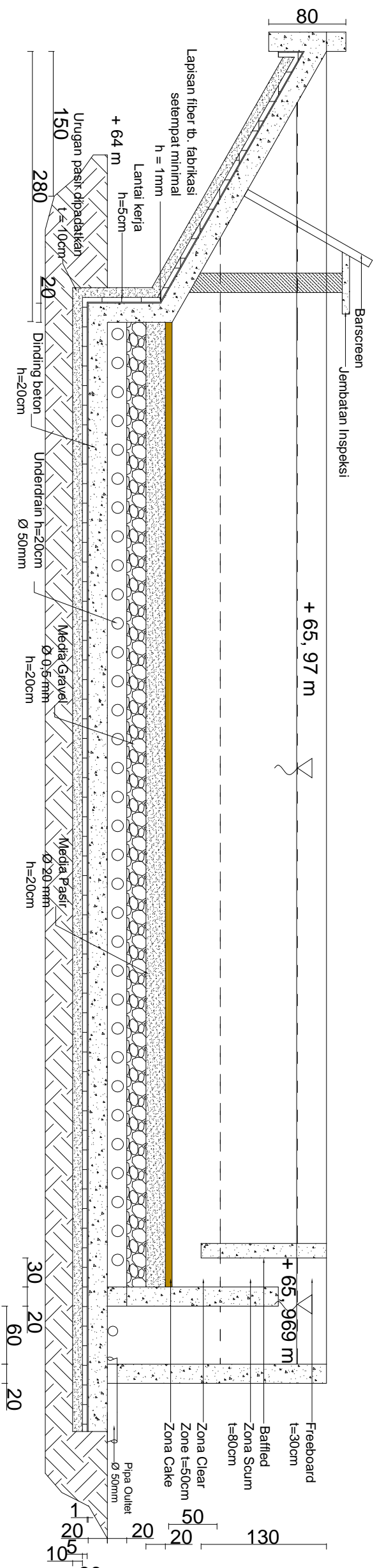


UNIT SOLID SEPARATION CHAMBER (SSC)  
SKALA 1 : 50

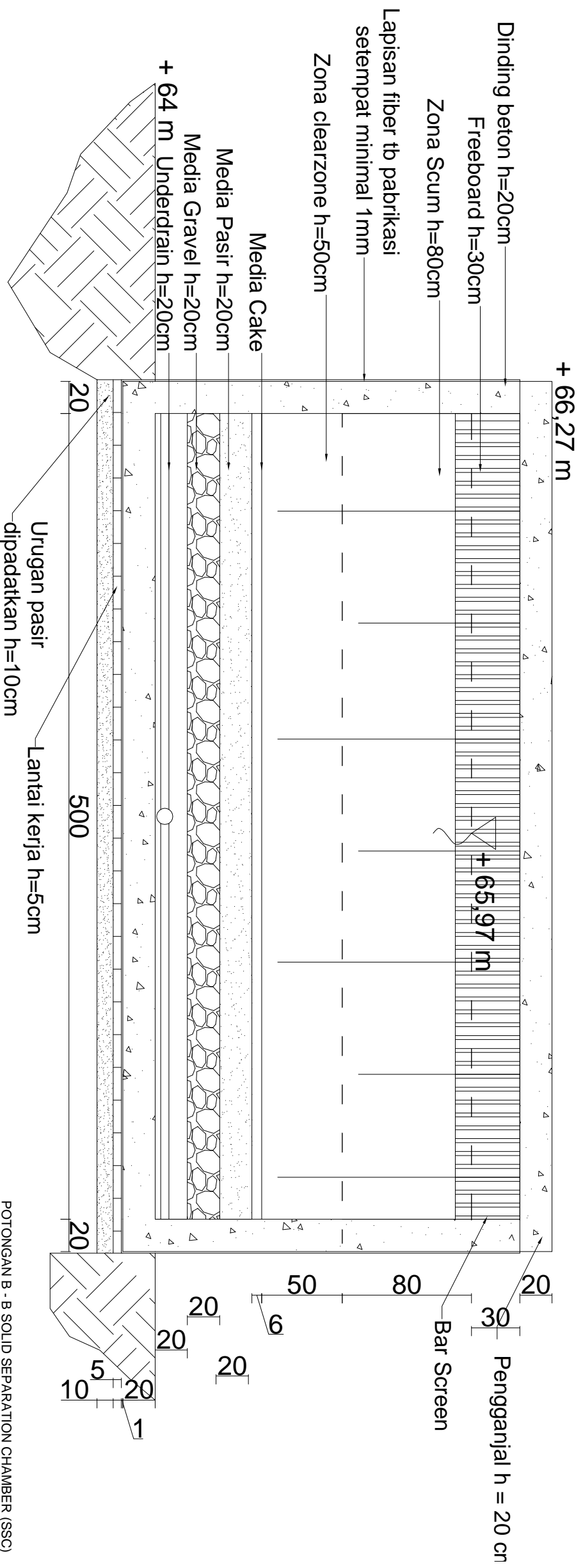
<b>UNIT SOLID SEPARATION CHAMBER (SSC)</b>	
<b>SKALA</b>	<b>HALAMAN</b>
1 : 50	5

**DOSEN PEMBIMBING**  
Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng  
**MAHASISWA**  
EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018  
**JUDUL GAMBAR**

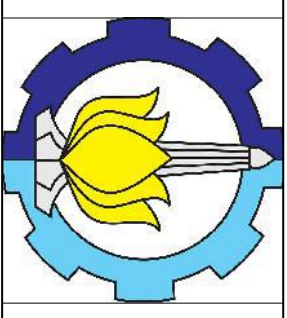




POTONGAN A - A UNIT SOLID SEPARATION CHAMBER (SSC)  
SKALA 1 : 50








POTONGAN B - B SOLID SEPARATION CHAMBER (SSC)  
SKALA 1 : 30



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN  
DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADIUN

### LEGENDA

-  : LAPISAN BETON
-  : LAPISAN GRAVEL
-  : LAPISAN PASIR
-  : LAPISAN CAKE
-  : BAR SCREEN

### DOSEN PEMBIMBING

Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

### MAHASISWA

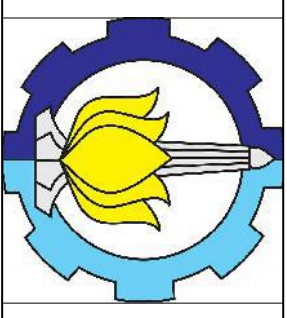
EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

### JUDUL GAMBAR

POTONGAN A - A  
POTONGAN B - B  
UNIT SOLID SEPARATION  
CHAMBER (SSC)

SKALA HALAMAN



1 : 50 6  
1 : 30

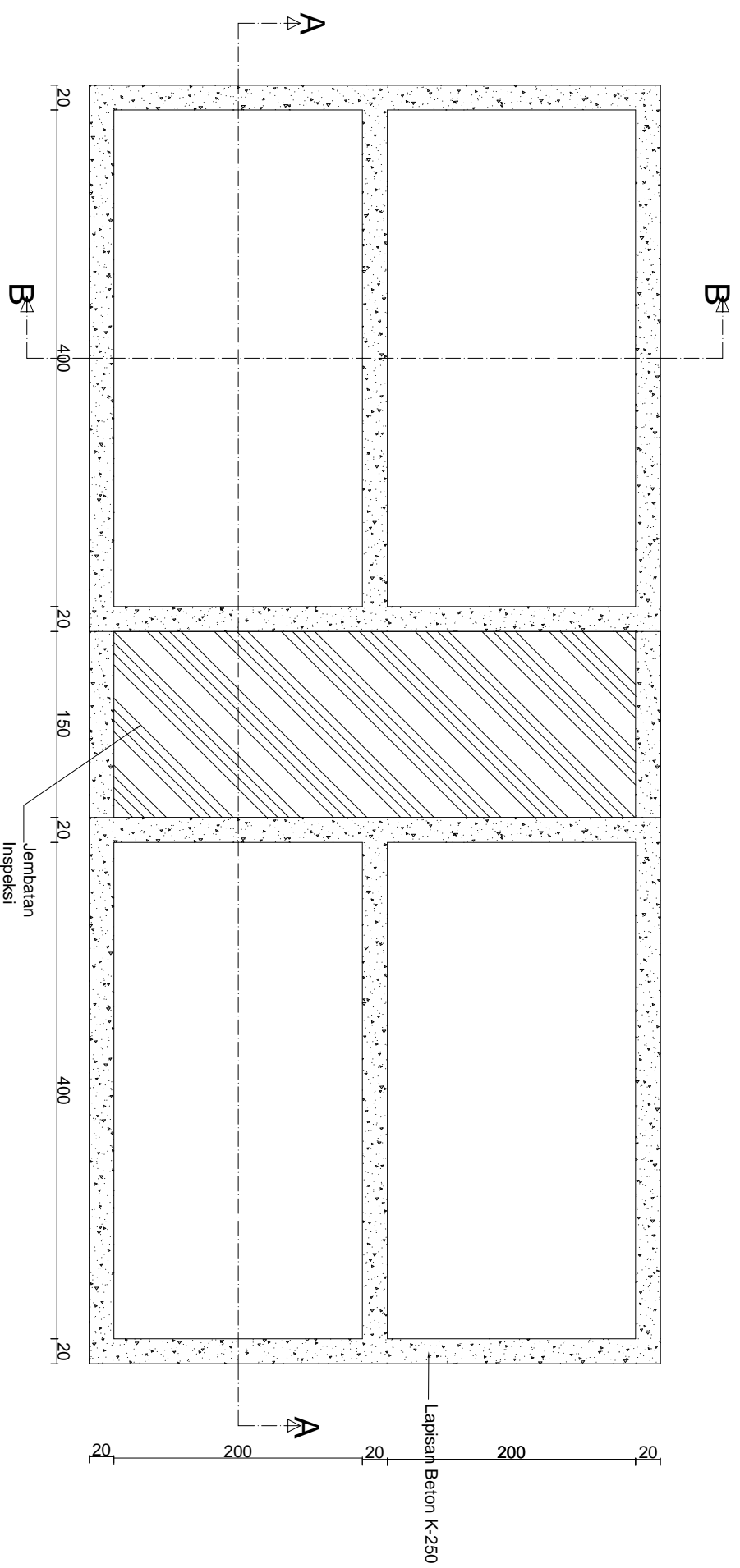


DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADJUN

**LEGENDA**

-  : LAPISAN BETON
-  : LAPISAN TANAH



**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

**MAHASISWA**

EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

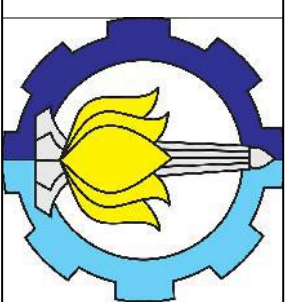
**JUDUL GAMBAR**

LAYOUT  
UNIT DRYING AREA

**SKALA HALAMAN**

1:50 7

UNIT DRYING AREA  
SKALA 1:50

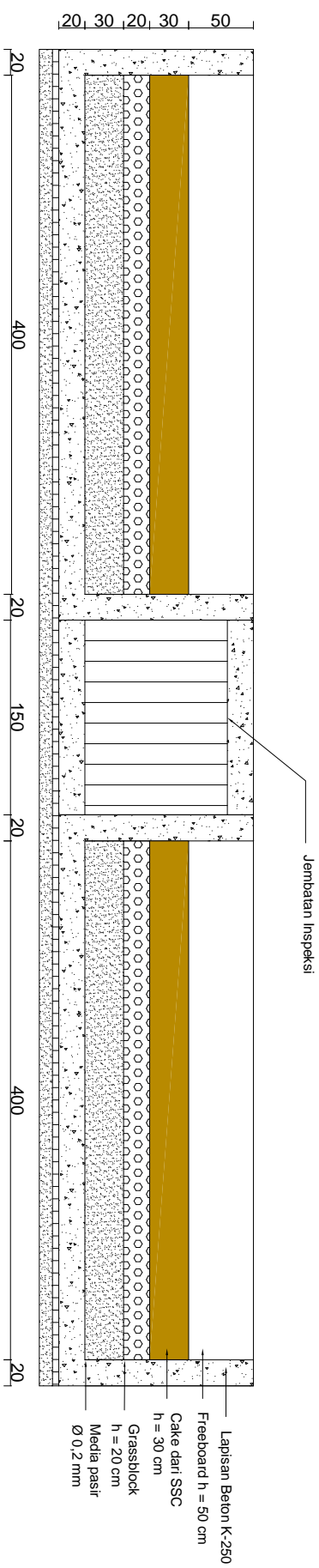


DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA

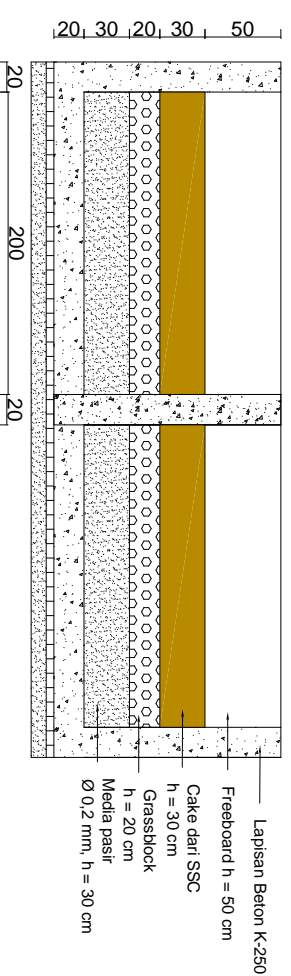
TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADJUN

