

**REDESAIN INSTALASI PENGOLAHAN LINDI DI TPA NGIPIK
KABUPATEN GRESIK**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk melengkapi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T) pada
Program Studi Teknik Lingkungan



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Disusun oleh:

ACHMAD MUSTAFA JAUHARY

NIM. H95218042

Dosen Pembimbing:

Shinfi Wazna Auvaria, S.T., M.T.

Sulistiya Nengse, S.T., M.T.

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA
2023**

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : Achmad Mustafa Jauhary

NIM : H95218042

FAK/PRODI : FST / Teknik Lingkungan

Angkatan : 2018

Dengan ini menyatakan bahwa tidak melakukan plagiasi dalam penulisan Tugas Akhir saya yang berjudul **“REDESAIN INSTALASI PENGOLAHAN LINDI DI TPA NGIPIK KABUPATEN GRESIK”** Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila dikemudian hari ternyata pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia diberikan sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Surabaya, 09 Januari 2023

Yang menyatakan,



(Achmad Mustafa Jauhary)

H95218042



**KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN**

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031 - 8410298 Fax. 031 - 8413300
E-Mail : saintek@uinsby.ac.id Website : www.uinsby.ac.id

**LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING
TUGAS AKHIR**

Nama : Achmad Mustafa Jauhary
NIM : H95218042
Judul Tugas Akhir : Redesain Instalasi Pengolahan Lindi di TPA Ngipik
Kabupaten Gresik

Telah disetujui untuk pendaftaran Tugas Akhir

Surabaya, 30 Desember 2022

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

Shinfi Wazna Auvafia, S.T., M.T.

NIP. 198603282015032001

Sulistiya Nengse, S.T., M.T.

NIP. 199010092020122019

PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Nama : Achmad Mustafa Jauhary

NIM : H95218042

Judul : Redesain Instalasi Pengolahan Lindi di TPA Ngipik Kabupaten Gresik

Telah dipertahankan di depan tim penguji Skripsi
Di Suarabaya, 06 Januari 2023

Mengesahkan,
Dewan Penguji,

Dosen Penguji I



Shinfi Wazna Auvaria, S.T., M.T
NIP. 198603282015032001

Dosen Penguji II



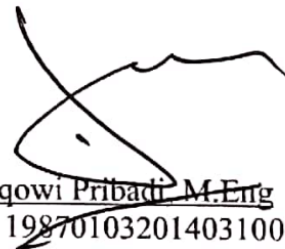
Sulistiya Nengse, M.T
NIP. 199010092020122019

Dosen Penguji III



Dyah Ratri Nurmaningsih, M.T
NIP. 198503222014032003

Dosen Penguji IV



Arqowi Pribadi, M.Eng
NIP. 198701032014031001

Mengetahui,
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya



Muhammad Hamdani, M.Pd.
NIP. 196507312000031002



**KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN**

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : ACHMAD MUSTAFA JAUHARY
NIM : H95218042
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI / TEKNIK LINGKUNGAN
E-mail address : jauhary72@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

☒ Sekripsi ☐ Tesis ☐ Desertasi ☐ Lain-lain (.....)
yang berjudul :

REDESAIN INSTALASI PENGOLAHAN LINDI DI TPA NGIPIK KABUPATEN

GRESIK

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 27 Desember 2022

Penulis

(ACHMAD MUSTAFA J)

ABSTRAK

REDESAIN INSTALASI PENGOLAHAN LINDI DI TPA NGIPIK KABUPATEN GRESIK

Timbunan sampah di Indonesia mencapai 26,8 juta ton dalam setahun menurut data Kementerian Lingkungan Hidup 2021. Meningkatnya timbunan sampah berpotensi untuk mencemari lingkungan. Air lindi harus diolah terlebih dahulu sebelum dikembalikan ke lingkungan untuk mencegah masuknya unsur pencemar ke badan air. Instalasi Pengolahan Air Lindi (IPAL) TPA Ngipik memiliki beberapa permasalahan terkait pengolahan air lindi. Tahun 2017 unit kolam aerasi dan wetland berhenti beroperasi dikarenakan berhentinya operasi. Kandungan air lindi pada unit pengolahan yang beroperasi telah melebihi baku mutu yaitu parameter BOD 178 mg/l, parameter COD 696 mg/l, dan parameter pH 9,01, sehingga diperlukan suatu upaya untuk menurunkan kandungan BOD, COD, dan pH yang belum memenuhi baku mutu. Setiap kegiatan TPA yang menghasilkan air lindi harus mengolahnya sebelum masuk ke badan air berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 59 Tahun 2016. Hasil perhitungan debit air lindi pada TPA Ngipik sebesar 237,75 m³/hari. Evaluasi kondisi eksisting pada TPA Ngipik yaitu pada unit bak ekualisasi dan bak anaerobic baffled reactor. Redesain pada IPAL TPA Ngipik yaitu bak ekualisasi, bak anaerobic, bak fakultatif, bak biofilter, dan bak desinfeksi. Hasil pengolahan air lindi mampu menurunkan kadar BOD sebesar 91%, kadar COD sebesar 93%, dan kadar TSS sebesar 97%. Total Rencana Anggaran Biaya pada perencanaan ini sebesar Rp. 3.891.004.000,00.

Kata Kunci: Air Lindi, Instalasi Pengolahan Air Lindi (IPAL), Redesain, TPA Ngipik.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

ABSTRACT

REDESIGN OF THE LEACHATE TREATMENT PLANT AT NGIPIK LANDFILL GRESIK REGENCY

Waste generation in Indonesia reaches 26.8 million tonnes a year according to 2021 data from the Ministry of Environment. Increased waste generation has the potential to pollute the environment. Leachate must be treated first before being returned to the environment to prevent the entry of pollutant elements into water bodies. The Ngipik Landfill Leachate Treatment Plant (LTP) has several problems related to leachate treatment. In 2017 the aeration pond and wetland units stopped operating due to the cessation of operations. Leachate content in the operating processing unit has exceeded the quality standards, namely the BOD parameter of 178 mg/l, the COD parameter of 696 mg/l, and the pH parameter of 9.01, so an effort is needed to reduce the content of BOD, COD, and pH which do not meet quality standards. Every landfill activity that produces leachate must process it before entering water bodies based on Minister of Environment Regulation No. 59 of 2016. The calculation results for leachate discharge at Ngipik TPA are 237.75 m³/day. Evaluation of the existing conditions at TPA Ngipik, namely the equalization tank unit and the anaerobic baffled reactor tub. The redesign of the Ngipik TPA includes equalization tanks, anaerobic tanks, facultative tanks, biofilter tanks, and disinfection tanks. The results of leachate treatment can reduce BOD levels by 91%, COD levels by 93%, and TSS levels by 97%. The total budget plan for this plan is Rp. 3,891,004,000.00.

Kata Kunci: Leachate, Leachate Treatment Plant (LTP), Redesign, TPA Ngipik.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	xv
ABSTRAK.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
DAFTAR ISI.....	xxi
DAFTAR TABEL.....	xxv
DAFTAR GAMBAR	xxvii
DAFTAR RUMUS	xxix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Sampah	7
2.1.1 Jenis Sampah.....	7
2.1.2 Komposisi Sampah	8
2.1.3 Karakteristik Sampah.....	9
2.2 Air Lindi	11
2.2.1 Karakteristik Lindi	12
2.2.2 Mekanisme Pembentukan Air Lindi	14
2.3 Sistem Pengelolaan Air Lindi.....	15
2.3.1 Timbulan Air Lindi	16
2.3.2 Metode Neraca Air <i>Water Balance Method</i>	17
2.4 Pengolahan lindi	23
2.4.1 <i>Manual Bar Screen</i>	25
2.4.2 <i>Grit Chamber</i>	26
2.4.3 Bak Ekualisasi.....	27
2.4.4 Kolam Anaerobik.....	29
2.4.5 Kolam Fakultatif	31
2.4.6 Kolam Aerob (Aerasi).....	34
2.4.7 Kolam Maturasi.....	36
2.4.8 <i>Anaerobik Baffled Ractor (ABR)</i>	40
2.4.9 Biofilter	41
2.4.10 <i>Constructed Wetland</i>	42
2.4.11 Bak Kontrol dan Desinfeksi.....	43
2.5 Redesain Instalasi Pengolahan Lindi.....	43
2.6 Penelitian Terdahulu.....	44
BAB III METODE PENELITIAN	47
3.1 Umum.....	47
3.2 Lokasi Penelitian	47

3.3	Waktu Penelitian.....	51
3.4	Tahap Penelitian	51
3.4.1	Kerangka Pikir Perencanaan.....	51
3.4.2	Tahapan Penelitian	52
3.4.3	Tahapan Persiapan.....	54
3.4.4	Tahap Pelaksanaan	54
3.5	Alat dan Bahan.....	55
3.6	Langkah-Langkah Penelitian	56
3.7	Analisis Data.....	60
3.7.1	Analisis Debit Air Lindi	61
3.7.2	Evaluasi Kondisi Eksisting di TPA Ngipik	61
3.7.3	Unit Rekomendasi untuk Redesain Instalasi Air Lindi pada TPA Ngipik.....	62
3.7.4	Perhitungan Bill of Quantity dan Rencana Anggaran Biaya	62
3.7.5	Pembuatan <i>Standart Operating Procedure</i> (SOP) IPAL	63
4	BAB IV GAMBARAN UMUM WILAYAH PERENCANAAN	65
4.1	Sejarah Unit Pelaksana Teknis (UPT) Tempat Pemrosesan Akhir (TPA).....	65
4.2	Lokasi UPT TPA Ngipik	66
4.3	Tugas Pokok dan Fungsi UPT TPA Ngipik.....	67
4.4	Struktur Organisasi UPT TPA Ngipik	67
4.5	Sarana dan Prasarana UPT TPA Ngipik	69
4.6	Sumber dan Timbulan Sampah.....	69
4.7	Geografis TPA Ngipik	70
4.7.1	Data Presipitasi dan Temperatur.....	70
4.7.2	Data temperatur	71
BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN	73
5.1	Analisis Debit Air Lindi	73
5.1.1	Menentukan Jenis Tanah	74
5.1.2	Data Presipitasi dan temperatur	74
5.1.3	Potensi Evapotranspirasi dengan Metode <i>Water Balance Method</i>	74
5.1.4	Debit Air Lindi	82
5.2	Analisis Kualitas Air Lindi	83
5.2.1	Analisis Kualitas Air Lindi pada Inlet IPAL TPA	83
5.2.2	Analisis Kualitas Air Lindi pada Outlet IPAL TPA.....	85
5.3	Evaluasi Kondisi Eksisting TPA Ngipik	88
5.3.1	Evaluasi Bak Ekualisasi	89
5.3.2	ABR (<i>Anaerobic Baffled Reactor</i>)	92
5.3.3	Mass Balance Hasil Evaluasi IPAL TPA	98
5.4	Redesain Instalansi Pengolahan Air Lindi pada TPA Ngipik.....	101
5.4.1	Pemilihan Alternatif Proses IPAL Menggunakan <i>Efisiensi Removal</i>	101
5.4.2	Perhitungan Detail Dimensi Redesain Instalasi Pengolahan Air Lindi	105
5.4.3	Detail Perencanaan Pengolahan Air Lindi TPA Ngipik.....	128
5.5	Perhitungan Rencana Anggaran Biaya dan <i>Bill of Quantity</i>	140
5.6	<i>Standart Operating Procedure</i>	143
5.6.1	Pengoperasian IPAL	143

5.6.2 Perawatan IPAL	144
5.6.3 Pemberhentian Operasional IPAL.....	145
BAB VI PENUTUP	147
6.1. Kesimpulan.....	147
6.2. Saran	147
DAFTAR PUSTAKA	149
LAMPIRAN.....	153
Lampiran A.1 (Hasil Laboratorium).....	153
Lampiran A.2 (Hasil Perhitungan Neraca Air TPA Ngipik Metode <i>Water Balance Method</i>).....	157
Lampiran A.3 (Dokumentasi Sampling TPA Ngipik)	161
Lampiran A.4 (Gambar Desain IPAL TPA Ngipik).....	165
Lampiran A.5 (Hasil Perhitungan Bill of Quantity dan Rencana Anggaran Biaya).....	179



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Lindi Berdasarkan Umur Landfill	13
Tabel 2.2	Baku Mutu Effluent Air Lindi	14
Tabel 2.3	Jumlah Air yang Tersedia Menurut Jenis Tanah	19
Tabel 2.4	Koefisien Penyesuaian Menurut Bujur dan Bulan	20
Tabel 2.5	Menentukan Nilai Empire pada Koefisien Runoff	21
Tabel 2.6	Simpanan Air Dalam Tanah ST – 100 mm	22
Tabel 2.7	Jenis Pengolahan Beserta Tingkat Efisiensi	24
Tabel 2.8	Kriteria Desain Unit Manual Bar Screen.....	25
Tabel 2.9	Kriteria Desain Grit Chamber	27
Tabel 2.10	Kriteria Desain Unit Ekualisasi	28
Tabel 2.11	Kriteria Desain Volumetric BOD Loading Rate dan Presentase Penyisihan BOD	30
Tabel 2.12	Kriteria Desain Waktu Retensi Dimensi Kolam Anaerobik.....	30
Tabel 2.13	Kriteria Desain Kolam Fakultatif	34
Tabel 2.14	Kriteria Desain Kolam Aerasi	35
Tabel 2.15	Kriteria Desain Kolam Maturasi	38
Tabel 2.16	Kriteria Desain Unit Pengolahan ABR.....	41
Tabel 2.17	Kriteria Desain Biofilter	42
Tabel 2.18	Kriteria Desain dan Kualitas Effluent Kolam Wetland.....	43
Tabel 2.19	Kriteria Desain Bak Kontrol dan Desinfeksi.....	43
Tabel 2.20	Penelitian Terdahulu.....	44
Tabel 3.1	Pengumpulan Data.....	55
Tabel 3.2	Alat dan Bahan Penelitian	55
Tabel 4.1	Struktur Organisasi UPT TPA Ngipik.....	69
Tabel 4.2	Jumlah Sampah Masuk TPA Ngipik	69
Tabel 4.3	Data Curah Hujan Bulanan Stasiun BMKG Wilayah 3 Sangkapura Kabupaten Gresik	70
Tabel 4.4	Temperatur Maksimum Bulanan Stasiun BMKG Wilayah 3 Sangkapura Kabupaten Gresik.....	71
Tabel 5.1	Nilai Heat Index	75
Tabel 5.2	Hasil Perhitungan Debit dengan Metode Water Balance Method..	81

Tabel 5.3	Hasil Analisis Kualitas Air Lindi pada Inlet diTPA Ngipik	84
Tabel 5.4	Hasil Analisis Kualitas Air Lindi pada outlet diTPA Ngipik	86
Tabel 5.5	Perbandingan pada Unit Bak Ekualisasi dari Hasil Perhitungan Dengan Hasil Lapangan	91
Tabel 5.6	Evaluasi Unit Anaerobic Baffled Reactor dari Hasil Perhitungan dengan Hasil Lapangan	95
Tabel 5.7	Perbandingan Effluen pada Unit Anaerobic Baffled Reactor dari Hasil Perhitungan Dengan Hasil Labulatorium	97
Tabel 5.8	Hasil Effluen Karakteristik Air Lindi pada IPAL di TPA Ngipik .	98
Tabel 5.9	Perhitungan alternatif pemilihan Pengolahan IPAL TPA Ngipik	103
Tabel 5.10	Rekapan Effluent Outlet Alternatif	105
Tabel 5.11	Rekap Hasil Dimensi Bak Ekualisasi	108
Tabel 5.12	Rekap Hasil Dimensi Bak Anaerobik	111
Tabel 5.13	Data Effluent Bak Anaerobik	112
Tabel 5.14	Rekap Hasil Dimensi Bak Fakultatif	115
Tabel 5.15	Data Effluent Bak Fakultatif	118
Tabel 5.16	Rekap Hasil Dimensi Bak Biofilter	123
Tabel 5.17	Data Effluent Bak Biofilter	125
Tabel 5.18	Rekap Hasil Dimensi Bak Desinfeksi dan Bak Kontrol	127
Tabel 5.19	Rekap Profil Hidrolisis IPAL	138
Tabel 5.20	Produksi Volume Lumpur dari Penyisihan Bahan Organik	139
Tabel 5.21	Frekuensi Pengurasan Tiap Unit	140
Tabel 5.22	Perhitungan RAB Redesain IPAL TPA Ngipik	142
Tabel 5.23	Rekap RAB Redesain IPAL TPA Ngipik	143