**LEGENDA**

-  : LAPISAN BETON
-  : LAPISAN TANAH
-  : LAPISAN GRASS BLOCK
-  : LAPISAN PASIR



POTONGAN A - A UNIT DRYING AREA  
SKALA 1 :50



POTONGANB - B UNIT DRYING AREA  
SKALA 1 :50

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

**MAHASISWA**

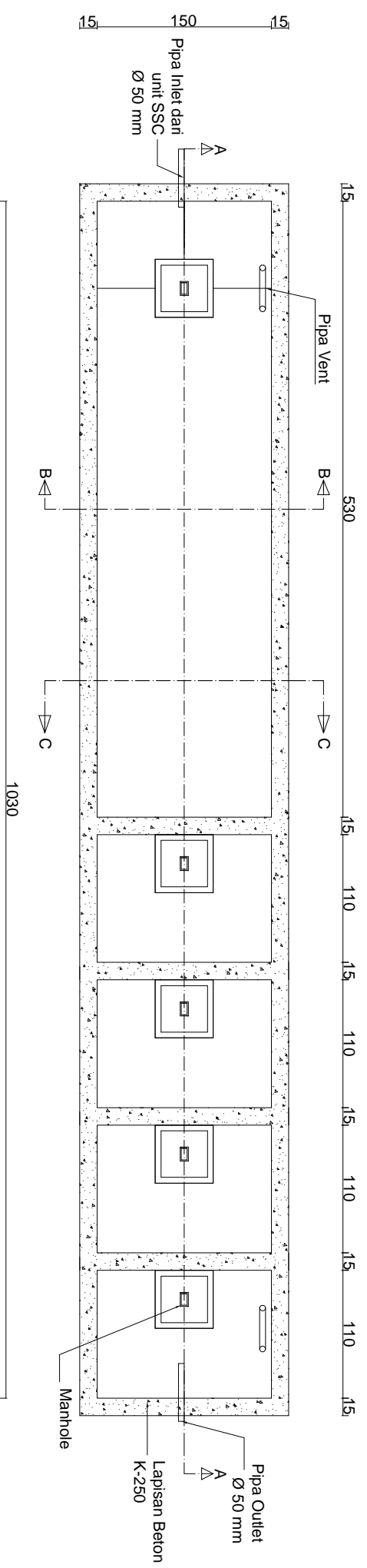
EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

**JUDUL GAMBAR**

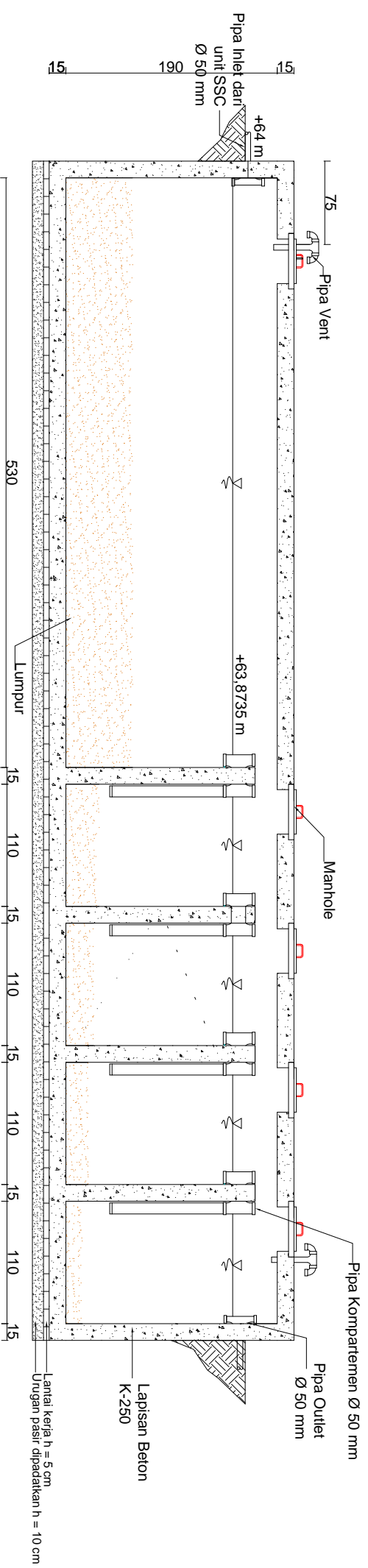
POTONGAN A - A  
POTONGAN B - B  
UNIT DRYING AREA

**SKALA HALAMAN**

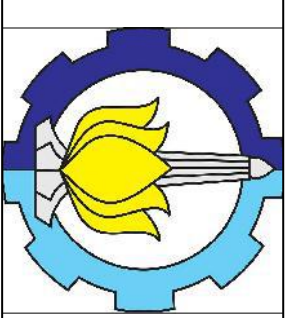
1 :50 8



UNIT ANAEROBIK BAFFLED REACTOR (ABR)  
SKALA 1 : 50





POTONGAN A - A UNIT ABR  
SKALA 1 : 50



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

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADJUN

**LEGENDA**

-  : LAPISAN BETON
-  : LUMPUR

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

**MAHASISWA**

EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

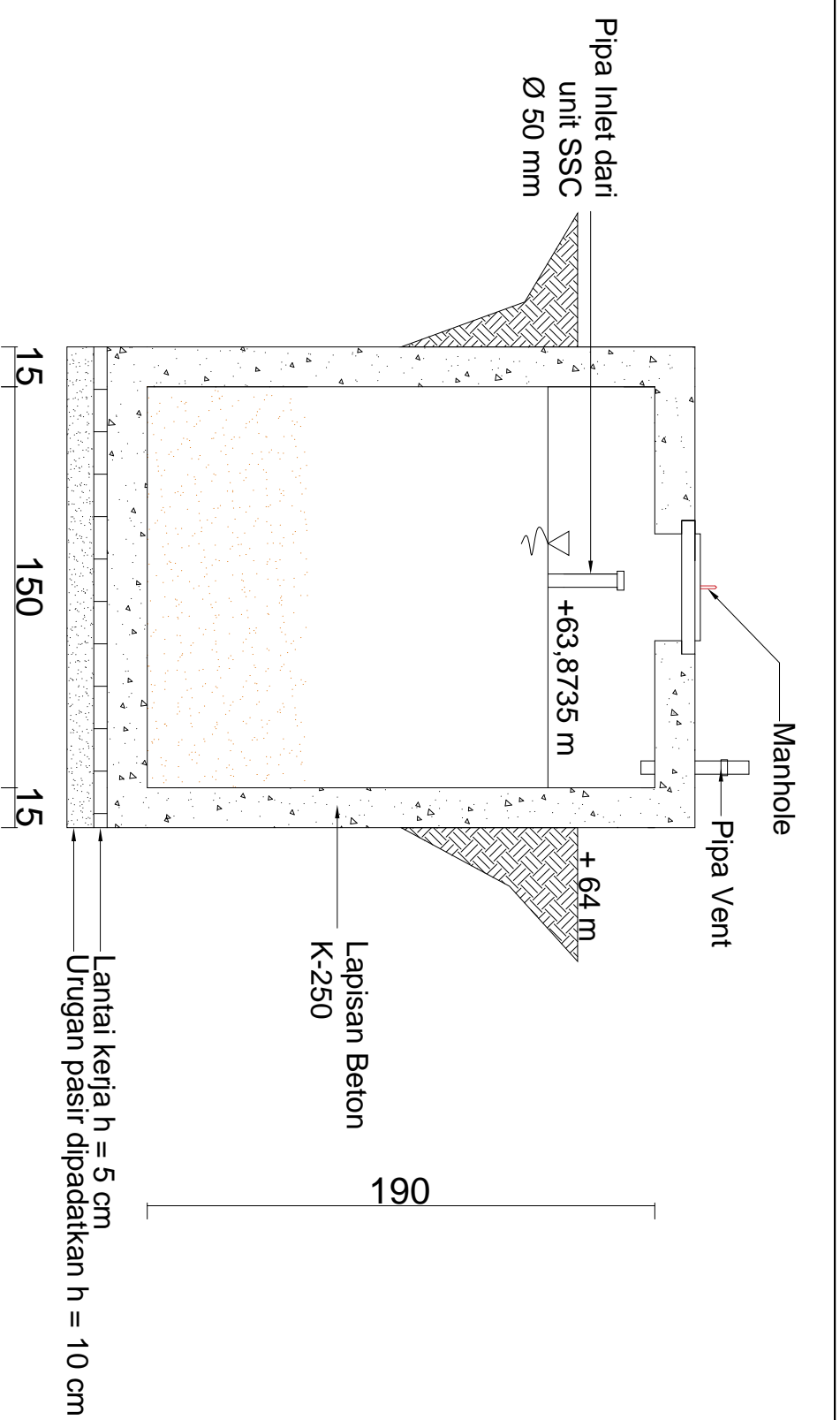
**JUDUL GAMBAR**

LAYOUT ANAEROBIK BAFFLED  
REACTOR (ABR)  
POTONGAN A - A

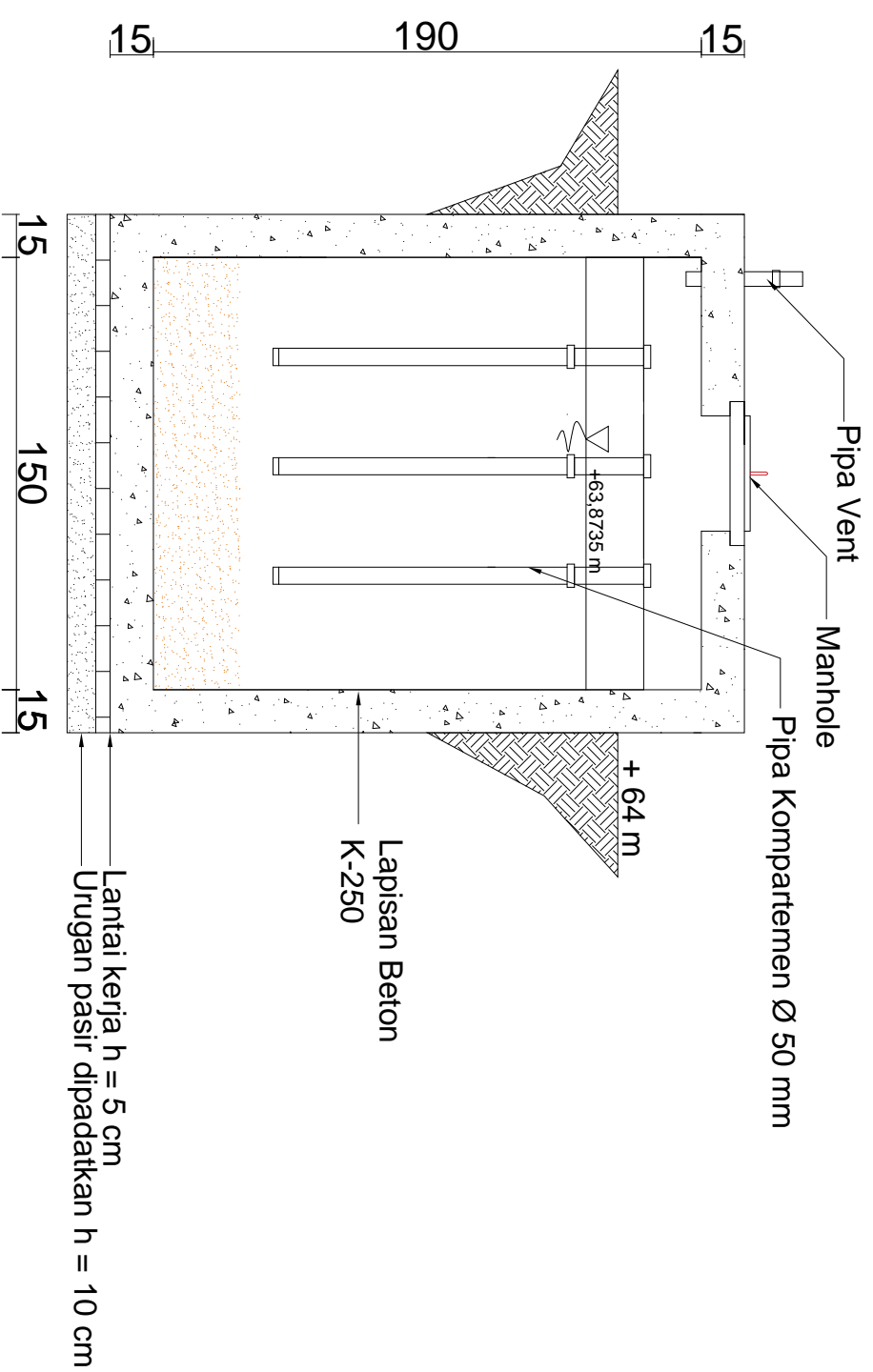
**SKALA HALAMAN**

1 : 50 9

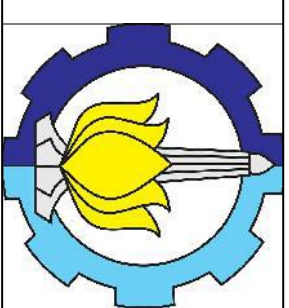




POTONGAN B - B UNIT ABR  
SKALA 1 : 25






POTONGAN C - C UNIT ABR  
SKALA 1 : 25



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

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADIUN

**LEGENDA**

-  : LAPISAN BETON
-  : LUMPUR
-  : LAPISAN TANAH

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

**MAHASISWA**

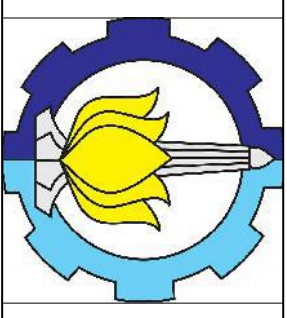
EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

**JUDUL GAMBAR**

POTONGAN B - B  
POTONGAN C - C  
UNIT ANAEROBIK BAFFLED  
REACTOR (ABR)

**SKALA**                      **HALAMAN**



1 : 25                              10

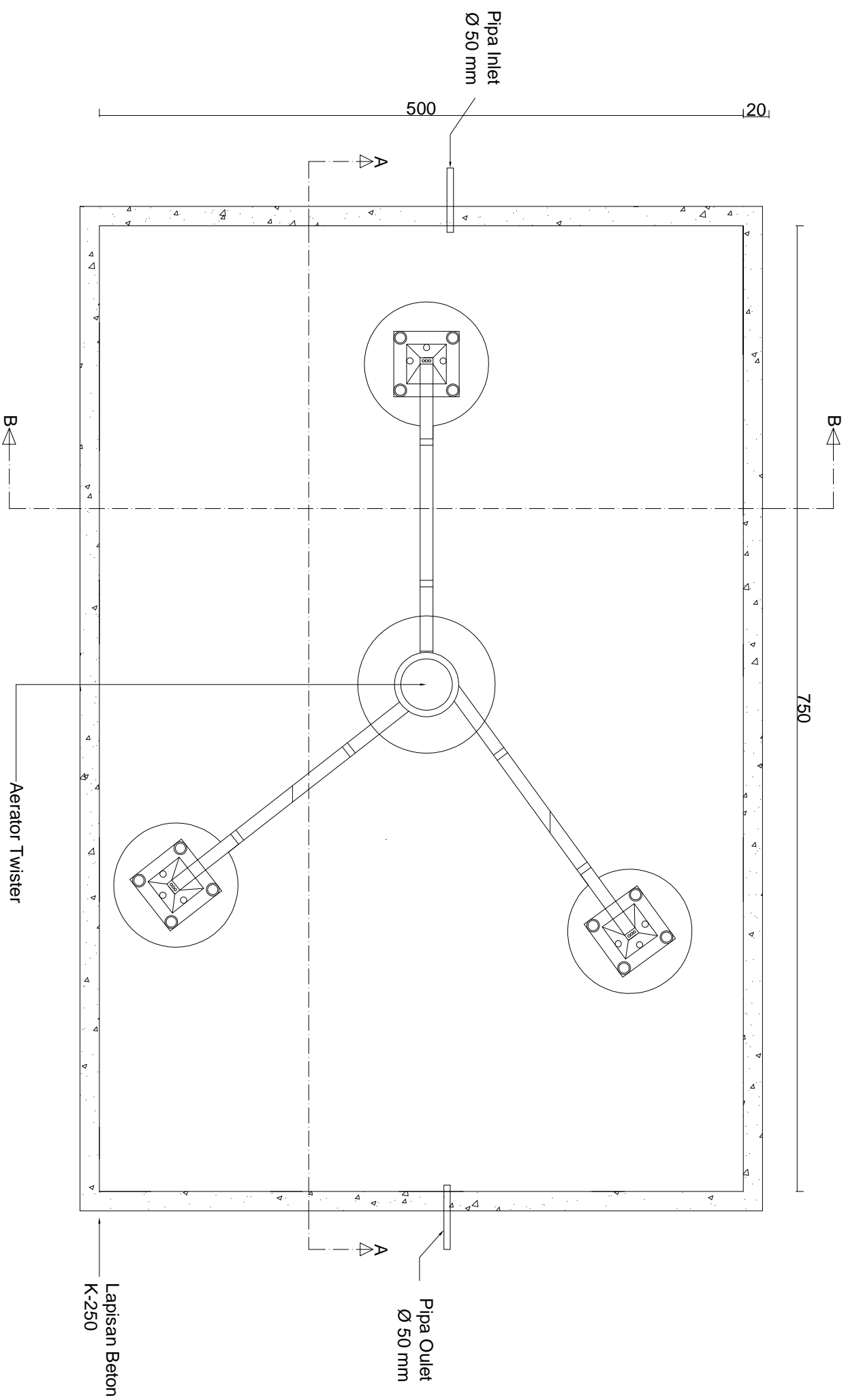


DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMAHKAMAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADIUN

**LEGENDA**

-  : LAPISAN BETON
-  : LAPISAN TANAH



UNIT AERATED LAGOON  
SKALA 1 :40

<b>UNIT AERATED LAGOON</b>	
<b>SKALA</b>	<b>HALAMAN</b>
1 :40	1 1

**DOSEN PEMBIMBING**

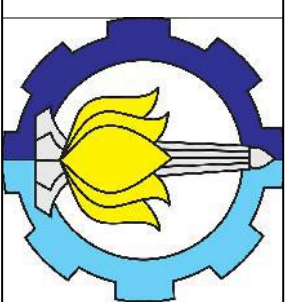
Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