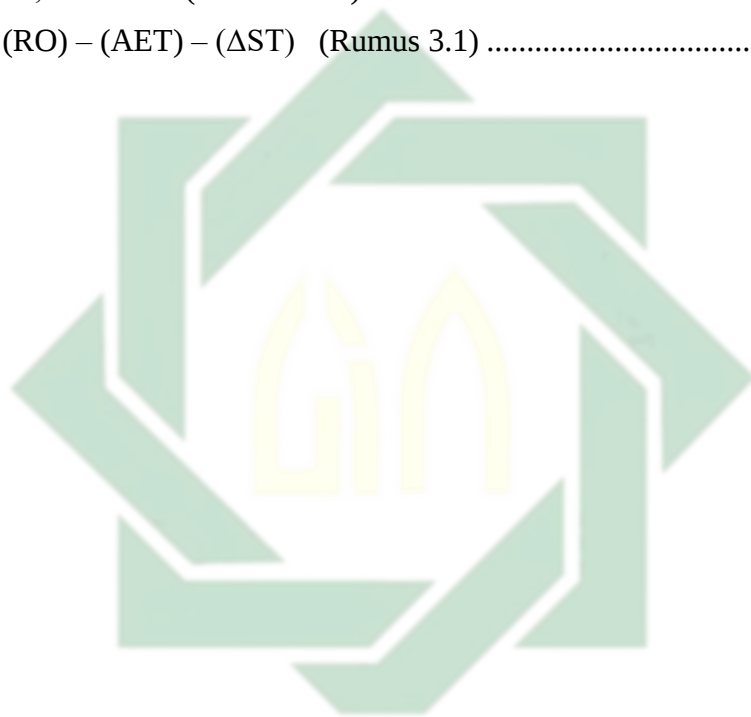
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Terjadinya Lindi pada Landfill Tertutup	15
Gambar 2.2 Metode Neraca Air (Water Balance Method).....	16
Gambar 2.3 Segitiga Tekstur	19
Gambar 2.4 Unit Pengolahan Kolam Anaerobik.....	29
Gambar 2.5 Unit Pengolahan Kolam Fakultatif	32
Gambar 2.6 Unit Pengolahan Kolam Aerob (Aerasi).....	35
Gambar 2.7 Unit Pengolahan Kolam Maturasi.....	37
Gambar 2.8 Unit Pengolahan Anaerobik Baffle Reactor	40
Gambar 3.1 Lokasi TPA Ngipik Kabupaten Gresik.....	48
Gambar 3.2 Kondisi Eksisting IPAL TPA Ngipik	49
Gambar 3.3 Kerangka Pikir Perencanaan	51
Gambar 3.4 Diagram Alir Tahapan Perencanaan	53
Gambar 4.1 Struktur Organisasi UPT TPA Ngipik	68
Gambar 4.2 Grafik Jumlah Sampah Masuk TPA Ngipik	70
Gambar 5.1 Pengukuran parameter secara insitu pada Inlet IPAL TPA Ngipik: (a) pengukuran suhu; (b) pengukuran Ph	84
Gambar 5.2 Pengukuran parameter secara insitu pada Outlet IPAL TPA Ngipik: (a) pengukuran suhu; (b) pengukuran pH	86
Gambar 5.3 Diagram Alir Proses Pengolahan Air Lindi Eksisting di TPA Ngipi	88
Gambar 5.4 Bak Ekualisasi di IPAL TPA Ngipik	89
Gambar 5.5 Unit Anaerobic Baffled Reactor	92
Gambar 5.6 Diagram Alir Proses IPAL TPA Ngipik	100
Gambar 5.7 Diagram Bagan Redesain Proses Pengolahan Air Lindi	106
Gambar 5.8 Diagram Alir Proses IPAL TPA Ngipik	129

DAFTAR RUMUS

PERC	= $P - (RO) - (AET) - (\Delta ST)$ (Rumus 2.1).....	17
I	= $P - (R/O)$ (Rumus 2.2).....	17
APWL	= $\sum \text{NEG} (I - PET)$ (Rumus 2.3).....	18
AET	= $(PET) + [(I - PET) - (\Delta ST)]$ (Rumus 2.4)	18
I	= $0.12(T/5)1.514$ (Rumus 2.5).....	20
PET	= $c \times 10TmIa$ (Rumus 2.6).....	20
a	= $(0.000000675 \times Hi^3) - (0.0000771 \times Hi^2) - (0.01792 \times Hi) + 0.49239$ (Rumus 2.7).....	20
Adj PET	= $r \times PET$ (Rumus 2.8).....	21
Ro	= $P \times Cr$ (Rumus 2.9).....	21
I	= $P - Ro$ (Rumus 2.10).....	21
A	= <i>debit puncakkecepatan aliran lewat saringan</i> (Rumus 2.11)....	26
Ab	= <i>luas bukaankedalaman aliran</i> (Rumus 2.12).....	26
n	= <i>lebar bukaan dibutuhkanjarak bukaan</i> (Rumus 2.13).....	26
nb	= <i>jumlah bukaan – 1</i> (Rumus 2.14)	26
T	= <i>tinggi saluransinkemiringan saringan</i> (Rumus 2.15)	26
V	= <i>debit desainwaktu detensi</i> (Rumus 2.16).....	27
r	= <i>volume chamberlebar x kedalaman</i> (Rumus 2.17).....	27
λ_v	= $Li QV a$ (Rumus 2.18)	30
Qa	= VaQ (Rumus 2.19)	30
Aa	= $Q \theta aQ = Li Q \lambda v Da$ (Rumus 2.20).....	31
λ_s	= $350(1.107 - 0.002T)^{(T-20)}$ (Rumus 2.21)	32
λ_s	= $10 Li Q Af$ (Rumus 2.22).....	33
θ_f	= $2 Af Df(2 Qt - 0.001 e Af)$ (Rumus 2.23)	33
Le	= $Li1 + K1 \theta_f$ (Rumus 2.24)	33
Qe	= $Qi - 0.001 e Af$ (Rumus 2.25).....	34
Le	= $Li (mgl)1 + KT \theta$ (Rumus 2.26).....	35
X	= $Y (Li - Le)1 + b \theta$ (Rumus 2.27).....	36
A	= $Q \theta DL$ (Rumus 2.28)	36
θ_a	= $A'x DLQ$ (Rumus 2.29).....	36
Beban volumetric	= $Li \times QV$ (Rumus 2.30)	36

Ne	= $Ni(1 + (KB \theta$ (Rumus 2.31)	37
Ne	= $Ni(1 + KB\theta a)(1 + KB\theta f)(1 + KB\theta m)n$ (Rumus 2.32).....	38
$\theta m1$	= $10Le fac Dm 0,75 \lambda(fac)$ (Rumus 2.33).....	38
θm	= $Ni Ne \{(1 + KB \theta a)(1 + KB \theta f)(1 + KB \theta m)^{1/n} - 11KB(T)$ (Rumus 2.34)	39
Am1	= $2 Qi \theta m(2Dm - 0,001 e \theta m$ (Rumus 2.35).....	39
Le	= $Li(1 + ki \theta m$ (Rumus 2.36).....	39
Qe	= $Qi - 0,001 e Am$ (Rumus 2.37)	40
PERC	= $P - (RO) - (AET) - (\Delta ST)$ (Rumus 3.1)	61



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Tabel Nilai Potensi Evapotranspirasi.....	158
Lampiran 2	Tabel Nilai r (Daylight factor).....	158
Lampiran 3	Tabel Nilai dari Adjusted PET	158
Lampiran 4	Tabel Nilai Koefisien Run off dan Run off Bulanan.....	159
Lampiran 5	Tabel Nilai Infiltrasi	159
Lampiran 6	Tabel Nilai Air yang Tersedia Untuk Penyimpanan.....	159
Lampiran 7	Tabel Nilai ST dan Perubahan Nilai ST	160
Lampiran 8	Tabel Nilai AET	160
Lampiran 9	Tabel Nilai Perkolasi	160
Lampiran 10	Gambar didedan Instalasi Pengolahan Air Lindi TPA Ngipik	162
Lampiran 11	Gambar Pengambilan Sampel pada Inlet.....	162
Lampiran 12	Gambar Pengambilan Sampel pada Outlet.....	163
Lampiran 13	Gambar Pemberian Label Sampel yang akan di Uji Labolatorium	163
Lampiran 14	Harga Satuan Satuan Bahan.....	180
Lampiran 15	Harga Dasar Satuan Upah.....	181
Lampiran 16	Analisa Pembersihan Lapangan dan Perataan	184
Lampiran 17	Analisa Pengukuran dan Pemasangan Bouwplank.....	185
Lampiran 18	Analisa Menggali Tanah Biasa Sedalam 2 m	186
Lampiran 19	Analisa Pengukuran Kembali Galian Tanah.....	187
Lampiran 20	Analisa Pengukuran Dengan Pasir Urug	188
Lampiran 21	Analisa Membuat Beton Mutu $f_c=9,8$ MPa(K-125),Slump(12=3)cm, w/c=0,78.....	189
Lampiran 22	Analisa Membuat Beton Mutu $f_c=24,0$ MPa(K-275),Slump(12=3)cm, w/c=0,53.....	190
Lampiran 23	Analisa 10 Kg Dengan Besi Beton Polos	191
Lampiran 24	Analisa Pemasangan Bekisting untuk Sloof	192
Lampiran 25	Analisa Pemasangan Bekisting untuk Lantai	193
Lampiran 26	Analisa Pemasangan Bekisting untuk Dinding.....	194
Lampiran 27	Analisa Pemasangan Plesteran 1 SP : 3PP Tabel 20 mm	195
Lampiran 28	Analisa Pemasangan 1 m Pipa PVC Tipe AW Diameter 4" ...	196

Lampiran 29	Rekap Analisa RAB Pekerjaan Bak Ekualisasi	197
Lampiran 30	Rekap Analisa RAB Pekerjaan Bak Fakultatif	198
Lampiran 31	Rekap Analisa RAB Pekerjaan Bak Fakultatif	199
Lampiran 32	Rekap Analisa RAB Pekerjaan Bak Biofilter	200
Lampiran 33	Rekap Analisa RAB Pekerjaan Bak Disinfeksi	201
Lampiran 34	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembersihan Lahan Bak Ekualisasi	203
Lampiran 35	Perhitungan Volume Pekerjaan Pemasangan Bouwplank Bak Ekualisasi	204
Lampiran 36	Perhitungan Volume Pekerjaan Galian Tanah Bak Ekualisasi	205
Lampiran 37	Perhitungan Volume Pekerjaan Urugan Pasir Alas Pondasi Bak Ekualisasi	206
Lampiran 38	Perhitungan Volume Pekerjaan Urugan Tanah Kembali Bak Ekualisasi	207
Lampiran 39	Perhitungan Volume Pekerjaan Lantai Kerja (Beton K-125) Bak Ekualisasi	208
Lampiran 40	Perhitungan Volume Pekerjaan Beton K-275 Bak Ekualisasi	209
Lampiran 41	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Kolom dan Sloop Bak Ekualisasi	210
Lampiran 42	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Lantai Bak Ekualisasi	211
Lampiran 43	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Dinding Bak Ekualisasi	212
Lampiran 44	Perhitungan Volume Pekerjaan Bekisting Bak Ekualisasi.....	213
Lampiran 45	Perhitungan Volume Pekerjaan Pipa PVC Bak Ekualisasi.....	214
Lampiran 46	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembersihan Lahan Bak Anaerobik.....	215
Lampiran 47	Perhitungan Volume Pekerjaan Pemasangan Bouwplank Bak Anaerobik.....	216
Lampiran 48	Perhitungan Volume Pekerjaan Galian Tanah Bak Anaerobik	217
Lampiran 49	Perhitungan Volume Pekerjaan Urugan Pasir Alas Pondasi Bak Anaerobik.....	218

Lampiran 50	Perhitungan Volume Pekerjaan Urugan Tanah Kembali Bak Anaerobik	219
Lampiran 51	Perhitungan Volume Pekerjaan Lantai Kerja (Beton K-125) Bak Anaerobik	220
Lampiran 52	Perhitungan Volume Pekerjaan Beton K-275 Bak Anaerobik	221
Lampiran 53	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Kolom dan Sloop Bak Anaerobik	222
Lampiran 54	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Lantai Bak Anaerobik	223
Lampiran 55	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Dinding Bak Anaerobik	224
Lampiran 56	Perhitungan Volume Pekerjaan Bekisting Bak Anaerobik.....	225
Lampiran 57	Perhitungan Volume Pekerjaan Pipa PVC Bak Anaerobik	226
Lampiran 58	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Sloop Plat Bak Anaerobik	227
Lampiran 59	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Dinding Plat Bak Anaerobik	228
Lampiran 60	Perhitungan Volume Pekerjaan Bekisting Plat Bak Anaerobik	229
Lampiran 61	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembersihan Lahan Bak Fakultatif.....	230
Lampiran 62	Perhitungan Volume Pekerjaan Pemasangan Bouwplank Bak Fakultatif.....	231
Lampiran 63	Perhitungan Volume Pekerjaan Galian Tanah Bak Fakultatif	232
Lampiran 64	Perhitungan Volume Pekerjaan Urugan Pasir Alas Pondasi Bak Fakultatif.....	233
Lampiran 65	Perhitungan Volume Pekerjaan Urugan Tanah Kembali Bak Fakultatif.....	234
Lampiran 66	Perhitungan Volume Pekerjaan Lantai Kerja (Beton K-125) Bak Fakultatif.....	235
Lampiran 67	Perhitungan Volume Pekerjaan Beton K-275 Bak Fakultatif.	236
Lampiran 68	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Kolom dan Sloop Bak Fakultatif.....	237

Lampiran 69	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Lantai Bak Fakultatif	238
Lampiran 70	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Dinding Bak Fakultatif	239
Lampiran 71	Perhitungan Volume Pekerjaan Bekisting Bak Fakultatif	240
Lampiran 72	Perhitungan Volume Pekerjaan Pipa PVC Bak Fakultatif	241
Lampiran 73	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Sloop Plat Bak Fakultatif	242
Lampiran 74	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Dinding Plat Bak Fakultatif	243
Lampiran 75	Perhitungan Volume Pekerjaan Bekisting Plat Bak Fakultatif	244
Lampiran 76	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembersihan Lahan Bak Biofilter	245
Lampiran 77	Perhitungan Volume Pekerjaan Pemasangan Bouwplank Bak Biofilter	246
Lampiran 78	Perhitungan Volume Pekerjaan Galian Tanah Bak Biofilter ..	247
Lampiran 79	Perhitungan Volume Pekerjaan Urugan Pasir Alas Pondasi Bak Biofilter	248
Lampiran 80	Perhitungan Volume Pekerjaan Urugan Tanah Kembali Bak Biofilter	249
Lampiran 81	Perhitungan Volume Pekerjaan Lantai Kerja (Beton K-125) Bak Biofilter	250
Lampiran 82	Perhitungan Volume Pekerjaan Beton K-275 Bak Biofilter ...	251
Lampiran 83	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Kolom dan Sloop Bak Biofilter	252
Lampiran 84	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Lantai Bak Biofilter	253
Lampiran 85	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Dinding Bak Biofilter	254
Lampiran 86	Perhitungan Volume Pekerjaan Bekisting Bak Biofilter.....	255
Lampiran 87	Perhitungan Volume Pekerjaan Pipa PVC Bak Biofilter	256
Lampiran 88	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Dinding Plat Bak Biofilter	257

Lampiran 89	Perhitungan Volume Pekerjaan Beton K-275 Plat Bak Biofilter	258
Lampiran 90	Perhitungan Volume Pekerjaan Bekisting Plat Bak Biofilter	259
Lampiran 91	Perhitungan Volume Pekerjaan Media Filter Bak Biofilter ...	260
Lampiran 92	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembersihan Lahan Bak Desinfeksi	261
Lampiran 93	Perhitungan Volume Pekerjaan Pemasangan Bouwplank Bak Desinfeksi	262
Lampiran 94	Perhitungan Volume Pekerjaan Galian Tanah Bak Desinfeksi	263
Lampiran 95	Perhitungan Volume Pekerjaan Urugan Pasir Alas Pondasi Bak Desinfeksi	264
Lampiran 96	Perhitungan Volume Pekerjaan Urugan Tanah Kembali Bak Desinfeksi	265
Lampiran 97	Perhitungan Volume Pekerjaan Lantai Kerja (Beton K-125) Bak Desinfeksi	266
Lampiran 98	Perhitungan Volume Pekerjaan Beton K-275 Bak Desinfeksi	267
Lampiran 99	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Kolom dan Sloop Bak Desinfeksi	268
Lampiran 100	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Lantai Bak Desinfeksi	269
Lampiran 101	Perhitungan Volume Pekerjaan Pembesian Dinding Bak Desinfeksi	270
Lampiran 102	Perhitungan Volume Pekerjaan Bekisting Bak Desinfeksi.....	271
Lampiran 103	Perhitungan Volume Pekerjaan Pipa PVC Bak Desinfeksi	272
Lampiran 104	Rekap Volume RAB Pekerjaan Bak Ekualisasi	273
Lampiran 105	Rekap Volume RAB Pekerjaan Bak Anaerobik.....	274
Lampiran 106	Rekap Volume RAB Pekerjaan Bak Fakultatif	275
Lampiran 107	Rekap Volume RAB Pekerjaan Bak Biofilter	276
Lampiran 108	Rekap Volume RAB Pekerjaan Bak Desinfeksi.....	277
Lampiran 109	Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya Bak Ekualisasi.....	278
Lampiran 110	Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya Bak Anaerobik	279
Lampiran 111	Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya Bak Fakultatif.....	280

Lampiran 112	Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya Bak Biofilter	281
Lampiran 113	Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya Bak Desinfeksi	282
Lampiran 114	Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan Seluruh Unit Pengolahan IPAL	283
Lampiran 115	Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya Seluruh Unit Pengolahan IPAL	284



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah selalu menjadi permasalahan bagi lingkungan sekitar kita. Pengelolaan dan pengolahan sampah sering kali belum sesuai dengan peraturan yang berlaku sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan. Timbulan sampah di Indonesia mencapai 26,8 juta ton dalam setahun menurut data Kementerian Lingkungan Hidup 2021. Besarnya timbulan sampah tersebut terbagi ke dalam beberapa komposisi meliputi sampah sisa makanan sebesar 29,8%, kayu 12,6%, plastik 15,5%, kertas 11,8%, karet 3,4%, kain 6,3%, kaca 6%, logam 6,4%, lainnya 8,3% (SIPSN, 2021). Karakteristik sampah berpengaruh pada komposisi sampah baik secara kimia, fisika, dan biologi. Karakteristik kimia berupa kadar volatile, kadar air, dan kadar abu. Karakteristik fisik meliputi distribusi ukuran, ukuran partikel, dan berat jenis. Karakteristik biologi menghasilkan cairan berupa lindi yang berasal dari dekomposisi oleh mikroorganisme di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) (Damanhuri & Padmi, 2010).