**MAHASISWA**

EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

**JUDUL GAMBAR**



UNIT AERATED LAGOON

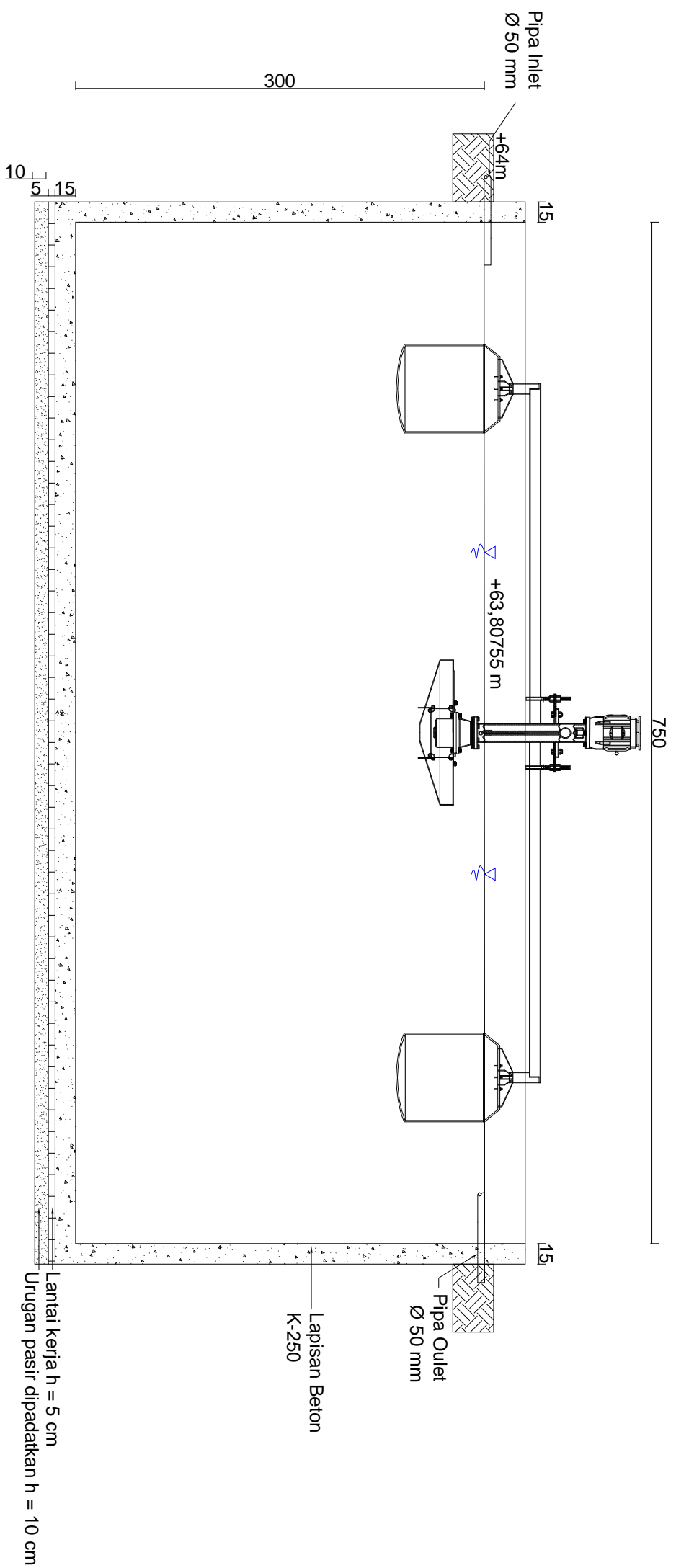


DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADJUN

**LEGENDA**

-  : LAPISAN BETON
-  : LAPISAN TANAH



Lantai kerja h = 5 cm  
Urugan pasir dipadatkan h = 10 cm

Lapisan Beton  
K-250

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

**MAHASISWA**

EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

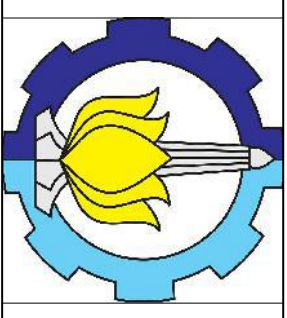
**JUDUL GAMBAR**

POTONGAN A - A  
UNIT AERATED LAGOON

**SKALA HALAMAN**

1:40 12



POTONGAN A - A UNIT AERATED LAGOON  
SKALA 1 : 40

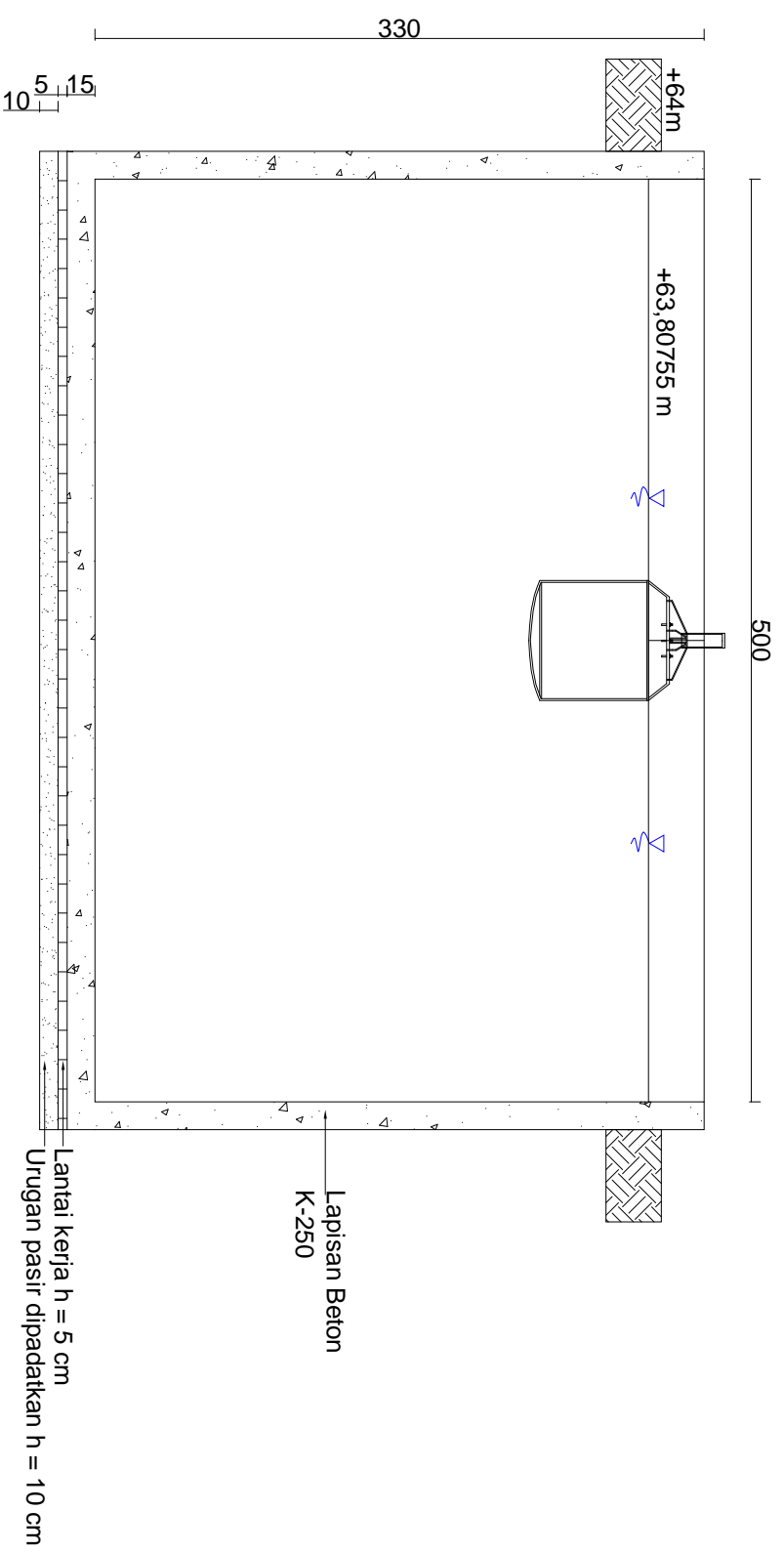


DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADJUN

### LEGENDA

-  : LAPISAN BETON
-  : LAPISAN TANAH



### DOSEN PEMBIMBING

Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

### MAHASISWA

EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

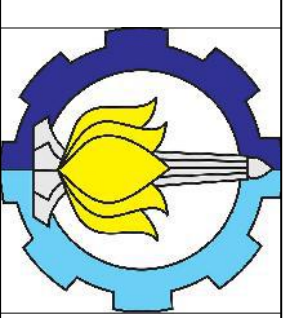
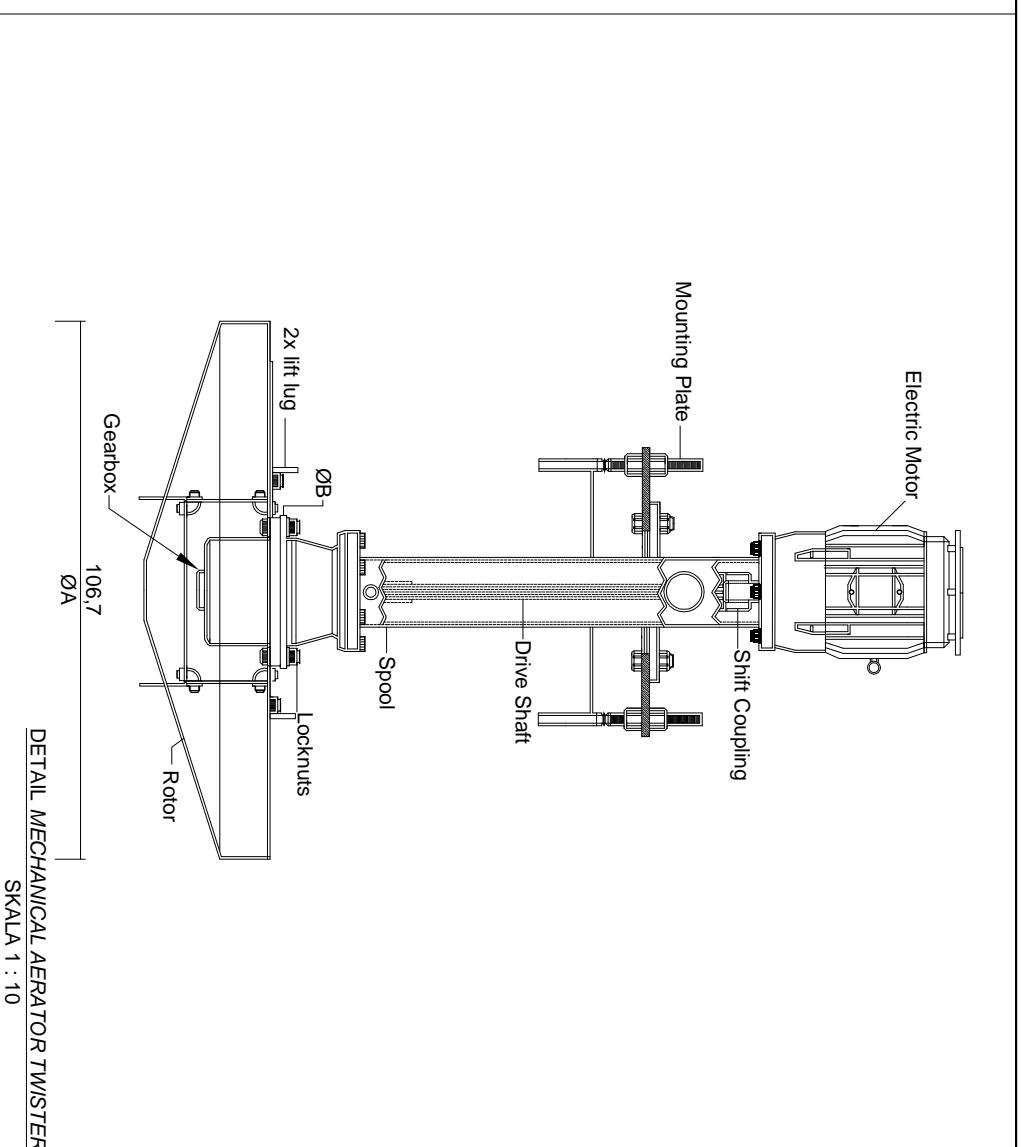
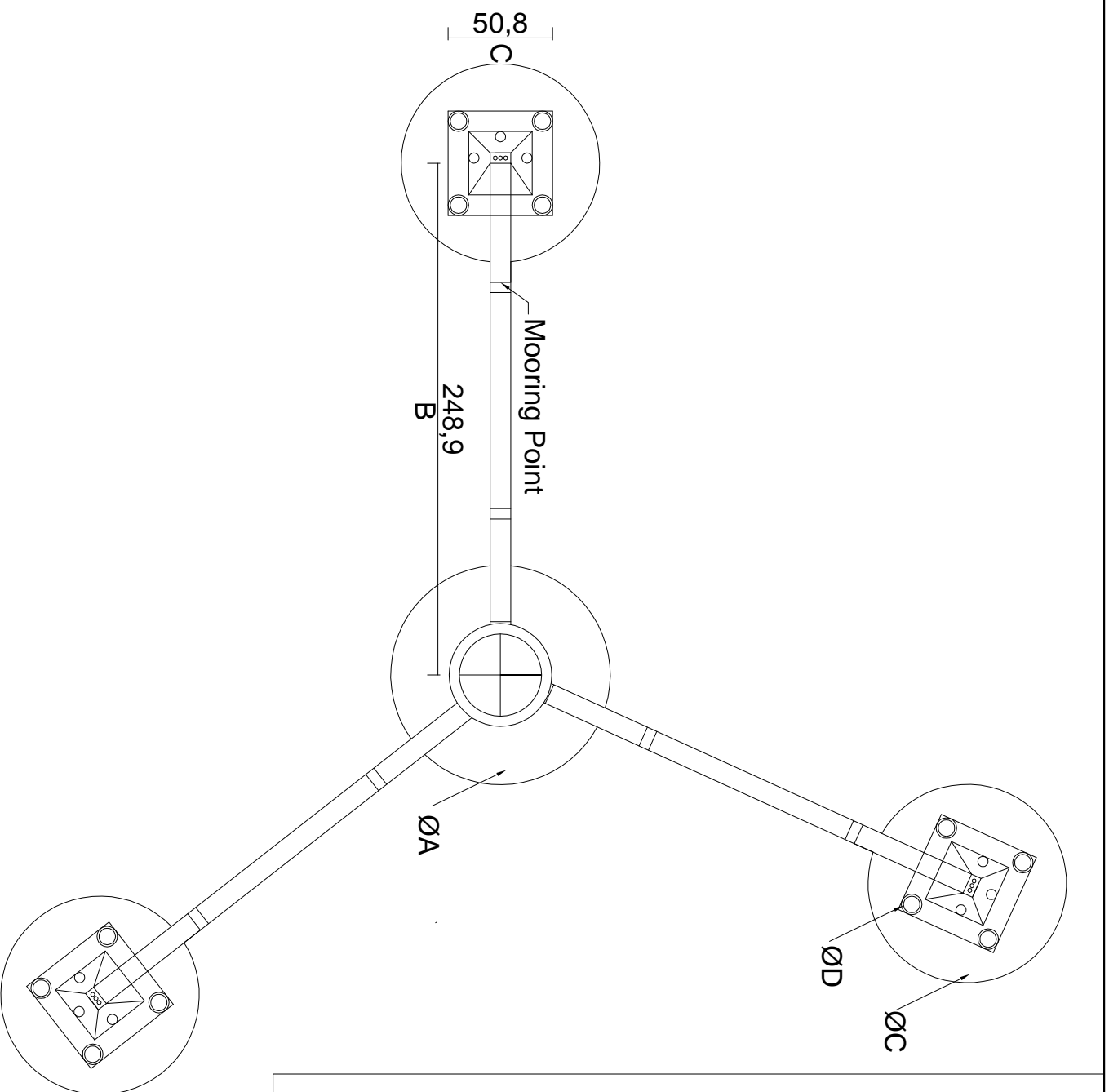
### JUDUL GAMBAR

POTONGAN B - B  
UNIT AERATED LAGOON

SKALA HALAMAN

1:40 13

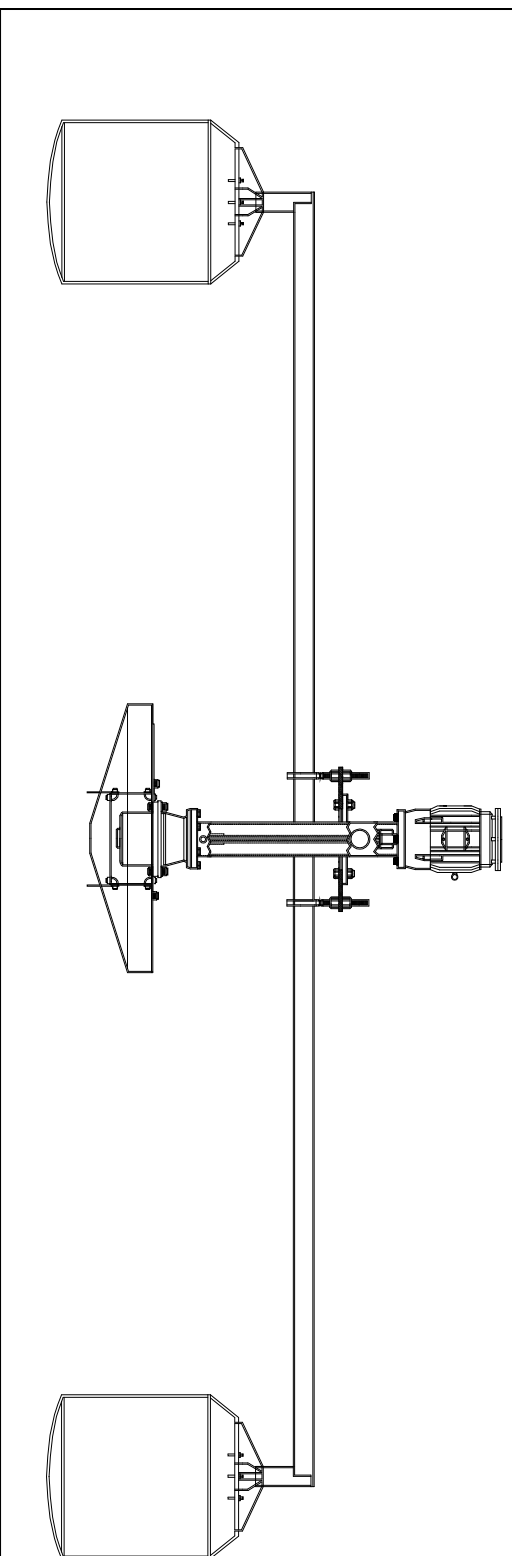
POTONGAN B - B UNIT AERATED LAGOON  
SKALA 1 :40



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN  
DAN KEBUMAHN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPL T) DI KOTA MADJUN

**LEGENDA**



DETAIL MECHANICAL AERATOR TWISTER  
SKALA 1 : 30

<p>DETAIL MECHANICAL AERATOR TWISTER</p>	
SKALA	HALAMAN
1 : 40	14

**DOSEN PEMBIMBING**

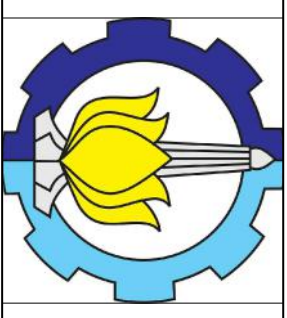
Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

**MAHASISWA**

EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

**JUDUL GAMBAR**



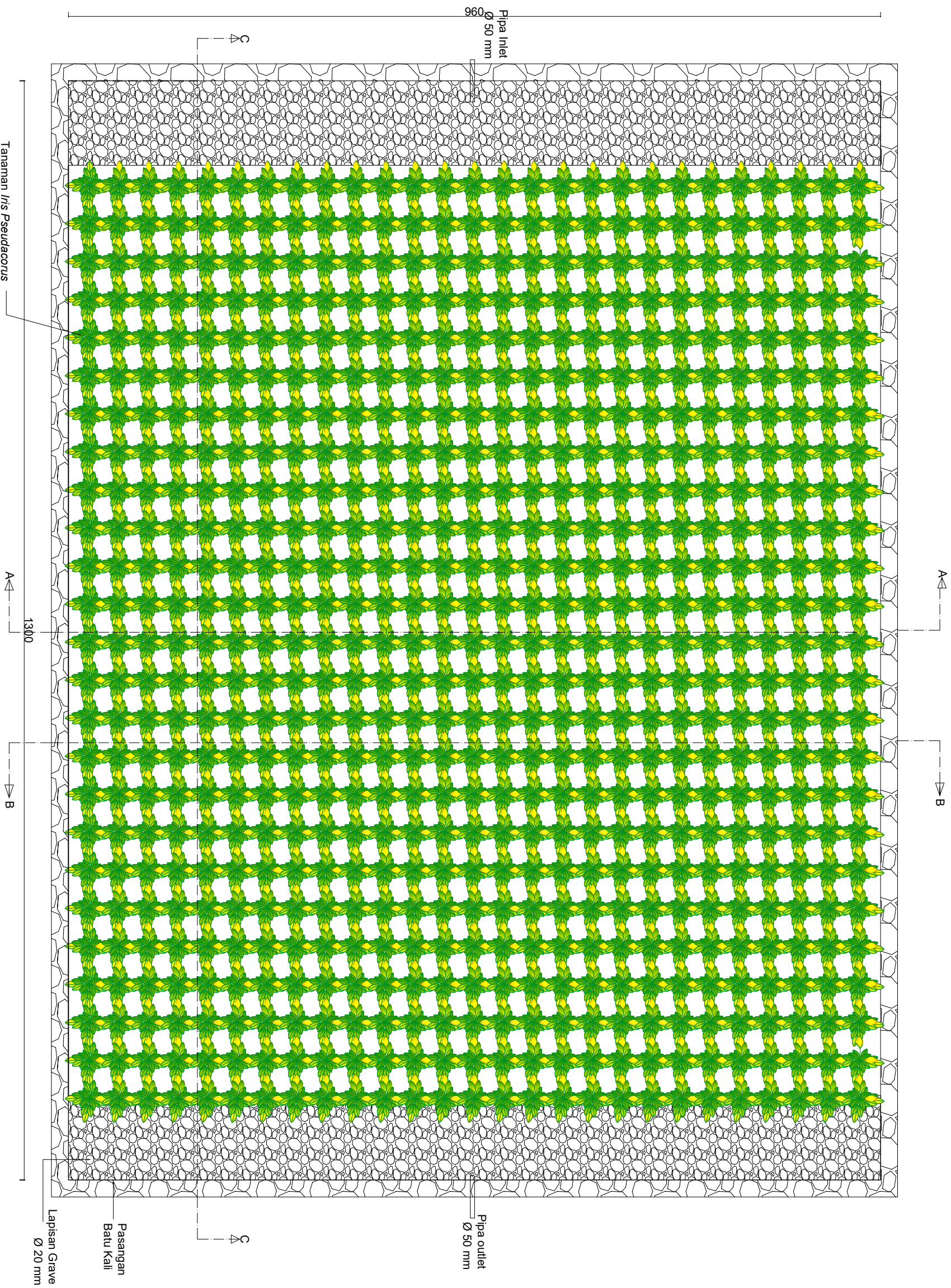


DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPL T) DI KOTA MADJUN

**LEGENDA**

-  : LAPISAN BETON
-  : LAPISAN TANAH
-  : LAPISAN GRAVEL
-  : LAPISAN GRAVELLY SAND
-  : TANAMAN IRIS PSEUDACORUS



UNIT CONSTRUCTED WETLAND  
SKALA 1 : 50

<b>UNIT CONSTRUCTED WETLAND</b>	
<b>SKALA</b>	<b>HALAMAN</b>
1 : 50	15

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

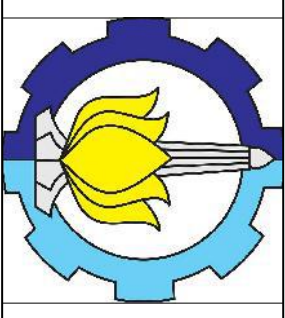
**MAHASISWA**

EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

**JUDUL GAMBAR**

UNIT CONSTRUCTED WETLAND



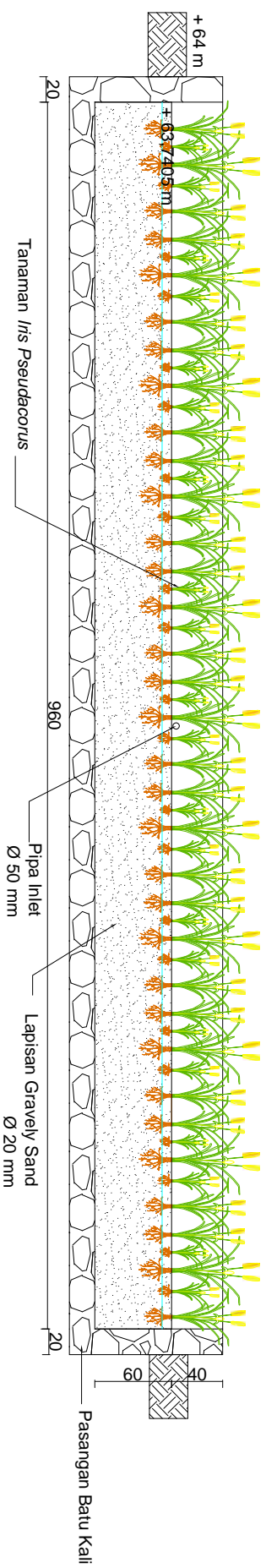


DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA

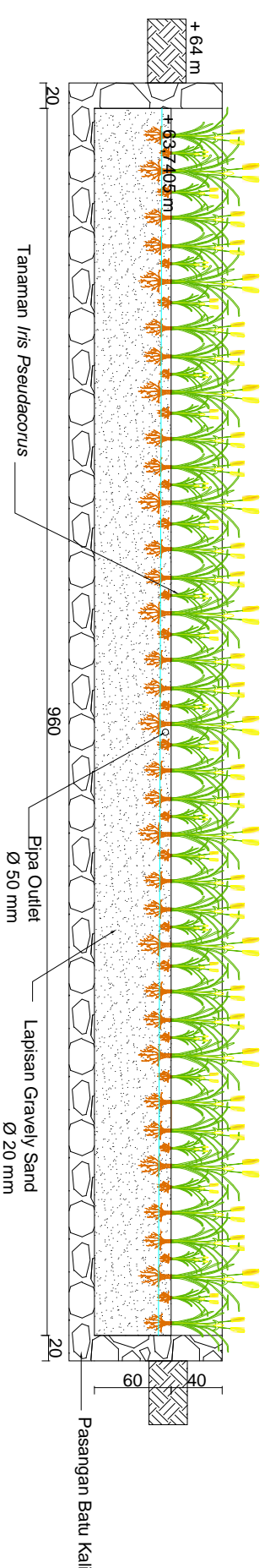
TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINDA (IPL T) DI KOTA MADJUN

**LEGENDA**

-  : LAPISAN BETON
-  : LAPISAN TANAH
-  : LAPISAN GRAVEL
-  : LAPISAN GRAVELLY SAND
-  : TANAMAN IRIS PSEUDACORUS

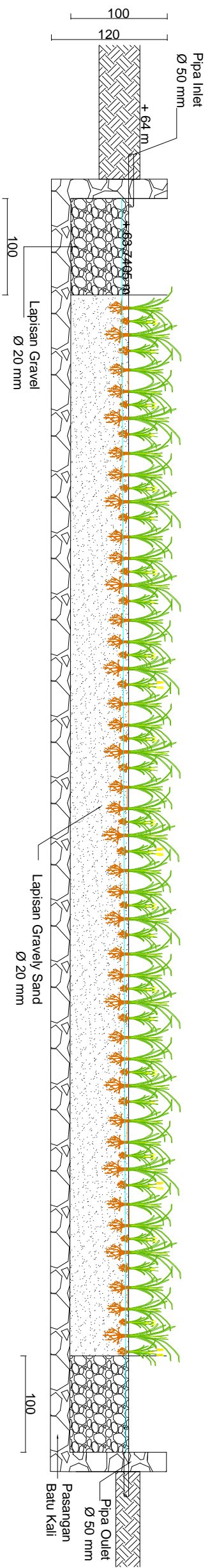


POTONGAN A - A UNIT CONSTRUCTED WETLAND  
SKALA 1 :50

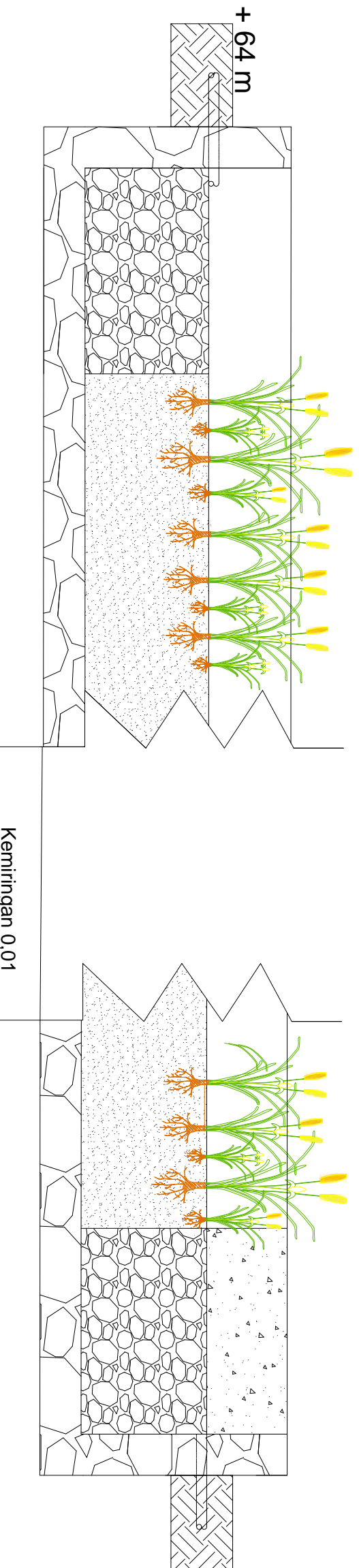


POTONGAN B - B UNIT CONSTRUCTED WETLAND  
SKALA 1 :50

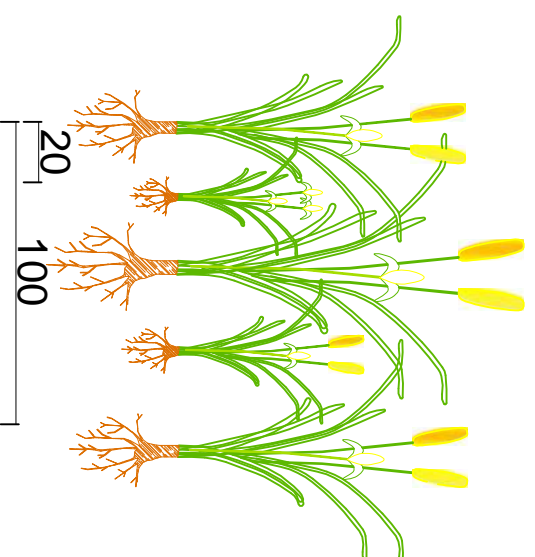
<p><b>DOSEN PEMBIMBING</b></p> <p>Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng</p>	
<p><b>MAHASISWA</b></p> <p>EMILIA FIRDAUS DAHNIAR NRP 03211540000018</p>	
<p><b>JUDUL GAMBAR</b></p> <p>POTONGAN A - A POTONGAN B - B UNIT CONSTRUCTED WETLAND</p>	
<p><b>SKALA</b></p> <p>1 :50</p>	<p><b>HALAMAN</b></p> <p>16</p>