Meningkatnya timbulan sampah berpotensi untuk mencemari lingkungan. Salah satu sumber pencemar berasal dari air lindi yang merupakan cairan hasil dekomposisi biologis sampah yang tercampur dengan air dan melarutkan unsur organik maupun anorganik yang dapat berbahaya bagi lingkungan. Air lindi harus diolah terlebih dahulu sebelum dikembalikan ke lingkungan untuk mencegah masuknya unsur unsur pencemar ke badan air terdekat ataupun air tanah yang mengakibatkan menurunnya kualitas air tanah (Wang, dkk., 2018).

Indonesia memiliki sistem pengelolaan sampah di TPA berupa open dumping, *controlled landfill*, dan *sanitary landfill*. *Sanitary Landfill* adalah sistem pengolahan sampah dengan cara membuang sampah ke suatu lahan dengan pemadatan sampah lalu ditutup oleh tanah kembali. Metode *sanitary landfill* memiliki konsekuensi, yaitu membutuhkan lahan yang luas dan biaya pengolahan yang besar (Moerdjoko & Widyatmoko, 2002). Sedangkan

metode open dumping adalah sistem pengolahan sampah yang dilakukan dengan cara membuang sampah begitu saja sehingga terjadi penumpukan dan menggunung dalam sebuah tempat pembuang akhir tanpa lapisan pada dasar permukaan tanah serta saluran air lindi. Dampak dari sistem Open Dumping ini adalah terjadinya aliran lindi yang menuju ke permukaan tanah mengakibatkan tercemarnya air tanah oleh air lindi (Arsyadi, 2017).

TPA Ngipik merupakan salah satu TPA di Indonesia yang berlokasi di Kabupaten Gresik. Luas area TPA Ngipik seluas 6 Ha terdiri dari 4 Ha untuk lahan pembuangan sampah dan 2 Ha diperuntukan bagi sarana prasarana operasional TPA. Awal pembangunan sistem pengelolaan sampah di TPA Ngipik menggunakan Sanitary Landfill, akan tetapi penerapannya saat ini menggunakan *open dumping*. Hal tersebut dikarenakan biaya yang kurang memadai dan cara pengawasan masih kurang baik (BAPPEDA Kabupaten Gresik, 2018).

Sistem *open dumping* yang diterapkan TPA Ngipik dapat menimbulkan pencemaran bagi lingkungan di sekitar TPA (Thomas & Santoso, 2019). Salah satu pencemaran yang dikhawatirkan adalah pencemaran dari lindi di TPA yang masih belum sesuai baku mutu. Karakteristik air lindi di TPA sangat bervariasi bergantung pada proses pengolahan sampah yang dilakukan. Proses pengolahan sampah meliputi proses fisik, biologi, dan kimia. Proses pengelolaan sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya jenis sampah yang dihasilkan, lokasi TPA pada operasi sampah, hidrologi, curah hujan, aktivitas biologis oleh mikroorganisme, dan proses pengolahan air lindi. Pengolahan air lindi dapat dilakukan secara aerob maupun anaerob (Ar & Wiyanti, 2018). karakteristik lindi yaitu: *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 3.000 - 60.000 mg/L, *Biologycal Oxygen Demand* (BOD) sebesar 2.000 - 30.000 mg/L, pH sebesar 4,5 – 7,5, *Total Suspended Solid* (TSS) sebesar 200 – 2.000 mg/L (Damanhuri, 2010), N-Total sebesar 50 – 5.000 mg/L, Merkuri 0,00463 mg/L, kadmium sebesar 0,00075 – 0,00625 mg/L (Arsyadi, 2017).

Ajaran Islam telah mengajari bahwa jangan membuat kerusakan lingkungan lebih baik menjaga lingkungan agar bumi tetap terjaga dengan baik sebagaimana firman Allah SWT sebagai berikut:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا ۚ إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik (QS. Al-Araf:56).

Instalasi Pengolahan Air Lindi (IPAL) TPA Ngipik memiliki beberapa permasalahan terkait pengolahan air lindi. Tahun 2016 Instalasi pengolahan lindi pada TPA Ngipik mempunyai 3 unit yang beroperasi yaitu *Anaerobik Baffled Reactor* (ABR), kolam aerasi dan *wetland*. Tahun 2017 unit kolam aerasi dan *wetland* berhenti beroperasi dikarenakan berhentinya operasi. Untuk menggantikan unit yang sudah tidak beroperasi pada tahun 2018 terdapat penambahan 2 unit ABR Pabrikan, akan tetapi unit tersebut hanya digunakan pada saat musim hujan agar air lindi yang dihasilkan tidak *overload*. Namun hingga saat ini kandungan air lindi pada unit pengolahan yang beroperasi telah melebihi baku mutu yaitu parameter BOD 178 mg/l, parameter COD 696 mg/l, dan parameter pH 9,01, sehingga diperlukan suatu upaya untuk menurunkan kandungan BOD, COD, dan pH yang belum memenuhi baku mutu (DLH Kabupaten Gresik, 2019).

Berdasarkan permasalahan yang terjadi di atas, maka diperlukan redesain instalasi pengolahan air lindi di TPA Ngipik, agar air lindi dapat dikelola dengan baik dan benar sehingga tidak mencemari lingkungan sekitar.

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah yang dapat diambil berdasarkan latar belakang di atas adalah:

1. Karakteristik effluent air lindi dari IPAL belum memenuhi baku mutu Permen LHK Republik Indonesia Nomor P.59 Tahun 2016 tentang Baku mutu lindi bagi usaha dan/atau kegiatan tempat pemrosesan akhir sampah.
2. Instalasi pengolahan air lindi yang tidak beroperasi.

1.3 Rumusan Masalah

Identifikasi masalah dapat dijadikan rujukan untuk rumusan masalah yang dapat diambil berdasarkan identifikasi masalah adalah:

1. Berapa debit air lindi di TPA Ngipik?
2. Bagaimana karakteristik air lindi di TPA Ngipik yang dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59 Tahun 2016 tentang Baku mutu lindi bagi usaha dan/atau kegiatan tempat pemrosesan akhir sampah.
3. Bagaimana kondisi eksisting IPAL TPA Ngipik?
4. Bagaimana redesain Instalansi pengolahan air lindi pada TPA ngipik?
5. Berapa *Bill of Quantity* dan rencana anggaran biaya redesain pembangunan IPAL pada TPA Ngipik?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang dapat diambil berdasarkan rumusan masalah adalah:

1. Menghitung debit air lindi pada TPA Ngipik.
2. Menentukan karakteristik pH, BOD, COD, TSS, N-Total, merkuri, dan kadmium pada air lindi di TPA Ngipik.
3. Mengevaluasi kondisi eksisting IPAL TPA Ngipik.
4. Meredesain Instalasi pengolahan air lindi pada TPA Ngipik. .

5. Mengestimasi *Bill of Quantity* dan rencana anggaran biaya berdasarkan HSPK Kabupaten Gresik, Jawa Timur Tahun 2022 serta menghitung Rencana Anggaran biaya pembangunan IPAL pada TPA Ngipik.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari perencanaan ini dibagi beberapa pihak dapat disebutkan sebagai berikut:

1. Manfaat Bagi Akademisi

Memberikan kontribusi ilmiah dan rujukan referensi penelitian selanjutnya tentang redesain instalasi pengolahan air lindi di TPA Ngipik.

2. Manfaat Bagi Instansi Terkait

- a) Memberikan gambaran mengenai redesain perencanaan pengolahan air lindi di TPA Ngipik.
- b) Memberikan berapa besar rencana biaya anggaran untuk redesain instalasi pengolahan air lindi di TPA Ngipik.

3. Manfaat Bagi Masyarakat

Penelitian ini dapat dijadikan wawasan serta pengetahuan terkait perencanaan redesain pengolahan lindi pada TPA Ngipik.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah yang dapat diambil berdasarkan indentifikasi masalah adalah:

1. Lokasi penelitian dilakukan di TPA Ngipik di Kelurahan Roomo, Kecamatan Gresik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur.
2. Baku mutu *effluent* lindi yang digunakan adalah Permen LHK Republik Indonesia Nomor P.59 Tahun 2016 tentang Baku mutu lindi bagi usaha dan/atau kegiatan tempat pemrosesan akhir sampah.
3. Parameter air lindi yang diukur adalah pH, BOD, COD, TSS, N-Total, merkuri, dan kadmium.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sampah

Sampah merupakan suatu bahan buangan dari kegiatan manusia maupun proses alam yang tidak ada nilai ekonomis dan tidak mempunyai manfaat. Pencemaran sampah pada berbagai tempat dapat menyebabkan penurunan keindahan lingkungan pada sekitarnya, mendatangkan berbagai jenis penyakit, mengurangi kualitas sumber daya alam, terjadi penyumbatan di saluran drainase dan dampak buruk lainnya (Damanhuri & Padmi, 2010)

Secara umum sampah tergolong dari hayati biasanya dapat diperoleh dari kota besar yang terdiri dari 70% dari seluruh jumlah sampah, serta 28% diperoleh dari sampah yang tergolong dari non hayati yang biasanya digunakan objek kegiatan, sisanya sekitar 2% diperoleh dari sampah jenis B3 yang perlu dikelola supaya tidak membahayakan untuk lingkungan serta makhluk hidup (Damanhuri & Padmi, 2010).

2.1.1 Jenis Sampah

Menurut (UU-18/2008), jenis sampah berdasarkan sumber sampah dibagi menjadi tiga terdiri dari:

a. Sampah rumah tangga (domestik)

Sampah jenis ini merupakan sampah yang dihasilkan dari aktivitas sehari-hari kegiatan rumah tangga, kecuali limbah tinja dan spesifik. Contoh jenis sampah rumah tangga atau domestik diantaranya sampah sayuran, sisa makanan, kayu, dll

b. Sampah sejenis sampah rumah tangga

Sampah jenis ini merupakan sampah yang dihasilkan dari aktivitas-aktivitas rumah tangga pada kawasan industri, komersial, fasilitas umum, fasilitas sosial, dan lain-lain.

c. Sampah spesifik

Sampah spesifik merupakan jenis sampah yang tercemar bahan berbahaya dan beracun (B3), sampah yang dihasilkan dari

kegiatan pembongkaran bangunan, sampah yang ditimbulkan akibat terjadinya bencana, serta sampah yang belum bisa diolah oleh teknologi.

Menurut (UU-18/2008), jenis sampah berdasarkan golongannya dibedakan menjadi tiga yaitu:

a. Sampah organik (basah)

Sampah organik merupakan sampah yang dapat didegradasikan secara alami dengan bantuan mikroba. Sampah jenis ini dihasilkan dari makhluk hidup seperti sisa makanan, sampah dapur, daun-daun yang gugur, dan lain-lain.

b. Sampah anorganik atau kering

Sampah anorganik merupakan sampah yang tidak dapat terurai atau terdegradasi dengan bantuan mikroba secara alami. Contoh sampah anorganik diantaranya logam, plastik, kaca, botol, dan lain-lain.

c. Sampah berbahaya

Sampah berbahaya merupakan sampah yang dalam fase padat, gas, maupun cair berpotensi menyebabkan bahaya bagi manusia sehingga membutuhkan penanganan yang khusus. Sampah berbahaya ini banyak terdapat di lingkungan sekitar dan seringkali tidak disadari bahayanya, diantaranya baterai bekas, limbah nuklir, jarum suntik bekas pakai, pengharum ruangan habis pakai, pembasmi serangga dan insektisida, obat kadaluarsa, dan lain sebagainya.

2.1.2 Komposisi Sampah

Komposisi sampah adalah suatu penggambaran yang berasal dari komponen-komponen yang terdapat di sampah dan juga distribusinya. Data komposisi sampah ini merupakan data yang krusial untuk mengevaluasi pengolahan sampah yang dijalankan, peralatan yang diperlukan, sistem yang berlaku, dan untuk merencanakan manajemen persampahan di suatu kota.

Pengelompokan sampah yang seringkali digunakan adalah pengelompokan sampah sesuai dengan komposisi sampah (Damanhuri & Padmi, 2015). Komposisi sampah juga dipengaruhi oleh beberapa faktor:

a. Frekuensi Pengumpulan

Tingginya tumpukan yang terbentuk dikarenakan banyaknya sampah yang dikumpulkan kecuali pada sampah organik yang akan berkurang akibat pembusukan. Namun tumpukan sampah kertas dan kering akan terus bertambah karena sulit terdegradasi.

b. Kondisi Ekonomi

Merupakan daerah penghasil sampah yang berbahan dasar kertas, kaleng dan lainnya.

c. Musim

Jenis sampah akan dipengaruhi oleh musim, seperti pada musim buah-buahan yang sedang berlangsung.

d. Kemasan Produk

Kemasan produk digunakan dalam kebutuhan sehari-hari yang mempengaruhi komposisi sampah. Negara maju biasanya menggunakan kemasan produk dalam kehidupan sehari-hari berupa kertas, sedangkan negara berkembang banyak memakai kemasan produk berupa plastik.

e. Cuaca

Cuaca dapat mempengaruhi komposisi sampah pada daerah yang mempunyai kandungan air yang tinggi dapat menyebabkan kelembapan pada sampah meningkat.

2.1.3 Karakteristik Sampah

Karakteristik sampah sangat diperlukan untuk melakukan manajemen pengolahan sampah. beberapa faktor yang memberikan pengaruh pada karakteristik sampah antara lain pendapatan masyarakat, produksi pertanian, perindustrian, dan pertumbuhan

penduduk, serta perubahan musim (Tchobanoglous, dkk., 1993). berikut merupakan 3 kategori karakteristik sampah:

a. Karakteristik secara fisik

Karakteristik fisik sampah terdiri dari:

1) Berat jenis

Berat jenis merupakan berat material per unit volume dapat dinyatakan dalam satuan lb/lb yd^3 atau kfm^3 . data tersebut merupakan alat yang digunakan untuk menghitung beban massa dan volume total dari timbunan sampah. adapun faktor yang dapat memengaruhi adalah musim, komposisi sampah, dan durasi penyimpanan

2) Kelembapan

kelembapan pada sampah dapat ditentukan dengan dua cara yaitu ukuran berat kering dan berat basah. ukuran kelembapan yang umum digunakan untuk manajemen persampahan adalah persen (%) berat basah. data tersebut berguna untuk merencanakan bahan wadah, periodisasi, desain sistem pengolahan, dan pengumpulan. kelembapan sampah dapat dipengaruhi oleh musim, komposisi sampah, curah hujan, dan kadar humus.

3) Ukuran dan distribusi partikel

Tujuan dari penentuan ukuran dan distribusi partikel adalah untuk menentukan jenis sarana pengolahan sampah dengan cara memisahkan partikel besar dan kecil. Pada sampah perkotaan, ukuran komponen rata-rata berkisar 7-8 inch.

b. Karakteristik secara kimia

karakteristik kimia sampah digunakan untuk mengevaluasi alternatif proses dan sistem recovery pengolahan sampah.

Karakteristik sampah secara kimia terdiri dari:

1) Kandungan energi

Kandungan energi dalam sampah dapat dihitung menggunakan kalorimeter atau bomb calorimeter. Selain itu, perhitungan manual juga dapat mengetahui kandungan energi dalam sampah.

2) Kandungan kimia

Kandungan kimia dipergunakan untuk mengetahui tingkat bahaya bahan seperti karbon, oksigen, hidrogen, sulfur, nitrogen, dan abu.

3) Ultimate analysis

Ultimate Analysis terdiri dari penentuan unsur Hidrogen (H), Nitrogen (N), Karbon (C), Oksigen (O), dan Sulfur (S) pada sampah (Tchobanoglous, 1993).

4) Titik lebur abu

Titik lebur abu adalah proses pembakaran yang menghasilkan abu, titik temperatur yang dihasilkan berkisar 1100 – 1200°C.

c. Karakteristik biologi

Karakteristik biologi sampah terdiri dari bau, biodegradabilitas komponen organik, dan populasi lalat. Lindi dari timbunan sampah di TPA merupakan hasil dari dekomposisi sampah secara biologi oleh mikroorganisme sehingga menghasilkan cairan (Damanhuri & Padmi, 2010).

2.2 Air Lindi

Air lindi adalah air dengan konsentrasi zat organik yang sangat tinggi dikembangkan di tempat pembuangan sampah karena air hujan memasuki TPA. Air lindi yaitu air yang berbahaya karena adanya kandungan zat tersuspensinya tinggi (Meidinariasty, dkk., 2019). Lindi TPA dapat diartikan sebagai sumber potensial kontaminasi permukaan tanah serta permukaan air, karena dapat merembes melalui tanah dan lapisan tanah yang menyebabkan sungai terkontaminasi maka harus dilakukan pengumpulan air lindi dengan

benar, diolah dan dibuang ke badan air sesuai baku mutu (Li *et al.* 2010). Dari sebagian besar TPA, air lindi adalah produk sampingan dari sanitary landfill karena terhadap konsentrasi polutannya yang besar harus dirawat sebelum di salurkan ke badan air. Jumlah keseluruhan dari lindi yang dihasilkan oleh sanitary landfill limbah padat memiliki mencapai 30 juta ton pertahun. Karena posisi sampah sangat kompleks dengan kandungan organik tinggi, amoniak nitrogen, dan lindi TPA dianggap menjadi air limbah khusus. Pembuangan lindi ke lingkungan akan menyebabkan kerusakan permanen, terutama untuk sistem air tanah (Wang, *et al.*, 2018).

2.2.1 Karakteristik Lindi

Permasalahan yang utama dalam pengolahan air lindi yaitu untuk mengetahui karakteristik lindi yang nantinya akan dikelola di instalasi pengolahan air lindi (IPAL). Karakteristik lindi diperoleh dari hasil uji sampling yang pada umumnya karakteristik lindi yaitu cairannya berwarna coklat pekat, mengandung zat organik yang terdiri dari COD serta BOD yang tinggi, kandungan logam berat yang sangat berbau septik. Bahan kimia dari air lindi tsb dapat berubah tergantung pada beberapa hal yaitu (Damanhuri & Padmi, 2015):

1. Komposisi serta karakteristik lindi

Komposisi serta Karakteristik lindi yang mengandung zat organik dipengaruhi oleh pembuangan sampah di TPA dan karakteristik lindi yang diperoleh. Adanya zat berbahaya bagi mikroorganisme akan memperlambat siklus degradasi.

2. Jenis tanah untuk menutup TPA

Porositas tanah untuk menutup TPA akan mempengaruhi jumlah air hujan yang masuk ke dalam permukaan tanah akan mempengaruhi jumlah air lindi yang dihasilkan.

3. Musim

Perubahan musim secara umum dapat mempengaruhi jumlah produksi air lindi yang berbeda dan konsentrasinya. Pada

musim hujan jumlah lindi yang diperoleh lebih besar tetapi konsentrasi lebih rendah berbeda dengan musim kemarau air hujan yang turun hanya sebagai pengencer.

4. pH

Nilai pH dipengaruhi oleh siklus kimia yang merupakan pertukaran massa pada sistem air lindi. Pada umumnya bahwa pH di TPA memiliki sifat yang dingin masih berada pada rentang standar baku mutu yaitu 6,0 – 9,0.

Umumnya keberadaan polutan seperti ammonia dalam konsentrasi yang tinggi di lindi yang dihasilkan TPA dalam jangka waktu yang panjang akan dapat menyebabkan terjadinya pertumbuhan algae secara besar-besaran, penurunan kinerja sistem biologis di air, percepatan eutrofikasi, penipisan oksigen terlarut, peningkatan toksisitas hidup organisme dalam badan air (Damanhuri & Padmi, 2015). Karakteristik lindi berdasarkan umur landfill dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Karakteristik Lindi Berdasarkan Umur Landfill

Parameter	Landfill Umur <2 Tahun		Landfill Umur > 10 Tahun
	Rentang	Tipikal	
BOD	2.000 - 30.000	10.000	10.000 – 200.000
COD	3.000 - 60.000	18.000	10.000 – 500.000
ph	4,5 - 7,5	6,0	6,6 - 7,5
TSS	200 - 2.000	500	1.000 – 4.000
N-NH3	10 – 800	200	20 – 4.000
N-NO3	5 – 40	25	5 – 100
P-total	5 – 100	30	5 – 100
Alkalinitas	1.000 - 10.000	3.000	2.000 - 10.000
Sulfat	50 – 100	75	200 - 500
Kalsium	200 - 3.000	1.000	1.000 – 4.000
Magnesium	50 - 1.500	250	50 – 2.000
Klorida	200 - 2.500	500	1.000 – 4.000
Natrium	200 - 2.500	500	1.000 – 2.000
Besi Total	50 - 1.200	60	200 – 2.000

(Sumber: Damanhuri & Padmi, 2015).

Effluent dari air lindi yang telah diolah di instalasi pengolahan air lindi diharapkan sudah sesuai dengan baku mutu yang ada, yang dimana telah diatur di dalam PERMEN LH No. 59 Tahun 2016 yang dimana kriteria kandungan zat pencemar yang diharapkan dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Baku Mutu Effluent Air Lindi

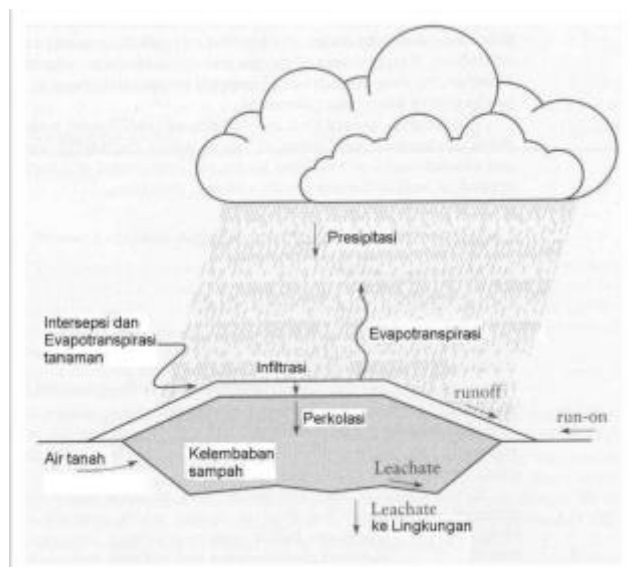
No.	Parameter	kadar lindi paling tinggi	
		Nilai	Satuan
1	pH	6 – 9	mg/l
2	<i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	150	mg/l
3	<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	300	mg/l
4	<i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	100	mg/l
5	N-Total	60	mg/l
6	Merkuri	0,005	mg/l
7	Kadmium	0,1	mg/l

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 59 Tahun 2016

2.2.2 Mekanisme Pembentukan Air Lindi

Lindi dapat didefinisikan sebagai cairan yang sudah melewati permukaan tanah yang sudah mengekstrasi zat tersuspensi pada limbah (Tchobanoglous, dkk., 1993). Pada saat cairan lindi melakukan kontak fisik dengan sampah domestik, hal itu tidak dapat dihindari pada lahan TPA. Apabila tidak dikelola dengan baik maka TPA akan menyebabkan pencemaran air tanah maupun air permukaan. Secara umum lindi merupakan cairan hasil dari pengurangan sampah dan cairan yang masuk ke TPA dari luar, seperti air tanah dan air hujan (Damanhuri & Padmi, 2015).

Lindi merupakan munculnya limbah cair yang mengakibatkan masuk air ke dalam tumpukan sampah, melarutkan serta membilas zat terlarut. Dari situ didapatkan karakteristik air lindi serta debit lindi bakal sangat bermacam-macam dan berfluktuasi. Skema terjadinya lindi dapat dilihat di **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Skema Terjadinya Lindi pada Landfill Tertutup
(Sumber: Vesilind *et al.*, 2002)

Lindi adalah limbah cair yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, melarutkan dan membilas materi-materi terlarut, termasuk juga materi organik hasil proses dekomposisi biologis. Dari sana dapat diramalkan bahwa kuantitas dan kualitas lindi akan sangat bervariasi dan berfluktuasi (Lihat gambar 2.1). Dapat dikatakan bahwa kuantitas lindi yang dihasilkan akan banyak tergantung pada masuknya air dari luar, sebagian besar dari air hujan, disamping dipengaruhi oleh aspek operasional yang diterapkan seperti aplikasi tanah penutup, kemiringan permukaan, kondisi iklim, dan sebagainya. Kemampuan tanah dan sampah untuk menahan uap air kemudian menguapkannya bila memungkinkan, menyebabkan perhitungan timbulan lindi agak rumit untuk diprakirakan. (Damanhuri, 2008)

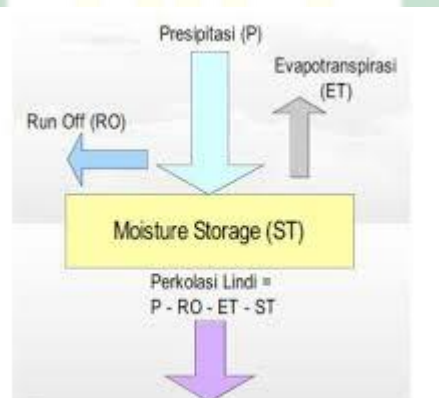
2.3 Sistem Pengelolaan Air Lindi

Air lindi yang dihasilkan oleh sampah yang berada di TPA akan berpindah ke lapisan dasar dari TPA yang di mana akan berakumulasi dan perlu untuk disingkirkan dari sistem TPA. Hal ini dapat dicapai dengan adanya sistem pengumpul air lindi yang di mana sistem ini dibutuhkan untuk

meminimalisir kemungkinan meluap air lindi ke lingkungan sekitar. Berdasarkan hal ini desain dari TPA akan memiliki kemiringan yang dapat membantu air lindi untuk bergerak ke sistem drainase yang berada di lapisan dasar secara gravitasi (Townsend, *et. al.*, 2015).

2.3.1 Timbulan Air Lindi

Timbulan air lindi bergantung dari banyak aspek antara lain kategori penutup tanah, iklim, kelembapan dan waktu penumpukan sampah. Penutup tanah biasanya dipakai agar dapat menghindari ataupun meminimalisir air yang akan masuk ke tanah, paling utama air hujan. Semakin banyak lindi yang masuk maka lindi yang terjadi harus segera ada pengelolaan air lindi. Oleh sebab itu suatu TPA yang memperdulikan lingkungannya harus memiliki pengelolaan air lindinya. Berikut **Gambar 2.2** ialah skema universal dalam mengetahui debit air lindi (Damanhuri & Padmi, 2010).



Gambar 2.2 Metode Neraca Air (Water Balance Method)

(Sumber: Damanhuri & Padmi, 2010)

Menurut Damanhuri & Padmi (2010), Untuk meminimalisir dampak zat organik dari timbulan air lindi, terdapat metode yang dapat digunakan sebagai berikut :

1. Menggunakan lapisan penutup tanah, baik susunan penutup tanah pertama ataupun akhir.
2. Memakai lapisan dasar untuk menghindari lindi tercampur dengan air tanah.

3. Menyediakan fasilitas pengolahan air lindi yang terdiri dari memasang saluran lindi ke lapisan dasar, membangun sakuran drainase, dan melaksanakan pengolahan lindi. Pengolahan lindi pada Indonesia masih banyak menggunakan kontak stabilisasi serta kolam oksidasi dikarenakan kesederhanaan dan tersedianya sinar matahari.

Penerapan sistem pengelolaan air lindi sangat dibutuhkan buat mengurangi pencemaran air terhadap sumber air. Lindi yang sudah terkumpul harus diolah terlebih dahulu agar mencapai standart baku mutu setelah itu dibuang ke badan air. Diharapkan setelah penerapan pengolahan lindi yang sesuai baku mutu tidak akan terjadi lagi pencemaran air terhadap lingkungan, baik terhadap air tanah maupun sungai (Damanhuri & Padmi, 2010).

2.3.2 Metode Neraca Air *Water Balance Method*

Menurut Damanhuri & Padmi (2015), lindi merupakan limbah cair yang ditimbulkan akibat masuknya air eksternal ke dalam timbulan sampah. kuantitas dan kualitas air lindi sangat bervariasi dan berfluktuasi. disamping pengaruh dari aspek operasional, kuantitas air lindi yang dihasilkan juga tergantung dari masuknya air eksternal yang sebagian besar berasal dari air hujan. kemampuan tanah dan sampah untuk menahan air menyebabkan perhitungan timbulan sedikit rumit untuk diperkirakan

Metode yang digunakan untuk memperkirakan timbulan air lindi adalah dengan pendekatan neraca air atau water balance method. metode tersebut didasarkan oleh asumsi bahwa air lindi hanya dihasilkan dari air eksternal yang masuk ke dalam timbulan sampah atau disebut perkolasi. Bisa dilihat dari gambar 2.2 menggambarkan sistem input dan output dari metode neraca air, dengan persamaan:

$$PERC = P - (RO) - (AET) - (\Delta ST) \quad (\text{Rumus 2.1})$$

$$I = P - (R/O) \quad (\text{Rumus 2.2})$$

$$APWL = \sum NEG (I - PET) \quad (\text{Rumus 2.3})$$

$$AET = (PET) + [(I - PET) - (\Delta ST)] \quad (\text{Rumus 2.4})$$

Dimana :

PERC = Perlokasi, air yang sudah keluar dari sistem mengarah lapisan bawah tanah, akhir terjadinya lindi.

P = Presipitasi rata-rata dari data tahunan.

RO = rata-rata bulanan limpasan permukaan (Runoff) dihitung dari presipitasi dan koefisien limpasan.

AET = Aktual evapotranspirasi, memberitahukan banyaknya air yang hilang secara nyata dari bulan ke bulan.

ΔST = pergantian simpanan air dari dalam tanah dari bulan ke bulan yang terkait dengan soil moisture storage.

ST = Soil moisture storage, adalah banyaknya air yang tersimpan dalam tanah pada saat keseimbangan.

I = Infiltrasi, jumlah air terinfiltrasi ke dalam tanah.

APWL = akumulasi potensial kehilangan air, adalah nilai hal negative dari (I-PET)

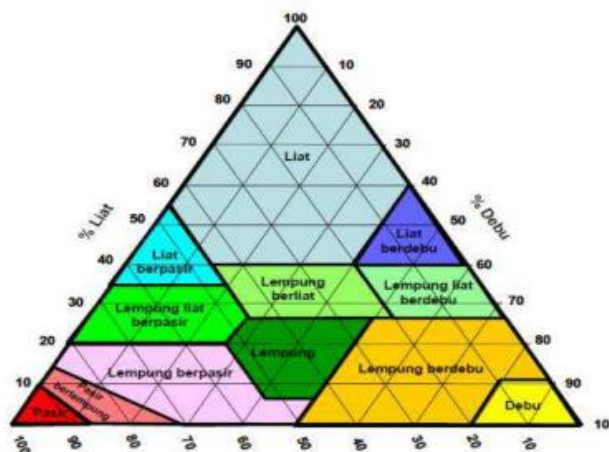
I-PET = nilai infiltrasi dikurangi evapotranspirasi potensial, nilai negative yang menyatakan jumlah resapan air yang gagal mensuplai tanah, sedangkan nilai positifnya adalah kelebihan air selama periode tertentu.

PET = Evapotranspirasi potensial, dihitung berdasarkan atas rata-rata bulanan dari data tahunan.

Metode *Water Balance Method* melakukan penerapan cara perhitungan air lindi (perlokasi) dengan tata cara metode neraca air. Untuk data input dari pada metode neraca air *Water Balance Method* menggunakan data klimatologi:

- a. Menentukan jenis tanah yang digunakan sebagai tanah penutup sesuai United States Departement of Agriculture (USDA). Dengan memperhatikan segitiga tekstur, maka berdasarkan persen komposisi tanah yang digunakan sebagai penutup akhir didapatkan jenis tanah.

Langkah awal yang dilakukan adalah menentukan jenis tanah yang digunakan sebagai tutupan akhir landfill. Dengan memperhatikan segitiga tekstur yang terdapat pada **Gambar 2.3**, dapat diketahui komposisi tanah yang digunakan termasuk ke dalam jenis tanah sandy loam (lempung berpasir) (RIPKA Gresik tahun 2013).



Gambar 2.3 Segitiga Tekstur
(Sumber: Soil Survey Staff, 2012)

- b. Setelah mengetahui jenis tanah tutupan yang diketahui, informasi mengenai kemampuan jenis tanah sandy loam dalam menyimpan air yang diterima dapat diketahui melalui **Tabel 2.3** berikut ini:

Tabel 2.3 Jumlah Air yang Tersedia Menurut Jenis Tanah

Jenis Tanah	Field Capacity (mm)	Wilting Point (mm)	Jumlah Air yang Tersedia (mm/m)
<i>Fine sand</i>	120	20	100
<i>Sandy loam</i>	200	50	150
<i>Silty loam</i>	300	100	200
<i>Clay loam</i>	375	125	250
<i>Clay</i>	450	150	300
<i>Waste</i>	200-350	-	-

Sumber : Water Balance Method, EPA (1975)

Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa kemampuan tanah *sandy loam* dapat menyimpan air sebanyak 150 mm/meter.