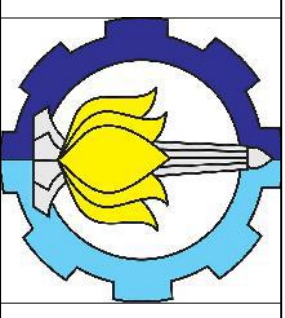
POTONGAN C - C UNIT CONSTRUCTED WETLAND  
SKALA 1 : 50



DETAIL POTONGAN C - C UNIT CONSTRUCTED WETLAND  
SKALA 1 : 25








DETAIL TANAMAN CONSTRUCTED WETLAND  
SKALA 1 : 25



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

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPL T) DI KOTA MADJUN

**LEGENDA**

-  : LAPISAN BETON
-  : LAPISAN TANAH
-  : LAPISAN GRAVEL
-  : LAPISAN GRAVELLY SAND
-  : TANAMAN IRIS PSEUDACORUS

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

**MAHASISWA**

EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

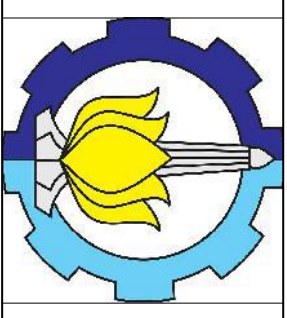
**JUDUL GAMBAR**

POTONGAN C - C  
DETIAL POTONGAN C - C  
DETAIL TANAMAN  
UNIT CONSTRUCTED WETLAND

**SKALA HALAMAN**

1 : 25  
1 : 50  
17





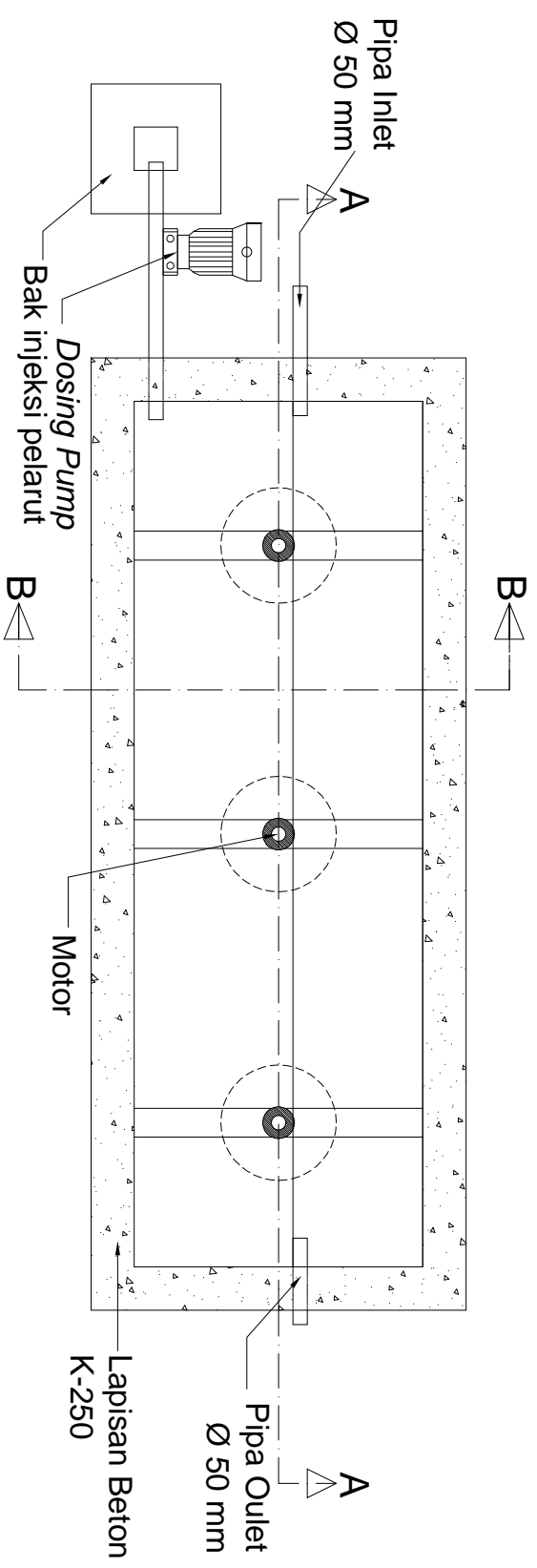


DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN  
DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA

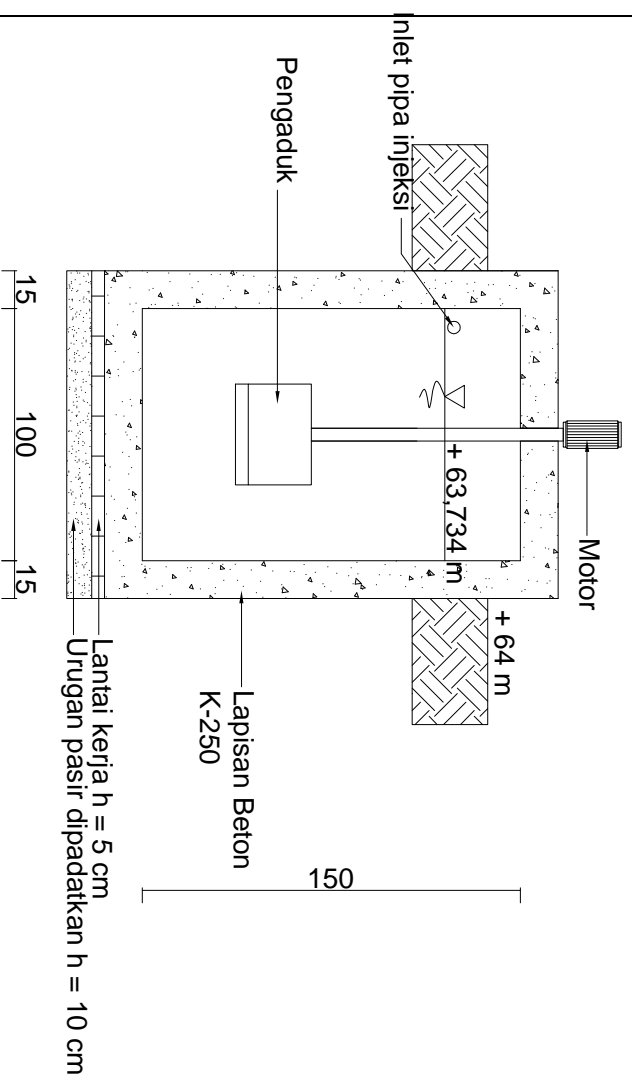
TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADJUN

**LEGENDA**

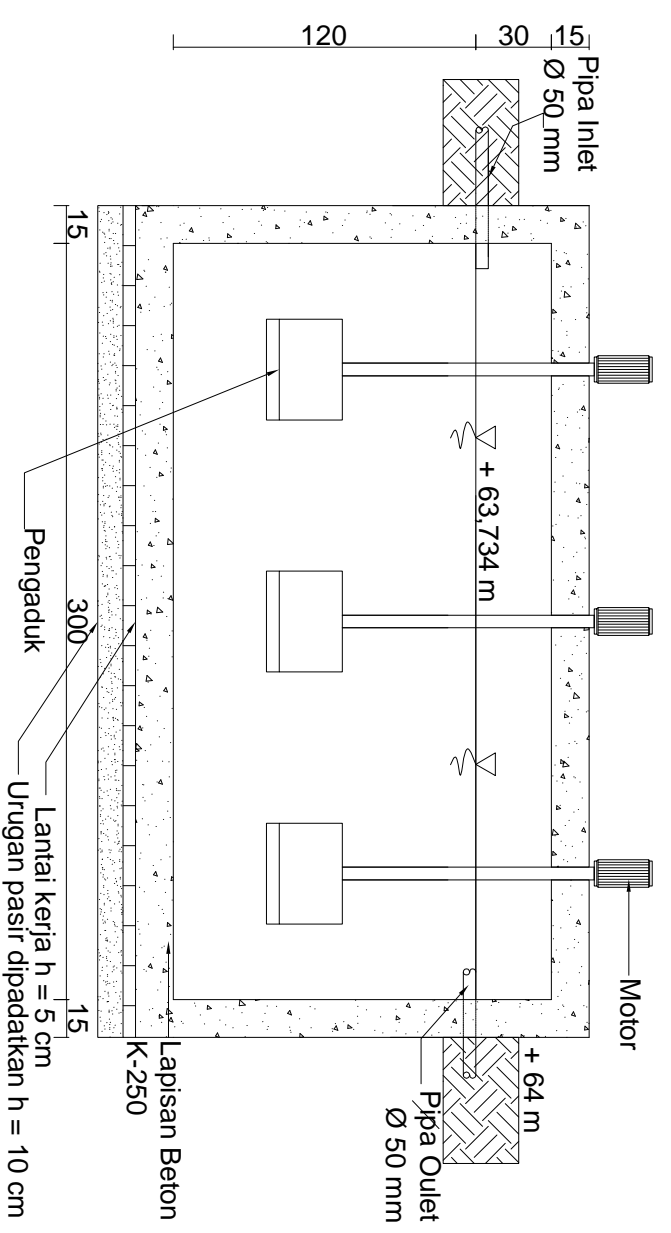
-  : LAPISAN BETON
-  : LAPISAN TANAH



UNIT DESINFEKSI  
SKALA 1 : 25



POTONGAN B - B UNIT DESINFEKSI  
SKALA 1 : 25



POTONGAN A - A UNIT DESINFEKSI  
SKALA 1 : 25

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

**MAHASISWA**

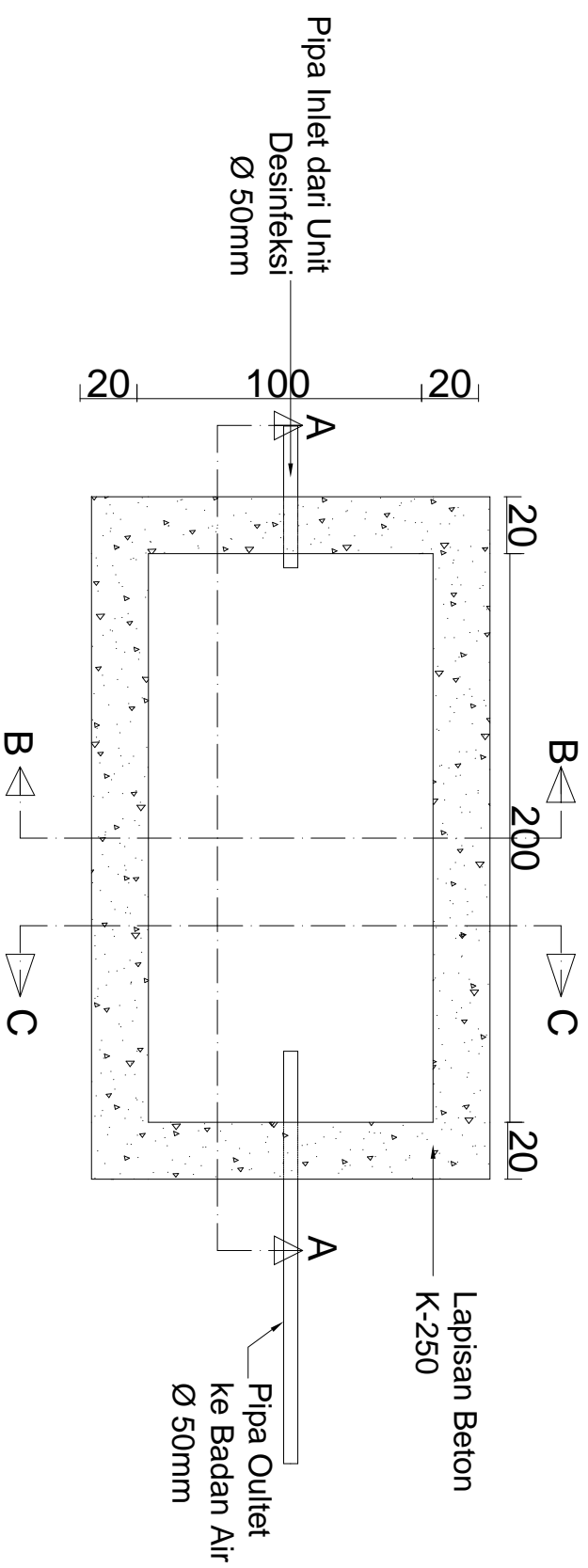
EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