- c. Data presipitasi dan temperature secara bulanan sehingga diperoleh data presipitasi dan temperatir rata-rata.

d. Menghitung potensi evapotranspirasi menggunakan metode water balance method

- 1) Menghitung indeks panas untuk tiap bulannya dengan persamaan:

$$I = \sum_{T=0}^{12} t^{1,514} = \sum_{T=0}^{12} (T/5)^{1,514} \quad (\text{Rumus 2.5})$$

Dimana:

I = Indeks panas

T = Suhu rata rata bulanan (°C)

- 2) Menghitung nilai Potensi Evapotranspirasi (PET) dengan persamaan berikut.

$$PET = c \times \left(\frac{10Tm}{I} \right)^a \quad (\text{Rumus 2.6})$$

Dimana:

PET = Evapotranspirasi potensial (cm)

T = Suhu rata rata bulanan (°C)

c = Konstanta nilai 1,62 untuk PET dengan satuan mm dan 16,2 untuk satuan cm

a = $(0,000000675 \times Hi^3) - (0,0000771 \times Hi^2) - (0,01792 \times Hi) + 0,49239$ (Rumus 2.7)

- 3) Melakukan kalibrasi menggunakan faktor lama penyinaran matahari dapat di lihat **Tabel 2.4** berdasarkan posisi geografis stasiun meteorologi setempat.

Tabel 2.4 Koefisien Penyesuaian Menurut Bujur dan Bulan

posisi/ bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Lintang Utara												
0	1.04	0.09	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02
10	1	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
Bujur Selatan												
5	1.06	0.95	1.04	1	1.02	0.99	1.02	1.03	1	1.05	1.03	1.06
10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1	1.01	1	1.06	1.05	1.1
15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1	1	1.07	1.07	1.12

(Sumber : Damanhuri dan Padmi, 2010)

- 4) Menghitung nilai PET yang sudah dikalibrasi (Adjusted PET).

$$\text{Adjusted PET} = r \times \text{PET} \quad (\text{Rumus 2.8})$$

Dimana:

r = Faktor lama penyinaran matahari menurut posisi geografis

PET = Evapotranspirasi potensial (mm)

- 5) Menentukan nilai koefisien run off (C_r) menggunakan nilai empiris pada **Tabel 2.5** untuk permukaan tanah sesuai dengan kondisi lapangan.

Tabel 2.5 Menentukan Nilai Empire pada Koefesien Runoff

Jenis Permukaan	Koefesien of runoff
Jalan Bituminous	0,70 s.d 0,95
Jalan Beton	0,80 s.d 0,95
Cara Jalan Masuk	0,75 s.d 0,85
Atap	0,75 s.d 0,95
<i>Rumput; tanah pesisir</i>	
Datar, 2%	0,05 s.d 0,10
Rata rata, 2-7%	0,10 s.d 0,15
Curam, 7%	0,15 s.d 0,20
<i>Rumput; tanah berat</i>	
Datar, 2%	0,13 s.d 0,17
Rata rata, 2-7%	0,18 s.d 0,22
Curam, 7%	0,25 s.d 0,35

(Sumber : Damanhuri dan Padmi, 2010)

- 6) Menentukan nilai Run Off (R_o) bulanan dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_o = P \times C_r \quad (\text{Rumus 2.9})$$

Dimana:

R_o = Run off (mm)

P = Curah hujan bulanan (mm)

C_r = Koefisien retikulasi untuk jenis lahan tertentu

- 7) Menentukan nilai Infiltrasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$I = P - R_o \quad (\text{Rumus 2.10})$$

Dimana:

I = Infiltrasi (mm)

Ro = Kapasitas Run off (mm)

P = Curah hujan bulanan (mm)

- 8) Menentukan air yang tersedia untuk penyimpanan dengan persamaan : $I - PET$
- 9) Menentukan nilai Accumulated Water Loss (APWL), yaitu akumulasi nilai negatif dari $(I - PET)$ yang merupakan kehilangan air secara kumulasi dari bulan-bulan sebelumnya.
- 10) Menentukan soil moisture storage (ST), yaitu banyaknya air yang tersimpan dalam tanah pada saat keseimbangan.
- 11) Dengan menggunakan **Tabel 2.6** yaitu simpanan air dalam tanah ST untuk 100 mm untuk nilai APWL, maka diperoleh jumlah air yang tersimpan dalam tanah. Pada saat air yang tersedia dalam tanah belum mencapai 100 mm, maka nilai ST langsung dijumlah pada nilai $I - PET$. Karena nilai maksimal air tersimpan dalam tanah 100 mm maka penjumlahan ST dengan $I - PET$ bulanan akan tetap bernilai 100 mm

Tabel 2.6 Simpanan Air Dalam Tanah ST – 100 mm

NEG (I – PET)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100	99	98	97	96	95	94	93	92	91
10	90	89	88	88	87	86	85	84	83	82
20	81	81	80	79	78	77	77	76	75	74
30	74	73	72	71	70	70	69	68	68	67
40	66	66	65	64	64	63	62	62	61	60
50	60	59	59	58	58	57	56	56	55	54
60	54	53	53	52	52	51	51	50	50	49
70	49	48	48	47	47	46	46	45	45	44
80	44	44	43	43	42	42	41	41	40	40
90	40	39	39	38	38	38	37	37	36	36
100	36	35	35	35	34	34	34	33	33	33
110	32	32	32	31	31	31	30	30	30	30
120	29	29	29	28	28	28	27	27	27	27
130	26	26	26	26	25	25	25	24	24	24
140	24	24	23	23	23	23	22	22	22	22
150	22	21	21	21	21	21	20	20	20	20
160	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18
170	18	17	17	17	17	17	16	16	16	16

NEG (I – PET)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
180	16	16	15	15	15	15	15	15	14	14
190	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13

Sumber: McBean, 1995

12) Menghitung perubahan ST dari bulan terakhir (ΔST)

13) Menentukan Actual Evapotranspiration (AET) dengan ketentuan sebagai berikut:

- a) Nilai AET = PET, untuk bulan basah dimana $I \geq PET$
- b) Nilai AET = $I - \Delta ST$, untuk bulan yang kering dimana $I < PET$

14) Menentukan Perkolasi (PERC) dengan ketentuan sebagai berikut:

- a) Nilai PERC = $I - PET - \Delta ST$, untuk bulan basah dimana $I \geq PET$
- b) Nilai PERC = 0, untuk bulan kering dimana $I < PET$.

2.4 Pengolahan lindi

Menurut Damanhuri dan Padmi (2015), Cara yang paling umum dalam menangani air lindi adalah dengan mengolahnya seperti air limbah pada biasanya. Jenis pengolahan yang dapat digunakan untuk mengolah air lindi biasanya :

- a. Pengolahan secara fisika: sedimentasi dan penyaringan.
- b. Pengolahan secara kimia: koagulasi-flokulasi, dan adsorpsi
- c. Pengolahan secara biologi: lumpur aktif, Rotating Biological Contactor (RBC), Biofilter, anaerobic, aerasi, dan wetland.
- d. Pengolahan terbaru : oksidasi dengan ozon, atau reverse osmosis.

Pada prinsipnya, sebuah situs TPA beroperasi selalu dilengkapi dengan fasilitas pengolahan lindi yang bertujuan untuk mengolah polutan pencemar lingkungan yang terdapat di air lindi. Berbagai jenis pengolahan yang ada seperti metode biologis, fisika, kimia dan fisik-kimia telah diterapkan di berbagai TPA yang ada di dunia. Setiap metode memiliki kelebihan masing-masing, seperti pengolahan biologis yang dimana tidak perlu diragukan lagi kemampuannya dalam mengolah lindi yang memiliki

kandungan BOD yang tinggi. Oleh karena hal ini pengolahan secara biologis adalah metode yang banyak dipilih untuk mengolah air lindi karena pengoperasian yang simpel dan bahan operasional yang mudah di dapatkan (Ferronato, dkk., 2017).

Pada umumnya unit pengolahan air lindi yang digunakan di teknik lingkungan dapat dibagi dalam fisika, kimia, dan biologi. Unit operasi yang digunakan tergantung kepada karakteristik air lindi yang akan diolah. Jenis jenis pengolahan yang digunakan beserta tingkat efesiensi dalam mengolah air lindi dapat dilihat pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2.7 Jenis Pengolahan Beserta Tingkat Efesiensi

Pengolahan				Parameter			
				Particular Removal (Size)	BOD	COD	TSS
Pre Treatment	Screening	Coarse Screen	Manual	6 - 150 mm	-	-	-
			Mechanical	6 - 150 mm	-	-	-
		Micro Screen		< 0,5 μm	-	-	-
		Fine Screen		< 6 mm	-	-	-
	Equalization			-	-	-	-
Primary Treatment	Sedimentasi			-	25 - 40 %	30 – 50 %	50 -75 %
Secondary Treatment	Kolam	Anaerobic		-	60 - 75 %	60 – 65 %	70 – 80 %
		Aerobic		-	40 – 50 %	40%	50%
		Fakultatif		-	70 - 80 %	80%	85%
	Anaerobic Baffled Reactor			-	85%	85%	78%
	Biofilter	Anaerobic		-	80%	805	70 – 80%
		Aerobic		-	80%	805	70 – 80%
		Kombinasi		-	80%	805	70 – 80%
Tertiary Treatment	Constructed Wetland			-	60 - 80%	73,50%	50 - 90%

Sumber : (Dirjen Cipta Karya, 2017)

Menurut Abbud (2021), pada umumnya sistem kolam adalah sistem yang sering digunakan dalam mengolah air lindi. Sistem kolam sendiri adalah sistem pengolahan air lindi yang dibangun sesuai dengan kriteria desain untuk mengolah air lindi tanpa menggunakan energy listrik maupun peralatan mekanik. Pada umumnya sistem kolam yang digunakan dalam pengolahan air lindi mempunyai beberapa pengolahan:

2.4.1 *Manual Bar Screen*

Screening adalah unit yang memiliki celah-celah dengan ukuran yang seragam. Unit ini digunakan untuk menahan padatan yang terdapat pada influent yang masuk ke sebuah sistem pengolahan air maupun pengolahan air limbah, pada dasarnya tujuan dari unit ini adalah menghilangkan material kasar dari aliran air yang dapat merusak unit pengolahan lainnya, mengurangi performa pengolahan, dan menyebabkan penyumbatan pada jaringan jalur air. Menurut Tchobanoglous (1993), manfaat dari unit instalasi ini pada suatu pengolahan air dan air limbah diantaranya sebagai berikut:

- Melindungi peralatan yang digunakan dalam proses pengolahan.
- Menghilangkan segala material yang dapat mengganggu proses biologis.

Unit bar screen terdiri dari susunan batang baja yang berjajar dan diletakkan dalam suatu saluran. Jarak antar batang baja tersebut adalah 20 hingga 50 mm dan sudut kemiringan adalah 45 hingga 60°. Ketebalan batang baja yang digunakan adalah 10 mm dengan lebar 25 mm. Bagian dasar saluran dapat didesain rata atau dengan kemiringan tertentu. Pertimbangan dari desain ini adalah kemudahan untuk membersihkan berbagai jenis sampah yang tertahan (Mara, 2003). Perencanaan unit bar screen dilakukan berdasarkan kriteria desain pada **Tabel 2.8** sebagai berikut:

Tabel 2.8 Kriteria Desain Unit Manual Bar Screen

Parameter	Satuan	Nilai
Kecepatan aliran lewat bukaan, v	m/detik	0,3-0,6
Jarak bukaan, b	mm	25-50
Kemiringan terhadap horizontal, θ	Derajat	45-60
Kehilangan tekanan lewat bukaan, HL_{bukaan}	mm	150
Kehilangan tekanan maksimal, HL_{max}	mm	800

Sumber: (Dirjen Cipta Karya, 2017) (Mara, 2003)

Setelah kriteria yang dipakai sudah ditentukan dimensi saringan dapat ditentukan melalui beberapa tahap berikut:

- Luas bukaan (A) saringan

$$= \frac{\text{debit puncak}}{\text{kecepatan aliran lewat saringan}} \quad (\text{Rumus 2.11})$$

2. Lebar bukaan yang dibutuhkan

$$= \frac{\text{luas bukaan}}{\text{kedalaman aliran}} \quad (\text{Rumus 2.12})$$

3. Jumlah bukaan

$$= \frac{\text{lebar bukaan dibutuhkan}}{\text{jarak bukaan}} \quad (\text{Rumus 2.13})$$

4. Jumlah batang yang dibutuhkan

$$= \text{jumlah bukaan} - 1 \quad (\text{Rumus 2.14})$$

5. Lebar saluran = lebar saringan, maka:

$$= (\text{jumlah bukaan} \times \text{lebar bukaan}) + \text{jumlah batang} \times \text{lebar batang}$$

6. Tinggi saringan

$$= \frac{\text{tinggi saluran}}{\sin \text{kemiringan saringan}} \quad (\text{Rumus 2.15})$$

2.4.2 Grit Chamber

Sedimentasi adalah istilah yang digunakan di dalam proses pemisahan air dan partikel padat yang memiliki massa lebih berat dari air dengan mengandalkan gaya gravitasi. Grit Chamber di desain untuk menghilangkan kandungan pasir, batuan granit, dan benda – benda padat yang memiliki massa lebih besar dari pada air limbah. Pada umumnya instalasi Grit Chamber diletakkan setelah unit screening dan sebelum unit pengolahan awal di sebuah instalasi pengolahan air maupun air limbah. Menurut Tchobanoglaus (1993), manfaat dari unit ini adalah:

- a. Melindungi peralatan mekanik dari abrasi.
- b. Mengurangi pembentukan endapan di perpipaan yang dapat menyumbat pipa.
- c. Mengurangi perawatan dikarenakan akumulasi dari endapan kasar seperti pasir, batu granit, atau bahan – bahan padat lainnya.

Menurut Dirjen Cipta Karya (2017), perencanaan unit bar screen dilakukan berdasarkan kriteria desain pada **Tabel 2.9** sebagai berikut:

Tabel 2.9 Kriteria Desain Grit Chamber

Parameter	Satuan	Nilai
Specific gravity material grit	-	1,3-2,7
Waktu detensi, t_d	detik	45-90
Kecepatan horizontal, v_s	m/detik	0,24-0,4
Kecepatan pengendapan, v_s - Diameter 0,21 mm - Diameter 0,15 mm	m/menit m/menit	1,0-1,3 0,6-0,9
Persentase head loss dalam bak kontrol terhadap kedalaman saluran	%	30-40
Overflow rate debit maksimum, OR	$m^3/m^2.detik$	0,021-0,023

Sumber: (Dirjen Cipta Karya, 2017) (Metcalf & Eddy, 1991)

Setelah debit puncak diketahui maka dimensi Grit Chamber ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

1. Volume grit chamber

$$= \frac{\text{debit desain}}{\text{waktu detensi}} \quad (\text{Rumus 2.16})$$

2. Rasio panjang dan lebar (2,5 : 1) dan rasio lebar dan kedalaman (1 : 1,5) maka untuk menentukan panjang unit:

$$= \frac{\text{volume chamber}}{\text{lebar} \times \text{kedalaman}} \quad (\text{Rumus 2.17})$$

2.4.3 Bak Ekualisasi

Ekualisasi adalah instalasi yang digunakan untuk mengatasi permasalahan operasional yang diakibatkan bervariasinya debit, dimana hal ini dapat meningkatkan kinerja dari proses pengolahan dari instalasi selanjutnya serta dapat menurunkan biaya perawatan dari instalasi lainnya. Tujuan utama dari bak ini adalah mengurangi variasi debit hingga mencapai keadaan konstan atau hampir mencapai konstan.

Ekualisasi diterapkan pada saat musim kemarau yang dimana mengurangi debit puncak dan beban, musim hujan yang membuat debit arus masuk mengalami lonjakan, dan pada saat masuknya air

hujan dan drainase ke dalam sebuah sistem sanitasi. Menurut Tchobanoglous (1993), kelebihan dan kekurangan dari bak ekualisasi sebagai berikut:

a. Kelebihan dari bak ekualisasi sebagai berikut:

- 1) Meningkatkan proses pengolahan secara biologi, dikarenakan dihilangkan atau diperkecilnya beban tekanan, berkurangnya zat-zat pengganggu, dan pH yang stabil atau dihomogenkan.
- 2) Kualitas dari pengentalan dari pengolahan selanjutnya yang diikuti oleh proses biologi meningkat karena konsistennya beban tekanan.
- 3) Berkurangnya unit filtrasi yang digunakan dan meningkatnya kinerja filtrasi dikarenakan beban hidraulik diturunkan.
- 4) Berkurangnya penggunaan bahan kimia pada proses yang menggunakan bahan kimia.

b. Kekurangan dari bak ekualisasi sebagai berikut:

- 1) Lahan yang luas dibutuhkan
- 2) Area ekualisasi sebaiknya ditutup untuk mengatasi bau yang menyebar.
- 3) Operasional dan pemeliharaan dibutuhkan.
- 4) Biaya modal meningkat

Menurut Dirjen Cipta Karya (2017), perencanaan unit bar screen dilakukan berdasarkan kriteria desain pada **Tabel 2.10** sebagai berikut:

Tabel 2.10 Kriteria Desain Unit Ekualisasi

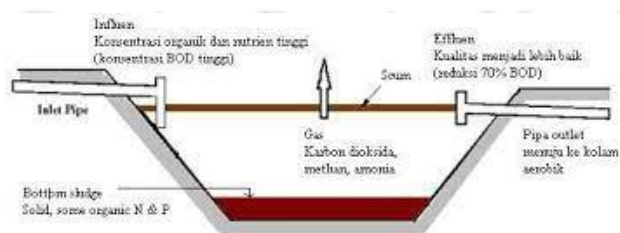
Parameter	Satuan	Nilai
Kedalaman air minimum	Menit	60
Kemiringan	-	1 : 1
- Untuk air limbah dengan konsentrasi padatan tersuspensi ≥ 210 mg/l, diperlukan pengaduk 0,004-0,008 kW/m ³ - Untuk menjaga kondisi aerobik, dibutuhkan suplai udara 0,01-0,015 m ³ /m ³ .menit		

Sumber: (Metcalf & Eddy, 1991)

2.4.4 Kolam Anaerobik

Unit pengolahan kolam anaerobik berperan sebagai penguraian kadungan organik Biochemical Oxygen Demand serta padatan tersuspensi dengan cara tanpa oksigen atau anaerob. Kolam anaerob dapat dikondisikan dengan mengurangi konsentrasi BOD yang melebihi kemampuan produksi oksigen dari hasil fotosintesis. Peningkatan proses fotosintesis dapat dilakukan dengan cara menambah kedalaman kolam anaerobik dan mengurangi luas permukaan kolam untuk mempertahankan keadaan minim oksigen atau anaerob (Mara, 2003). Menurut (Dirjen Cipta Karya, 2017), unit pengolahan kolam maturasi mempunyai kelebihan dan kekurangan dan dapat dilihat pada Gambar 2.4 sebagai berikut:

- a. Adapun kelebihan dari unit kolam anaerobik sebagai berikut :
 - 1) Bisa membantu memperkecil ukuran atau dimensi kolam fakultatif serta maturasi.
 - 2) Bisa mengurangi timbunan lumpur
 - 3) Biaya operasional yang murah
 - 4) Mampu menerima zat organik dengan konsentrasi yang tinggi.
- b. Adapun kelemahan dari unit kolam anaerobik sebagai berikut:
 - 1) Menimbulkan bau
 - 2) Proses degradasi berjalan dengan lambat.
 - 3) Membutuhkan lahan yang luas.



Gambar 2.4 Unit Pengolahan Kolam Anaerobik

(Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2017)

Menurut Mara (2003), dalam merencanakan kolam anaerobik kriteria yang berlaku tertera di dalam, dimana laju beban BOD volumetrik (Volumetric BOD Loading Rate) adalah hal faktor

penting, kriteria desain untuk kolam anaerobik berdasarkan laju beban BOD volumetrik dan persentase penyisihan BOD tertera pada **Tabel 2.11**.

Tabel 2.11 Kriteria Desain Volumetric BOD Loading Rate dan Presentase Penyisihan BOD

Temperatur (°C)	Laju Beban BOD Volumetrik (g/m ³ .hari)	Penyisihan BOD (%)
<10	100	40
10 – 20	20T – 100	2T + 20
20 – 25	20T + 100	2T + 20
>25	350	70

Sumber: (Mara, 2003)

Setelah laju beban BOD ditentukan, volume kolam anaerobik dapat ditentukan dengan menggunakan formula berikut ini:

$$\lambda_v = \frac{Li Q}{V a} \quad (\text{Rumus 2.18})$$

keterangan:

λ_v = Volumetrik BOD loading rate (g/m³/hari)

Li = Konsentrasi BOD Influen (mg/l)

Q = Debit air lumpur tinja (m³/hari)

Va = Volume kolam anaerobik (m³)

Untuk waktu retensi hidrolis pada kolam anaerobik ditentukan berdasarkan rumus berikut:

$$Qa = \frac{Va}{Q} \quad (\text{Rumus 2.19})$$

keterangan:

Qa = Waktu retensi kolam anaerobik (hari)

Va = Volume kolam anaerobik (m³)

Tabel 2.12 Kriteria Desain Waktu Retensi Dimensi Kolam Anaerobik

Parameter	Satuan	Nilai
Waktu detensi, θ_a	hari	3 – 10
Kedalaman, Da	Meter	2- 5
Rasio panjang dan lebar, P:L	-	1 : 2
Freeboard	Meter	0,3
Presentase Penyisihan	%	50 – 85

Sumber: (Mara, 2003)

Untuk luas kolam Anaerobik dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Aa = \frac{Q \theta a}{Q} = \frac{Li Q}{\lambda v Da} \quad (\text{Rumus 2.20})$$

keterangan:

- Aa = Area kolam anaerobic (Ha)
- λv = Volumetrik BOD loading Rate (g/m³ /hari)
- Li = Konsentrasi beban BOD influen (mg/l)
- Q = Debit air limbah (m³ /hari)
- Da = Kedalaman kolam anaerobik (m)

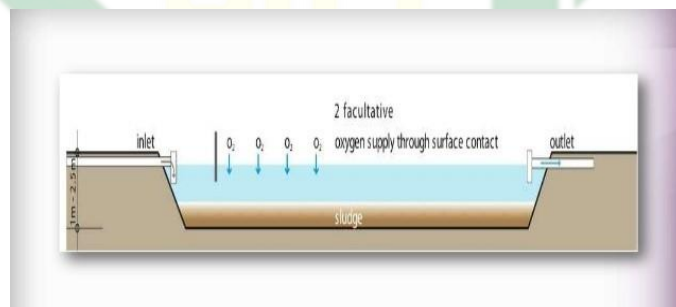
2.4.5 Kolam Fakultatif

Unit pengolahan Kolam fakultatif Terdapat dua jenis kolam fakultatif, yaitu kolam fakultatif primer untuk mengolah air limbah belum diolah dan kolam fakultatif sekunder untuk mengolah air limbah yang telah melalui proses pengolahan sebelumnya (biasanya dari kolam anaerobik). Kolam fakultatif didesain untuk menyisihkan beban BOD permukaan rendah (100-400 kgBOD/ha.hari) dengan menggunakan alga yang tumbuh secara alami di permukaan kolam. Keberadaan alga pada kolam fakultatif membantu proses penyisihan BOD melalui oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis (Dirjen Cipta Karya, 2017).

Konsentrasi alga di dalam kolam fakultatif bergantung pada beban nutrien, suhu, dan cahaya matahari. Konsentrasi oksigen terlarut di dalam kolam akan meningkat pada pagi hari seiring dengan dimulainya aktivitas fotosintesis alga, mencapai puncaknya pada sore hari, dan akan menurun pada malam hari, ketika aktivitas fotosintesis terhenti dan respirasi tumbuhan mengkonsumsi oksigen. Pengadukan air yang merata, dibantu oleh angin pada permukaan air, memastikan keseragaman distribusi BOD, oksigen terlarut, bakteri, dan alga (Dirjen Cipta Karya, 2017), unit pengolahan kolam

maturasi mempunyai kelebihan dan kekurangan dan dapat dilihat pada **Gambar 2.5** sebagai berikut:

- a. Adapun kelebihan dari unit kolam anaerob sebagai berikut:
 - 1) Efektif dalam mengurangi jumlah atau konsentrasi mikroorganisme pathogen hingga (60 s.d 99)%.
 - 2) Mampu mengelola beban yang berfluktuasi
 - 3) Operasi dan perawatan yang sederhana
 - 4) Biaya operasional serta pemeliharaan yang rendah.
- b. Adapun kelemahan dari unit kolam anaerob sebagai berikut:
 - 1) Kolam fakultatif membutuhkan lahan yang luas.
 - 2) Waktu tinggal sekitar 20-150 hari
 - 3) Kolam bisa berubah menjadi sarang rumah bagi serangga atau perawatan yang dilakukan tidak baik.
 - 4) Menghasilkan aroma bau
 - 5) Memerlukan penangan lebih lanjut, terutama karena tumbuhnya algae pada kolam.



Gambar 2.5 Unit Pengolahan Kolam Fakultatif

(Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2017)

Menurut Mara, (2003), ketentuan perancangan kolam Fakultatif perancangannya ditentukan berdasarkan laju beban BOD Permukaan (Surface BOD Loading Rate) yang dimana dapat ditentukan menggunakan rumus :

$$\lambda_s = 350(1.107 - 0.002T)^{(T-20)} \quad (\text{Rumus 2.21})$$

Setelah laju beban BOD permukaan telah ditentukan, luas area pada kolam Fakultatif dapat dihitung berdasarkan rumus yang berikut ini :

$$\lambda_s = \frac{10 Li Q}{Af} \quad (\text{Rumus 2.22})$$

Keterangan :

- Af = Area kolam fakultatif (Ha)
- λ_s = Surface BOD loading rate (kg/Ha/hari)
- Li = Konsentrasi bebab BOD influen (mg/l)
- Q = Debit air limbah (m³ /hari)
- T = Temperatur (°C)

Kolam mampu mengolah air limbah dengan laju beban BOD permukaan maksimum 350 kg/Ha/hari pada temperatur 250C. Penentuan laju beban BOD permukaan menjadi sangat penting karena akan menentukan kecepatan pembentukan lumpur di dalam kolam yang selanjutnya akan mempengaruhi stratifikasi kolam menjadi zona aerobik dan anaerobik. Setelah luas area kolam Fakultatif ditentukan, maka selanjutnya dapat ditentukan waktu retensi menggunakan persamaan berikut:

$$\theta_f = \frac{2 Af Df}{(2 Qt - 0,001 e Af)} \quad (\text{Rumus 2.23})$$

Keterangan :

- θ_f = Waktu retensi kolam anaerobik
- θ_t = Debit masuk (m³/hari)
- Af = Luas area kolam fakultatif
- Df = Kedalam kolam fakultatif
- E = Laju evaporasi (mm/hari)

Penyisihan BOD pada kolam Fakultatif dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus berikut:

$$Le = \frac{Li}{1 + K1 \theta_f} \quad (\text{Rumus 2.24})$$

Keterangan :

- Li = BOD pada influen (mg/L)
- Le = BOD pada efluen (mg/L)
- K1 = Konstanta penyisihan BOD (hari-1)
- θ_f = Waktu detensi kolam fakultatif (hari)

Perencanaan kolam Fakultatif memiliki kriteria desain yang tertera pada **Tabel 2.13** yang ada di bawah ini:

Tabel 2.13 Kriteria Desain Kolam Fakultatif

Parameter	Besaran	Satuan
Waktu detensi minimum	> 4	hari
Efisiensi penurunan BOD	70 – 90	%
Kedalaman kolam	1,5 – 2,5	m
Rasio panjang dan lebar	(2-3) : 1	
Periode pengurasan	5 – 10	tahun

Sumber: (Mara, 2003)

Perhitungan debit yang keluar dari kolam Fakultatif menuju kolam maturasi dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Q_e = Q_i - 0,001 \cdot e \cdot A_f \quad (\text{Rumus 2.25})$$

Keterangan :

Q_e = Debit efluen (m³/ hari)

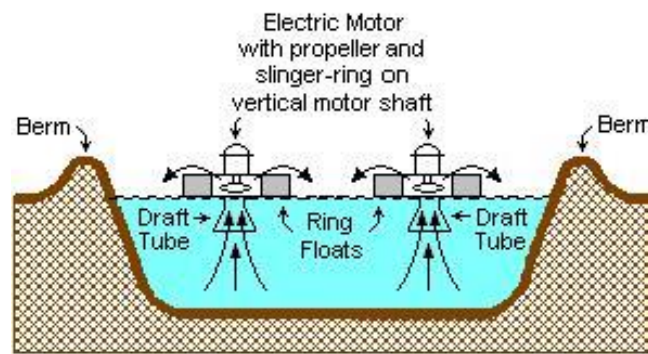
Q_i = Debit influen (m³/hari)

e = Laju evaporasi (mm/tahun)

A_f = Luas area kolam fakultatif

2.4.6 Kolam Aerob (Aerasi)

Kolam aerasi merupakan unit pengolahan air limbah berupa kolam terbuka yang dilengkapi dengan aerator untuk memenuhi kebutuhan oksigen. Proses aerasi yang dilakukan secara mekanis berpotensi meningkatkan efisiensi degradasi material organik dan penyisihan bakteri patogen dengan waktu retensi yang relatif singkat, yaitu 2-6 hari. Waktu retensi dalam kolam aerasi kurang dari 2 hari tidak direkomendasikan karena terlalu singkat untuk proses pembentukan flok. Kolam aerasi pada dasarnya termasuk dalam sistem lumpur aktif, tetapi tidak menerapkan resirkulasi lumpur. Efisiensi penyisihan BOD dari hasil pengolahan pada kolam aerasi mampu mencapai lebih dari 90% (Dirjen Cipta Karya, 2017). Untuk gambar unit pengolahan Aerasi dapat dilihat pada **Gambar 2.6** sebagai berikut.



Gambar 2.6 Unit Pengolahan Kolam Aerob (Aerasi)

(Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2017)

Menurut Mara (2003), perancangan kolam aerasi dilaksanakan berdasarkan kriteria desain kolam aerasi yang tertera pada **Tabel 2.14**.

Tabel 2.14 Kriteria Desain Kolam Aerasi

Kriteria	besaran	Satuan
Waktu retensi	2 – 6	Hari
Kedalaman	3 – 5	m
Laju beban volumetric	20 – 30	gBOD/m ³ .hari
Rasio panjang lebar	2 : 1	-

Sumber: (Mara, 2003)

Perhitungan dimensi kolam aerasi menggunakan rumus sebagai berikut:

1. Mengasumsikan BOD Effluen

a. Konsentrasi BOD Efluen

$$Le \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{Li \left(\frac{mg}{l} \right)}{1 + KT \theta} \quad (\text{Rumus 2.26})$$

Keterangan:

Le = BOD terlatur effluent, mg/l

Li = Kosentrasi BOD influen, mg/l

KT = Konstanta laju orde pertama untuk penyisihan BOD/hari

θ = Wakttu retensi, hari

menentukan nilai KT

$$KT = 2,5 (1,06)^{(T-20)}$$

- b. Kosentrasi sel bakteri

$$X = \frac{Y (Li - Le)}{1 + b \theta} \quad (\text{Rumus 2.27})$$

Keterangan:

X = Kosentrasi sel bakteri, mg/l

Y = Koefisien *yield* (biasanya 0,6-0,7)

b = Laju autolysis, /hari (biasanya 0,7)

- c. Total kosentrasi BOD Efluen

$$Le = Se + 0,94 X$$

2. Menentukan dimensi kolam

- a. Luas kolam berdasarkan kedalaman kolam

$$A = \frac{Q \theta}{DL} \quad (\text{Rumus 2.28})$$

Keterangan:

A = Luas kolam (m²)

Q = Debit influen (m³/hari)

DL = Kedalaman kolam(m)

- b. Rasio panjang : lebar = 2 : 1

$$2L \times L = A$$

- c. Waktu retensi aktual dengan kriteria desain

$$\theta_a = \frac{A' \times DL}{Q} \quad (\text{Rumus 2.29})$$

Keterangan:

θ_a = Retensi aktual

A' = Luas permukaan kolam

- d. Kesesuaian beban volumetric dengan kriteria desain

$$\text{Beban volumetric} = \frac{Li \times Q}{V} \quad (\text{Rumus 2.30})$$

V = Volume kolam (A x DL)

2.4.7 Kolam Maturasi

Unit pengolahan kolam maturasi mempunyai fungsi utama yaitu untuk melenyapkan mikroba pathogen atau berbahaya pada air limbah pada keadaan pH tinggi. Proses aerob pada kolam maturasi

dilakukan dengan bantuan mikroorganisme aerob dan algae yang terkandung dalam air limbah. Mikroorganisme dan algae akan berfotosintesis yang mengakibatkan meningkatnya kandungan oksigen pada air limbah (Dirjen Cipta Karya, 2017). Menurut Dirjen Cipta Karya (2017), unit pengolahan kolam maturasi mempunyai kelebihan dan kekurangan dan dapat dilihat pada **Gambar 2.7** sebagai berikut:

- a. Adapun kelebihan dari unit kolam anaerob sebagai berikut:
 - 1) Biaya perawatan dan operasional rendah sebab tidak memakai alat aerator.
 - 2) Sanggup menyisihkan amonia hingga 95% serta nitrogen hingga 80%.
 - 3) Sanggup menyisihkan mikroba pathogen.
- b. Adapun kelemahan dari unit kolam anaerob adalah Hanya sanggup menyisihkan BOD dalam konsentrasi yang kecil.