**JUDUL GAMBAR**

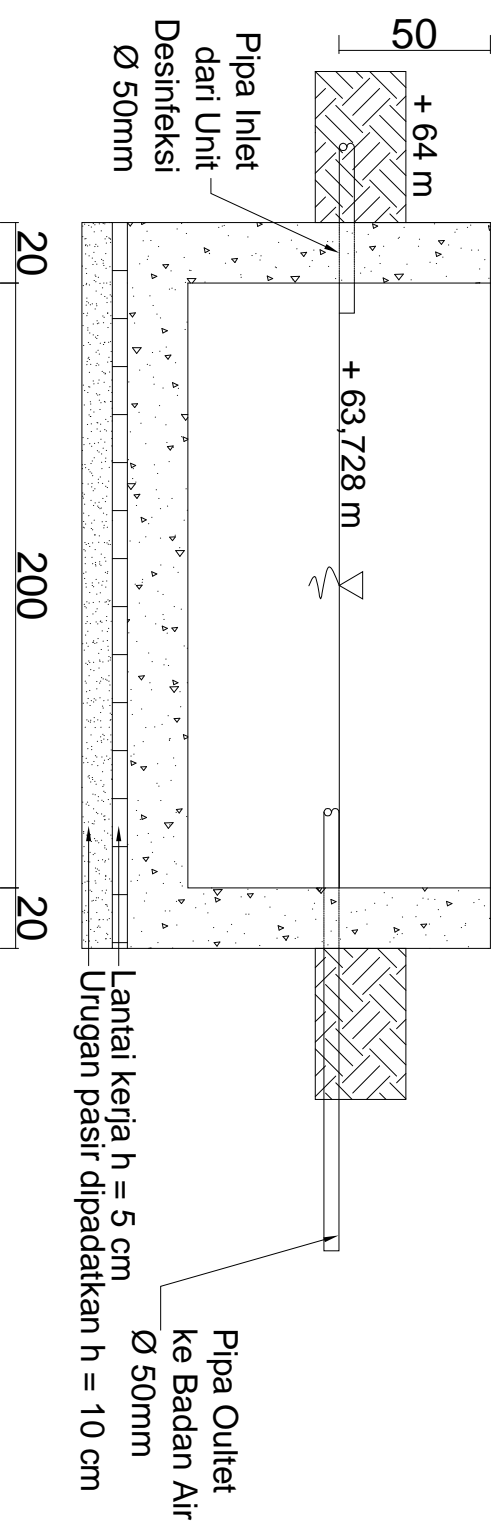
UNIT BAK PENAMPUNG  
CONSTRUCTED WETLAND  
POTONGAN A - A

**SKALA HALAMAN**

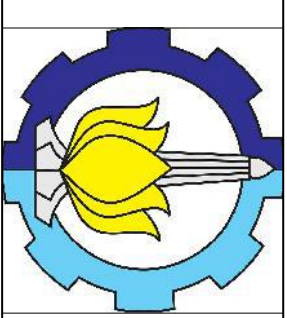
1 : 25 18



BAK INDIKATOR EFLUEN  
SKALA 1 : 25





POTONGAN A - A BAK INDIKATOR EFLUEN  
SKALA 1 : 25



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

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADIUN

**LEGENDA**

-  : LAPISAN BETON
-  : LAPISAN TANAH

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

**MAHASISWA**

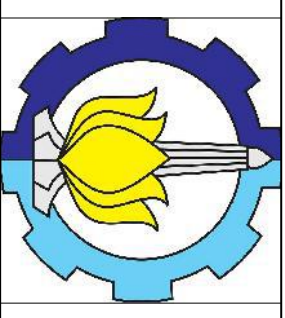
EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

**JUDUL GAMBAR**

BAK INDIKATOR EFLUEN  
POTONGAN A - A

**SKALA**                      **HALAMAN**



1 : 25                              19

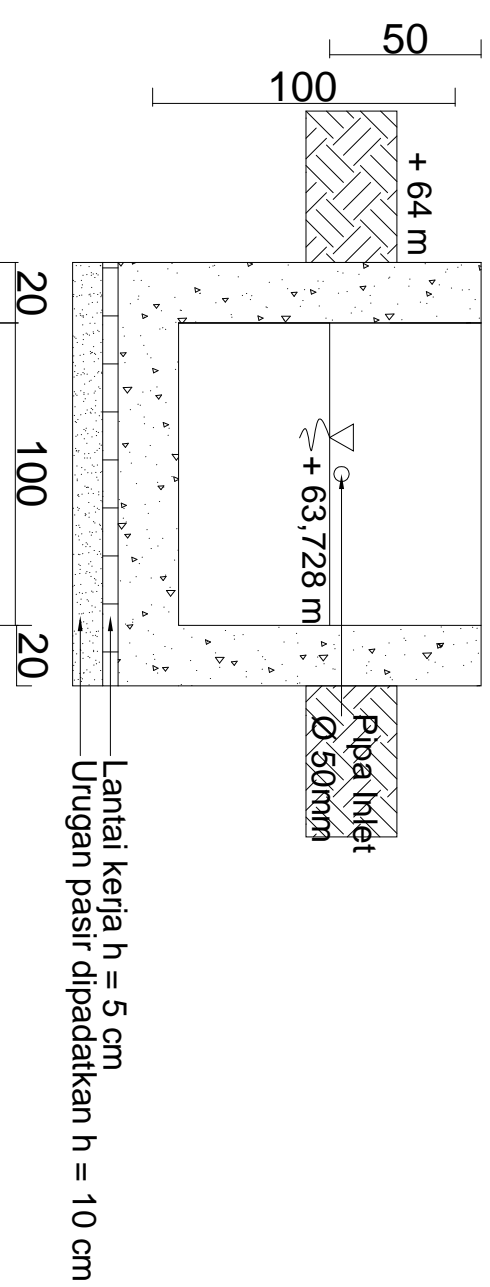


DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA

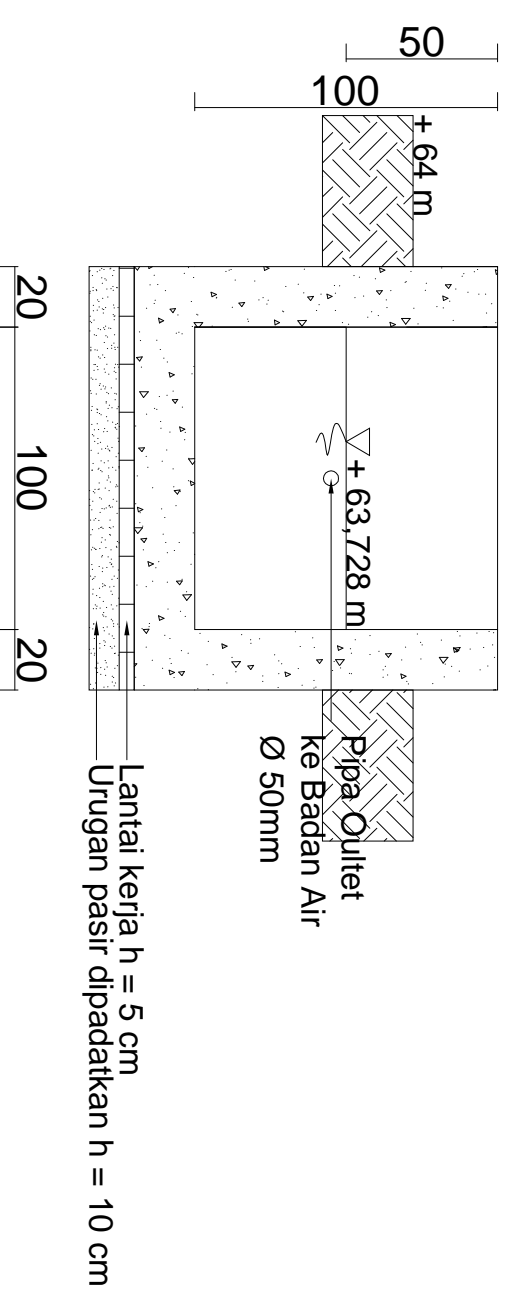
TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADIUN

**LEGENDA**

-  : LAPISAN BETON
-  : LAPISAN TANAH

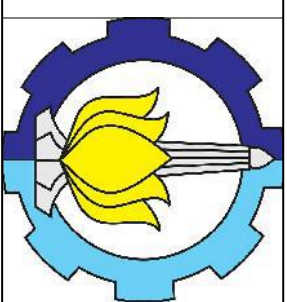
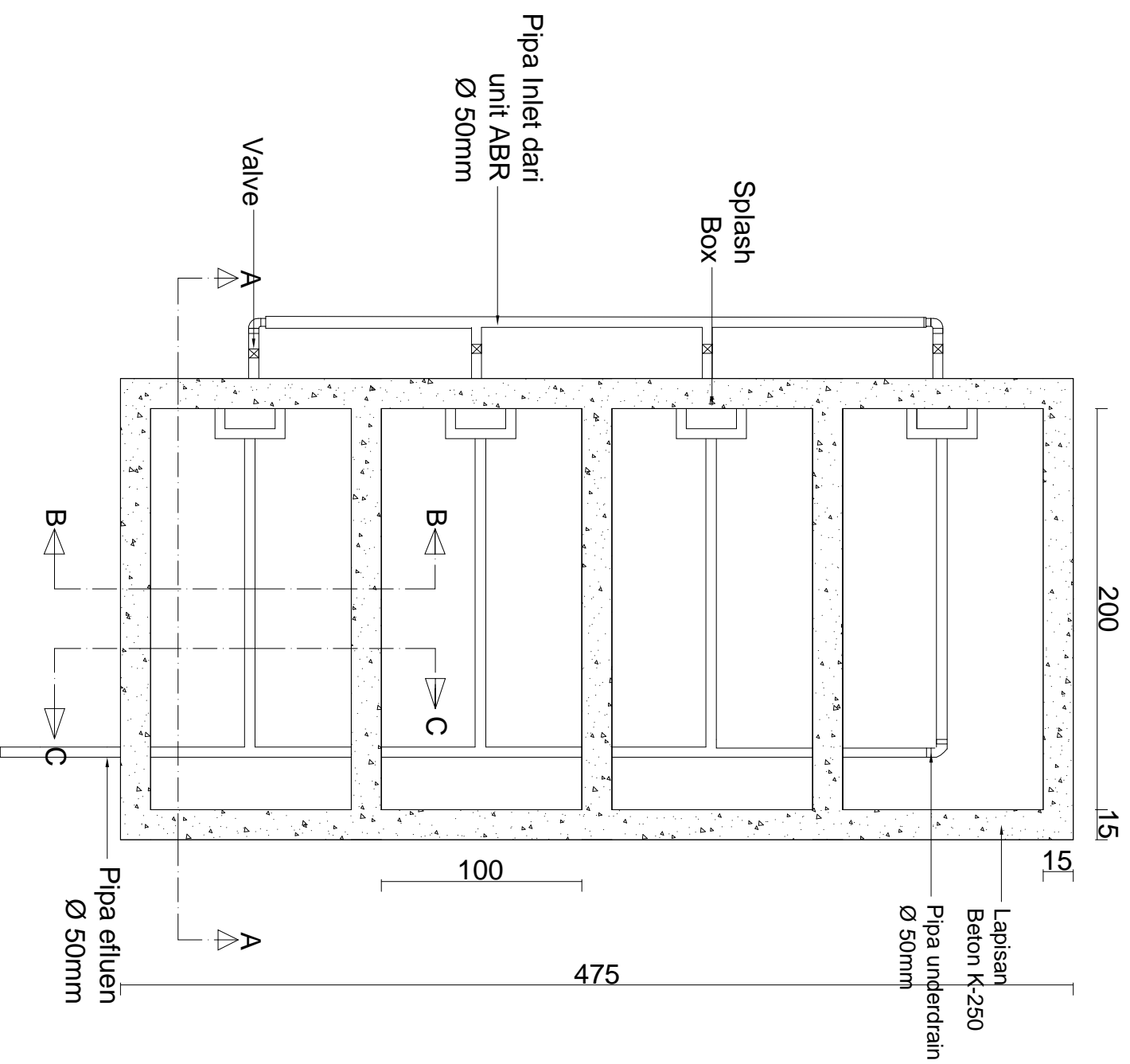