Gambar 2.7 Unit Pengolahan Kolam Maturasi
(Sumber: Dirjen Cipta Karya, 2017)

Menurut Dirjen Cipta Karya (2017), perhitungan perencanaan penurunan bakteri koliform dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$N_e = \frac{N_i}{(1 + (KB \theta))} \quad (\text{Rumus 2.31})$$

Keterangan:

N_i = jumlah faecal coliform /100 ml pada influen

N_e = jumlah faecal coliform /100 ml pada effluen

KB = konstanta first-order rate penyisihan koliform (hari-1)

θ = Waktu retensi kolam

Nilai KB dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$KB = 2,6(1,19)^{T-20}$$

Untuk penyisihan bakteri koliform yang menggunakan rangkaian kolam anaerobik, Fakultatif, dan maturasi dapat menggunakan rumus berikut ini:

$$N_e = \frac{N_i}{(1+KB\theta a)(1+KB\theta f)(1+KB\theta m)^n} \quad (\text{Rumus 2.32})$$

Dimana notasi a (anaerobik), f (Fakultatif), dan m (maturasi). Pada rumus ini diamsuksikan ukuran dimensi kolam maturasi seragam, namun apabila tidak memungkinkan secara topografi maka pada rumus untuk bagian kolam maturasi disesuaikan dengan waktu retensi air limbah pada setiap kolam, dan disesuaikan dengan menggunakan rumus ini:

$$[(1 + K_B\theta_{m1})(1 + K_B\theta_{m2}) \dots \dots (1 + K_B\theta_{mn})]$$

Perencanaan kolam maturasi berdasarkan kriteria desain pada **Tabel 2.15** sebagai berikut:

Tabel 2.15 Kriteria Desain Kolam Maturasi

Parameter	Besaran	Satuan
Waktu detensi	3	Hari
Efisiensi penurunan BOD	>60	%
Kedalaman kolam	1 – 2	M
Rasio panjang dan lebar	Hingga 10 : 1	-
Beban BOD volumetrik	40 - 60	gr BOD/m ³ .hari

Sumber: (Mara, 2003)

Waktu retensi pada kolam maturasi memiliki beberapa batasan yang terdiri atas :

- $\theta_m < \theta_f$
- $\theta_m > \theta_m^{\min}$
- $\lambda_{S(m1)} < 0,75\lambda_{S(f)}$

Waktu retensi minimum ($K + +$) = 3 hari perhitungan waktu retensi untuk kolam maturasi pertama dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\theta_{m1} = \frac{10 Le(fac) Dm}{0,75\lambda(fac)} \quad (\text{Rumus 2.33})$$

Keterangan :

$Le(fac)$ = Beban BOD tanpa filtrasi (mg/l) dari kolam fakultatif

D_m = Kedalaman kolam maturasi (m)

$\Lambda(fac)$ = Surface BOD loading rate kolam fakultatif (kg/ha/ha)

Perhitungan waktu retensi untuk kolam maturasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\theta_m = \left\{ \frac{N_i}{N_e \{ (1+KB \theta_a)(1+KB \theta_f)(1+KB \theta_m)^{1/n} \}} - 1 \right\} \frac{1}{KB(T)} \quad (\text{Rumus 2.34})$$

Rumus diatas diiterasi dengan menggunakan $n = 1$, kemudian $n = 2$, dan seterusnya sehingga didapatkan.

$$\theta_f > \theta_m > \theta_m^{\min}$$

Selanjutnya setelah ditentukan waktu retensi dapat ditentukan luas area kolam maturasi yang dibutuhkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$A_{m1} = \frac{2 Q_i \theta_m}{(2D_m - 0,001 e \theta_m)} \quad (\text{Rumus 2.35})$$

Keterangan:

θ_m = Waktu retensi kolam maturasi (hari)

Q_i = Debit masuk (m³/hari)

A_m = Luas area kolam maturasi (m²)

D_m = Kedalaman kolam maturasi

e = Laju evaporasi (mm/hari)

Penyisihan BOD pada kolam maturasi dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Le = \frac{Li}{(1+ki \theta_m)} \quad (\text{Rumus 2.36})$$

Keterangan:

Li = BOD pada influen (mg/L)

Le = BOD pada efluen (mg/L)

Kt = Konstanta penyisihan BOD (hari-1)

θ_m = Waktu retensi kolam fakultatif (hari)

Perhitungan debit yang dikeluarkan dari kolam maturasi menuju kolam maturasi lainnya, atau ke badan air permukaan penerima dapat dihitung dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$Q_e = Q_i - 0,001 \cdot e \cdot A_m \quad (\text{Rumus 2.37})$$

Keterangan:

Q_e = Debit efluen (m^3/hari)

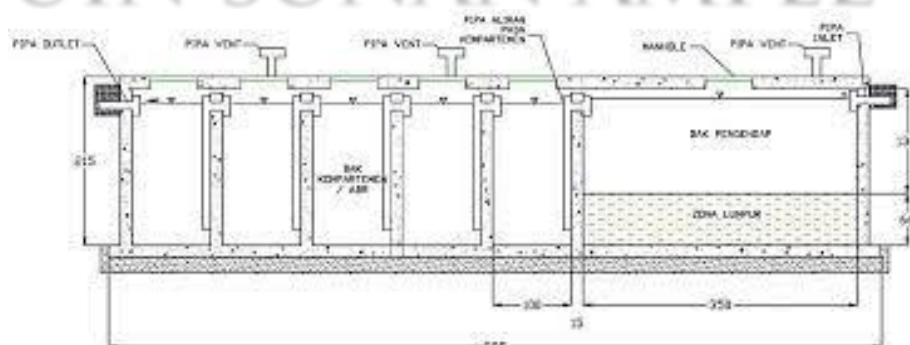
Q_i = Debit influen (m^3/hari)

e = Laju evaporasi (mm/tahun)

A_m = Luas area kolam maturasi (m^2)

2.4.8 *Anaerobik Baffled Ractor (ABR)*

Anaerobik Baffle Reactor (ABR) merupakan unit pengoahan yang dimana sekat digunakan untuk memebuat air limbah teraduk dari bawah ke atas. Kelebihan unit ABR diantara mudah dioperasikan, waktu retensi yang panjang, biomasa yang digunakan tidak spesifik, dapat mengolah air limbah yang memiliki berbagai kandungan pencemar, dan stabil terhadap tekanan (Tchobanoglous, dkk., 1993). Menurut Abbud (2021), pada unit ABR, aliran air akan dirancang turun naik dan berfluktuasi, hal ini berfungsi untuk meningkatkan kontak antara aliran air limbah dengan *anaerobic biomass*. Peningkatan kontak antara air limbah dan biomasa anaerobik ini akan meningkatkan pula efisiensi pengolahan. Unit ABR ini dapat menurunkan konsentrasi BOD sebesar 70 hingga 95%. Gambar unit *Anaerobic Baffle Reactor* secara umum dapat dilihat pada **Gambar 2.8**



Gambar 2.8 Unit Pengolahan *Anaerobik Baffle Reactor*

(Sumber : Abdi dkk, 2019)

Kelebihan dari uit *Anaerobic Baffle Reactor (ABR)* adalah mampu secara efektif menurunkan konsentrasi senyawa organik

seperti BOD dan COD, serta TSS, namun unit ini memiliki kelemahan yaitu tidak dapat mengolah detergen sulfida dan senyawa amoniak. Untuk merencanakan unit ABR harus memperhatikan kriteria desain. Kriteria desain untuk unit pengolahan ABR menurut Sasse (1998) dapat dilihat pada **Tabel 2.16**.

Tabel 2.16 Kriteria Desain Unit Pengolahan ABR

No	Faktor Perencanaan	Satuan	Kriteria	Keterangan
1.	Up flow	m/jam	< 2,0	
2.	Penyisihan TSS	%	80 - 90	
3.	Penyisihan COD	%	65 – 95	
4.	Penyisihan BOD	%	70 – 95	
5.	Organic Loading	Kg.COD/m ³ .hari	< 3,0	
6.	Hydraulic Retention Time	Jam	6 – 20	
7.	Organic Loading Rate (OLR)	g.COD/L.hari	1,2 – 1,5	Temperature 23-31°C
8.	Vup Laju aliran keta	m/jam	<2.0	

Sumber : (Sasse, 1998)

2.4.9 Biofilter

Suatu perlakuan terhadap air secara biologis disebut biofilter dengan prinsip kerja memproses air keruh menjadi air yang jernih. Dimana kotoran-kotoran pada air keruh dapat tersaring pada media penyaringan berupa tumbuhan. (Diniyanti, 2018). Tanaman yang dipilih merupakan tanaman yang memiliki dua kriteria yaitu:

- Tanaman yang berbuluh dapat mengefisien untuk meresap air kedalam tanaman.
- Memiliki nilai yang murah dalam pengadaan sebab tanaman tersebut sebagai media yang dikorbankan.

Filter yang dapat digunakan untuk menyaring air limbah pada kolam biofilter diantaranya pasir, jerami, eceng gondok, pasir silika, batu kerikil, antrasit, karbin aktif, ataupun rumput gajah. Kolam biofilter juga mempunyai kriteria kedalaman yang berkisaran 2 meter

serta waktu densitas 3- 5 hari. Menurut Dirjen Cipta Karya (2017), Kriteria desain untuk unit pengolahan biofilter dapat dilihat pada **Tabel 2.17.**

Tabel 2.17 Kriteria Desain Biofilter

Faktor Perencanaan	Besaran	Satuan
Waktu detensi rata rata (jam)	Jam	6 - 8
Tinggi ruang lumpur (m)	m	0,5
Tinggi bed media pembiakan mikroba (m)	m	1,2
Tinggi air di atas bed media (m)	m	20
Beban BOD persatuan luas permukaan media	g.BOD/m ² .hari	5 - 30

Sumber: (Dirjen Cipta Karya, 2017)

2.4.10 Constructed Wetland

Constructed wetland merupakan suatu saluran yang di dalamnya telah terisi oleh pasir dan kerikil kemudian ditanami vegetasi air. Dasar dari sistem ini adalah pasir atau media (batu, kerikil, tanah). Prinsip kerjanya ialah air limbah mengalir secara horizontal pada saluran penyaring yang berfungsi untuk menguraikan zat-zat organik pada air limbah. Selain itu, tujuan constructed wetland ialah meniru proses alami dari rawa dan payau.

Jenis wetland yang dimana air limbah mengalir melalui permukaan tanah disebut dengan Free Water Surface Constructed Wetland. Jenis pengolahan ini dapat digunakan untuk mengolah air limbah permukiman, dan dapat menurunkan kadar BOD sebesar 60%-80%, dan TSS 50%-90% (Dirjen Cipta Karya, 2017). Menurut Dirjen Cipta Karya (2017), beberapa keuntungan dari Constructed Wetland dibandingkan dengan sistem pengolahan lain diantaranya:

- a. Murah dan sangat berpotensi untuk dikembangkan di negara berkembang
- b. Operasi dan pemeliharaan cukup mudah
- c. Tidak membutuhkan bahan kimia

Perencanaan kolam wetland berdasarkan kriteria desain dan kualitas effluent pada **Tabel 2.18** sebagai berikut:

Tabel 2.18 Kriteria Desain dan Kualitas Effluent Kolam Wetland

Jenis	Nilai	Satuan
Parameter desain		
Waktu detensi	4 – 15	Hari
Konsentrasi BOD	< 100	mg/l
Kedalaman air	0,06 – 0,5	Meter
Aspek rasio	2 – 4 : 1	-
Kontrol nyamuk	Dibutuhkan	-
Umur tanaman aktif	3 - 5	Tahun
Kualitas Effluent		
BOD5	< 20	mg/l
TSS	< 20	mg/l
Total N	> 10	mg/l
Total P	> 5	mg/l

Sumber: (Tchobanoglous, 1993)

2.4.11 Bak Kontrol dan Desinfeksi

Bak kontrol berfungsi sebagai bak akhir untuk melihat hasil olahan air limbah sebelum dibuang menuju outlet badan penerima air. Bak ini juga berfungsi sebagai tempat untuk melakukan pengambilan sampel air limbah untuk di uji di laboratorium. Selain itu pada bak kontrol ini juga akan ditambahkan unit pembubuh bahan desinfektan berupa Kaporit untuk membunuh mikroorganisme patogen sebelum dapat dibuang ke badan air penerima (Abbud, 2021).

Tabel 2.19 Kriteria Desain Bak Kontrol dan Desinfeksi

Kriteria	besaran	Satuan
Waktu retensi	60	Menit
Rasio P : L	1 : 1	-
Freeboard	0,3	Meter
Bahan Desinfektan	Kaporit	-
Alat Pengukur Debit	Flow Meter	-

Sumber: (Mara, 2003)

2.5 Redesain Instalasi Pengolahan Lindi

Redesain pengolahan lindi dikarenakan oleh kapasitas kolam air lindi yang sudah melebihi kapasitas kolam pengumpul. Oleh sebab itu dilakukan

penambahan pembangunan kolam pengumpul 1 unit lagi serta meredesain pengolahan air lindi kembali untuk menguji karakteristik air lindi sudah memenuhi baku mutu atau tidak (Diniyanti, 2018).

Adapun meredesain pengolahan air lindi dikarenakan oleh kadar effluent pengolahan air lindi belum sesuai baku mutu maka, harus melakukan redesain pengolahan air lindi yang sesuai Permen PU agar kandungan karakteristik air lindi memenuhi baku mutu (Citrasari & Hariyanto, 2014).

2.6 Penelitian Terdahulu

Studi literature pula dibutuhkan dalam penyusunan penelitian redesain pengolahan air lindi pada TPA Ngipik Kabupaten Gresik. Oleh karena itu, sebagian penelitian terdahulu dapat disajikan pada **Tabel 2.20**.

Tabel 2.20 Penelitian Terdahulu

No	Nama (Tahun)	Judul	Hasil Penelitian
1.	Abbud (2020)	Pra Rancang Pengolahan Lindi TPA studi Kasus TPA Mencirim Kota Binjai.	Besar debit lindi TPA Mencirim yang dihitung dengan neraca air adalah 85,78 m ³ /hari. Sedangkan sampel air lindi pada lahan eksisting yang telah dianalisis pada laboratorium mendapatkan nilai pH sebesar 7,22, kadar BOD sebesar 1.328 mg/L, kadar COD sebesar 2.970 mg/L serta kadar TSS sebesar 308 mg/L.
2.	Chounlamany, dkk. (2019)	Water Quality And Pollution Loading Of A River Segment Affected By Landfill Leachate And Domestic Waste	Pencemaran lindi telah terjadi di Sungai Marikina Filipina. Sungai tersebut tercemar lindi dari TPA Payatas, selain itu limbah domestik dan pertanian menjadi sumber pencemar. Pencemaran lindi di sungai tersebut mempengaruhi kadar DO, COD, dan parameter kualitas air lainnya secara signifikan. Beban pencemaran per kapita di Kota Quezon tercatat lebih rendah dibandingkan dengan Eropa dan Jepang. Hal tersebut dipengaruhi oleh lindi pada musim kemarau.
3.	Meidinariasty, et al. (2019).	Treatment of Leachate from Garbage using Electrocoagulation Type MP-P (MonoPolar-Paralel) Methode	Terdapat 5 karakteristik air lindi di TPA Sukawinatan yaitu BOD, COD, pH, TSS dan kadmium. Pengaruh jarak katoda besi dengan anoda aluminium, serta waktu perlakuan yang optimum menggunakan metode elektrokiagulasi dengan tipe MP-P. Energi potensial listrik yang digunakan sebesar 12 volt dengan variasi waktu yaitu 30 menit, 60 menit, 75 menit, 90 menit dan 120 menit. Untuk jarak elektroda yang digunakan ialah 6 cm, 7 cm dan 8 cm.