POTONGAN B - B BAK INDIKATOR EFLUEN  
SKALA 1 : 25



POTONGAN C - C BAK INDIKATOR EFLUEN  
SKALA 1 : 25






<b>DOSEN PEMBIMBING</b>	
Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng	
<b>MAHASISWA</b>	
EMILIA FIRDAUS DAHNIAR NRP 03211540000018	
<b>JUDUL GAMBAR</b>	
POTONGAN B - B POTONGAN C - C BAK INDIKATOR EFLUEN	
<b>SKALA</b>	<b>HALAMAN</b>
1 : 25	20



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADIUN

**LEGENDA**

-  : LAPISAN BETON
-  : LAPISAN TANAH
-  : LAPISAN PASIR
-  : LAPISAN GRAVEL
-  : LAPISAN CAKE

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

**MAHASISWA**

EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

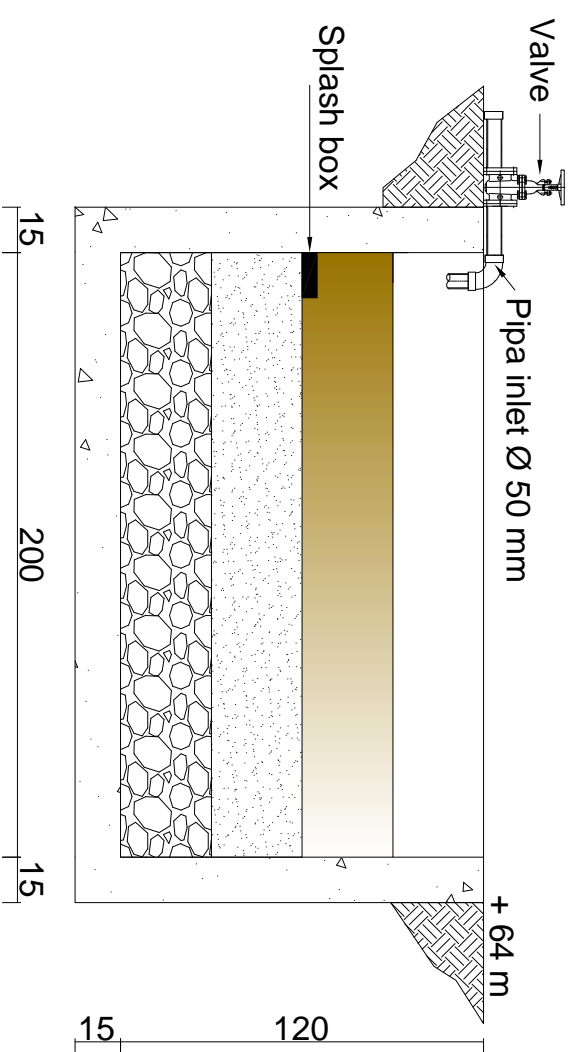
**JUDUL GAMBAR**

TAMPAK ATAS UNIT SLUDGE  
DRYING BED

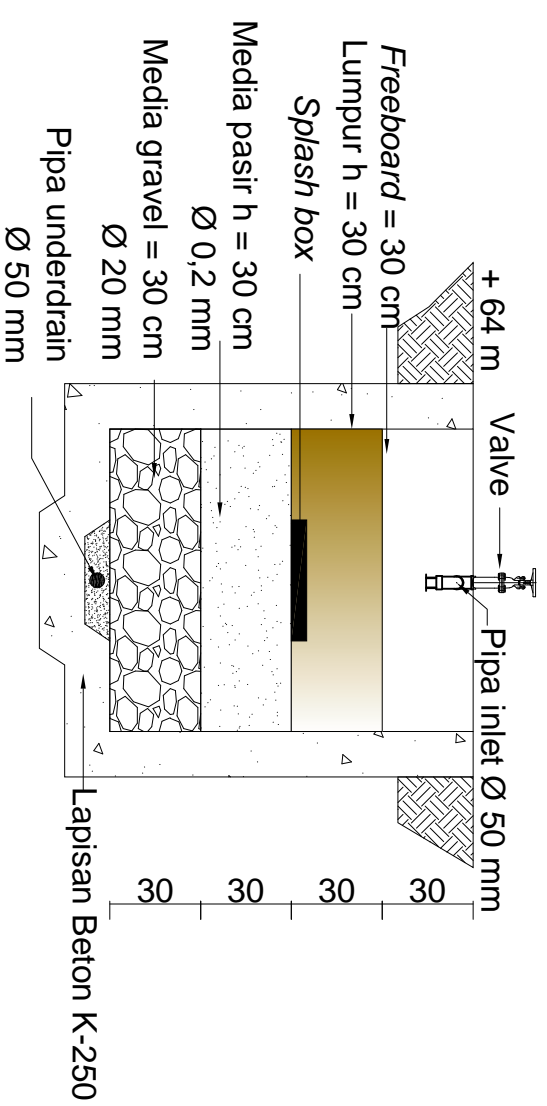
**SKALA**                      **HALAMAN**

1 : 30                              21

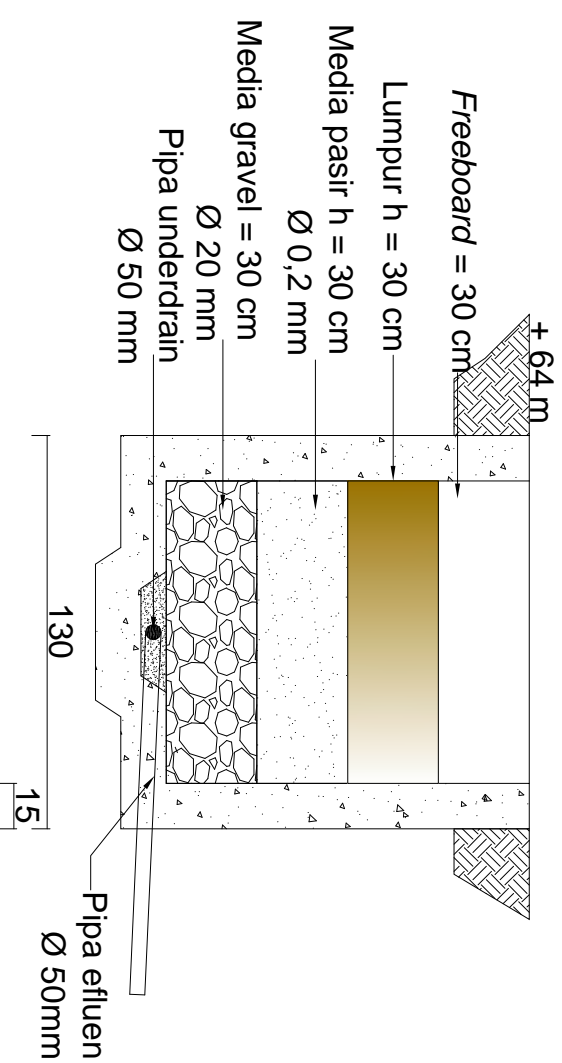
TAMPAK ATAS UNIT SLUDGE DRYING BED  
SKALA 1 : 30



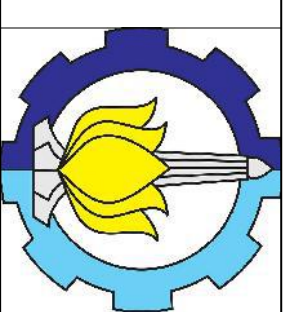
POTONGAN A - A UNIT SLUDGE DRYING BED  
SKALA 1 : 25



POTONGAN B - B UNIT SLUDGE DRYING BED  
SKALA 1 : 25








POTONGAN C - C UNIT SLUDGE DRYING BED  
SKALA 1 : 25



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

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADIUN

**LEGENDA**

-  : LAPISAN BETON
-  : LAPISAN TANAH
-  : LAPISAN PASIR
-  : LAPISAN GRAVEL
-  : LAPISAN CAKE

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

**MAHASISWA**

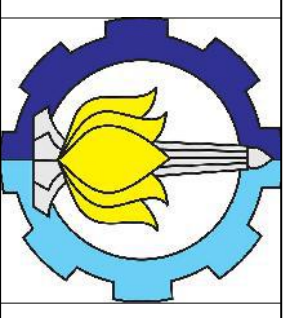
EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

**JUDUL GAMBAR**

POTONGAN A - A  
POTONGAN B - B  
POTONGAN C - C  
UNIT SLUDGE DRYING BED

**SKALA HALAMAN**

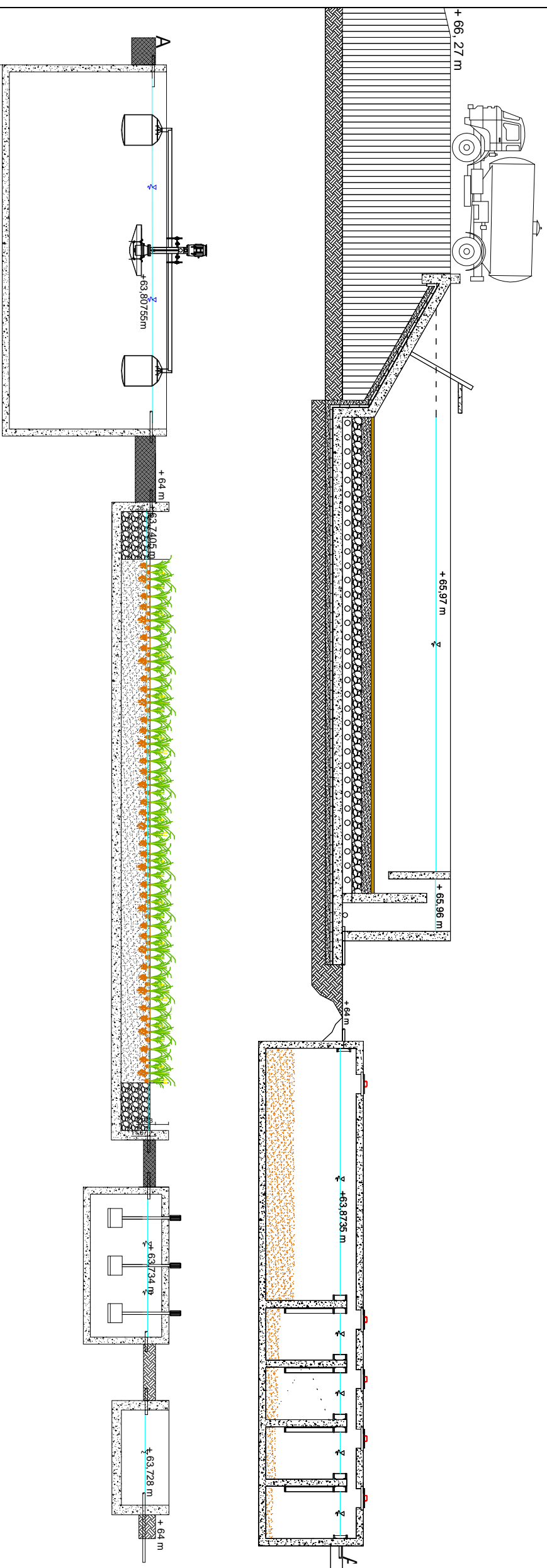
1:25 22



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN  
DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA

TUGAS AKHIR  
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN  
LUMPUR TINJA (IPLT) DI KOTA MADJUN

**LEGENDA**



**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. BOWO DJOKO MARSONO, M.Eng

**MAHASISWA**

EMILIA FIRDAUS DAHNIAR  
NRP 03211540000018

**JUDUL GAMBAR**

PROFIL HIDROLIS

**SKALA HALAMAN**

1:125 23