No	Nama (Tahun)	Judul	Hasil Penelitian
			Hasil yang diperoleh pada tiap karakteristik ialah kadar COD turun menjadi 529,2 mg/L. Nilai pH berubah menjadi 8,34. Untuk kadar BOD5 turun menjadi 17,6 mg/L, kadar TSS menjadi 108 mg/L serta kandungan kadmium < 0,0015 mg/L.
4.	Vaccari dkk (2019)	Characteristics of leachate from landfills and dumpsites in Asia, Africa and Latin America: an overview	Tingkat polutan lindi pada tempat pembuangan sampah di Amerika, Afrika, dan Asia umumnya tidak memiliki dampak yang signifikan secara statistik. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai konsentrasi polutan dari ke tiga benua tersebut dipengaruhi oleh pola konsumsi, kondisi lokal dan kebiasaan masyarakat dalam mengelola sampah individu.
5.	Thomas & Santoso (2019)	Potensi pencemaran air lindi terhadap air tanah dan teknik pengolahan air lindi di TPA Banyuroto Kabupaten Kulon Progo.	potensi pencemaran air tanah memiliki nilai yang sangat kecil yaitu diantara 13-25 pada 22 titik sumur. potensi pencemaran kecil merupakan hasil yang dominan. Hasil dari potensi pencemaran menunjukkan bahwa Desa Banyuroto sangat sulit tercemar. Arahan pengelolaan desain IPAL terdiri atas kolam penampungan awal, kolam fakultatif, dan kolam outlet yang ditambahkan tanaman eceng gondok yang bertujuan untuk menurunkan kadar BOD dan COD
6.	Diniyanti (2018)	Studi perencanaan instalasi pengolahan limbah lindi pada TPA Mnggar Kota Balikpapan.	debit lindi TPA Manggar yang diukur menggunakan metode neraca air thornthwaite adalah 95,04 m ³ /hari. IPAL di TPA Manggar memiliki 7 kolam yakni kolam anaerob, kolam fakultatif, dua kolam aerasi, maturase, dua kolam biofilter.
7.	Mishra & Tiwary (2018)	Leachate characterisation and evaluation of leachate pollution potential of urban municipal landfill sites	Konsentrasi pencemar lindi di TPA Karsara lebih besar dibandingkan TPA Ramna. Parameter yang digunakan untuk mengetahui pencemaran lindi antara lain BOD5, COD, TDS, pH, klorida, arsenik, tembaga, kromium, besi, timah, nikel, dan seng. Nilai Leachate Pollution Index (LPI) tertinggi di TPA Karsara adalah 16,81. Nilai tersebut lebih tinggi daripada nilai LPI TPA Ramna yaitu 12,40. Nilai LPI adalah nilai yang digunakan untuk menunjukkan bahayanya lindi dikedua TPA tersebut. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemantauan pasca penutupan aktif sampai produksi lindi stabil.

No	Nama (Tahun)	Judul	Hasil Penelitian
8.	Wang, <i>et al.</i> (2018).	Treatment of Landfill Leachate Using Activated Sludge Technology: A Review	Kandungan air lindi adalah sebagian besar bahan organik serta nitrogen amoniak. Salah satu solusi yang efektif dengan biaya pengolahan yang rendah untuk penurunan kadar lindi TPA adalah proses lumpur aktif. Pengolahan lumpur aktif terdiri dari penghilangan bahan organik, nitrogen amoniak, serta nitrogen total. Dalam pengolahan ini, untuk menghilangkan bahan organik menggunakan proses anaerobik yang dilengkapi dengan proses aerobik. Untuk penghilangan nitrogen amoniak dan nitrogen total menggunakan proses aerobik konvensional.
9.	Arsyadi, (2017)	Identifikasi persebaran air lindi di TPA Ngipik Kabupaten Gresik dengan menggunakan metode resistivitas 2D konfigurasi wenner-schlumberger	persebaran air lindi mengikuti kontur elevasi muka air tanah yaitu mengikuti pola dari arah tenggara ke barat laut. Namun perbandingan pola air lindi pada musim penghujan dan kemarau tidak terlalu signifikan dan hanya terdapat perbedaan sebaran anomali resistivitas rendah yang banyak terjadi pada musim kemarau.
10.	Fajri, dkk. (2017).	Pengolahan lindi dengan metode koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan alumunium sulfat dan metode ozonisasi	Pengolahan lindi di TPA Jatibarang memerlukan koagulan alumunium sulfat dengan dosis optimum sebesar 16 gram/L sehingga menghasilkan penyisihan 57% BOD, 61% COD, dan 16% TSS. Pada dosis koagulan sebesar 18 gram/L, nilai efisiensi penyisihan parameter BOD, COD, dan TSS menjadi lebih baik. Namun, nilai pH menjadi di bawah baku mutu. Sehingga, dosis yang digunakan dalam penelitian ini adalah 16 gram/L.
11.	Rezagama, dkk. (2017).	Pengolahan air lindi TPA Jatibarang menggunakan fenton ($H_2O_2 - Fe$)	Air lindi di TPA Jatibarang tergolong dalam kategori lindi tua. Hal tersebut karena lindi telah berusia lebih dari 10 tahun. Nilai COD yang terkandung dalam air lindi TPA Jatibarang adalah 4000 mg/L. Dalam pengolahan fenton dengan dosis Fe/H_2O_2 sebesar 1,14 gram dan 3,8 ml terjadi penurunan warna dengan hasil 82% yaitu 140 ptco dalam waktu pengolahan selama 2 jam. Dalam pengolahan fenton, efisiensi penurunan COD dipengaruhi oleh waktu pengolahan.

BAB III

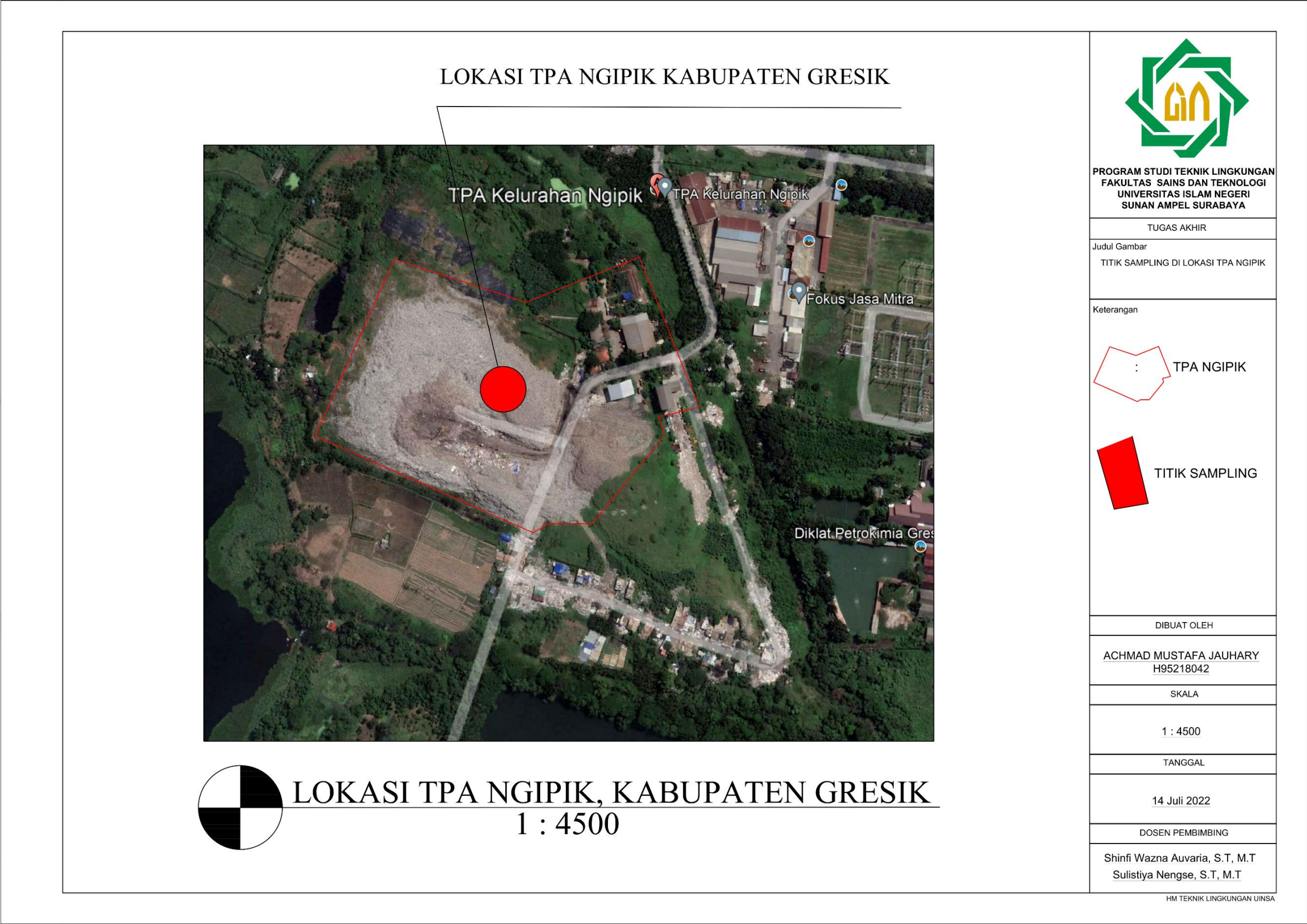
METODE PENELITIAN

3.1 Umum

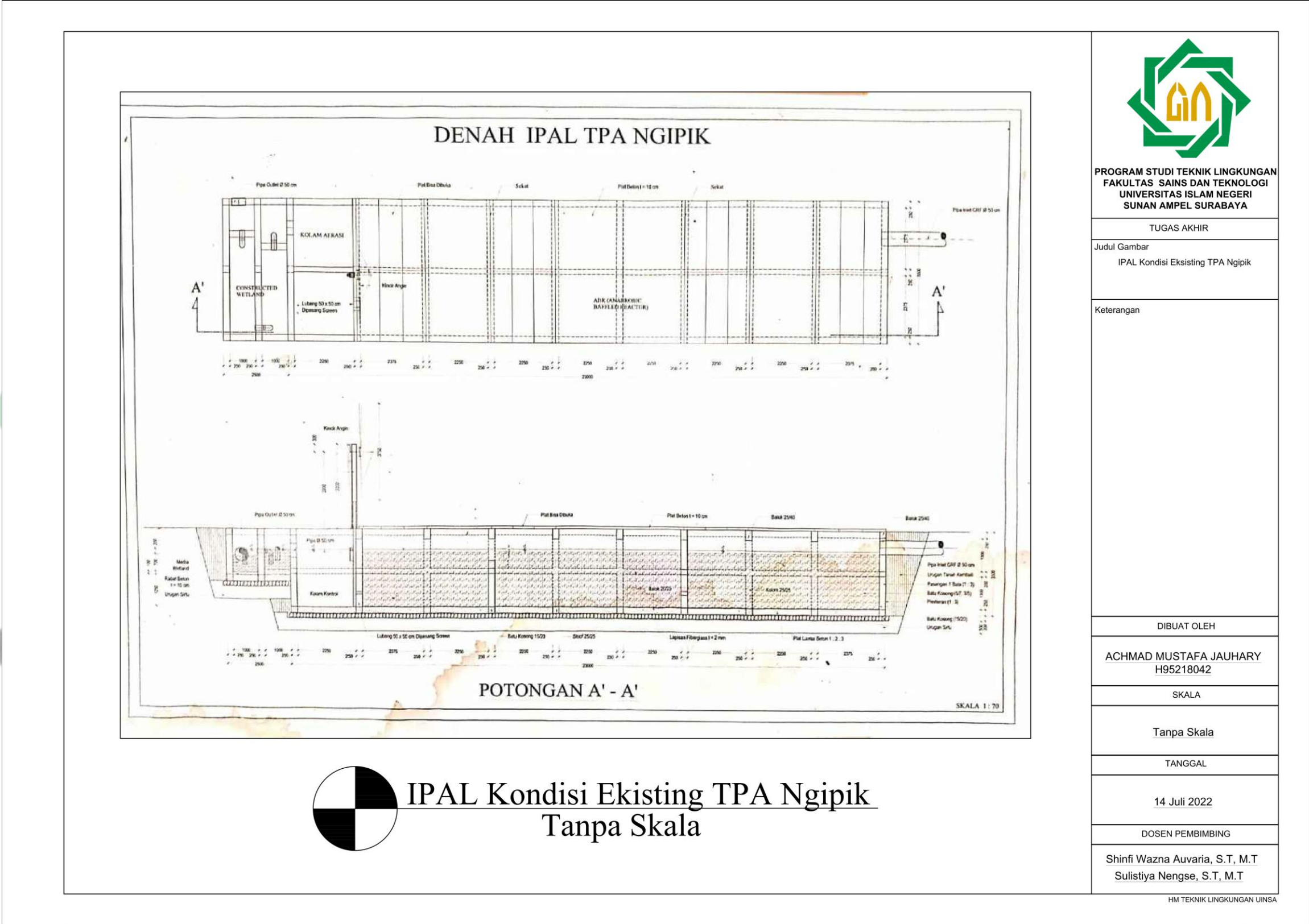
Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengetahuan terkait redesain instalasi pengolahan air lindi di TPA Ngipik. Penelitian ini dilakukan mulai tahap persiapan yaitu identifikasi masalah dan studi literatur. Kemudian dilanjutkan dengan tahap pelaksanaan diantaranya pengambilan data primer, sekunder serta pengolahan data. Tahap akhir yaitu penyusunan laporan. Pada tahap penyusunan laporan dilakukan analisis data yang telah diperoleh di lapangan dengan analisis data kuantitatif dan deskripsi kuantitatif. Sehingga dapat meredesain instalasi pengolahan air lindi di TPA Ngipik di Jalan Prof. Dr. Moh. Yamin No.017, Sekarsore, Kelurahan Roomo, Kecamatan Gresik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan pada TPA Ngipik di Jalan Prof. Dr. Moh. Yamin No.017, Sekarsore, Kelurahan Roomo, Kecamatan Gresik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Adapun titik pengambilan sampel air lindi pada kolam pengumpul bagian *inlet* dan *outlet*. Analisis laboratorium karakteristik lindi dilakukan di DLH Kabupaten Gresik. Berikut lokasi TPA Ngipik dan IPAL kondisi eksisting TPA Ngipik, dapat dilihat pada **Gambar 3.1. dan 3.2.**



Gambar 3.1 Lokasi TPA Ngipik Kabupaten Gresik



Gambar 3.2 Kondisi Eksisting IPAL TPA Ngipik
Sumber: DLH Kabupaten Gresik, 2019



Halaman ini sengaja dikosongkan

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

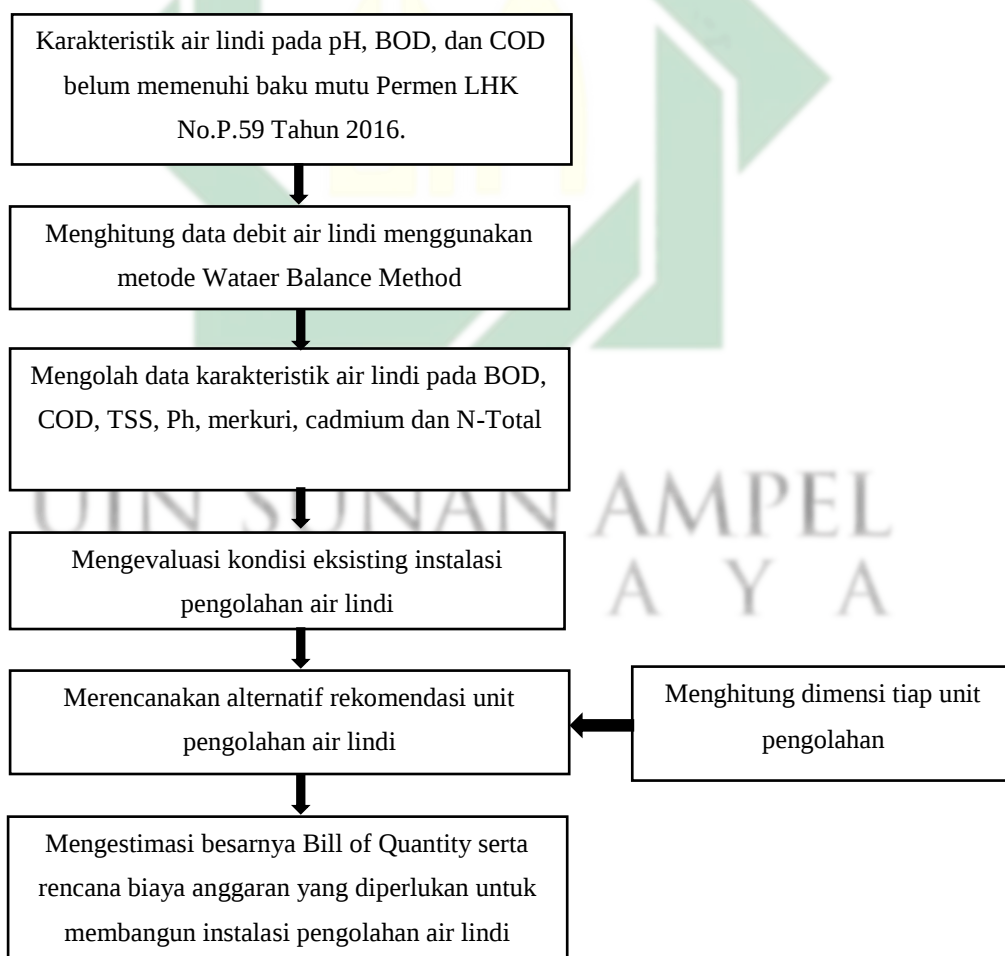
3.3 Waktu Penelitian

Waktu penelitian ini direncanakan dimulai pada bulan Juni 2022 sampai dengan bulan Januari 2023 di TPA Ngipik, Roomo, Sekarsore, Kecamatan Gresik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur.

3.4 Tahap Penelitian

3.4.1 Kerangka Pikir Perencanaan

Kerangka pikir perencanaan adalah suatu alur yang dapat melaksanakan kegiatan perencanaan dengan tujuan agar mendapatkan hasil perencanaan yang baik sehingga sesuai dengan tujuan dari perencanaan tugas akhir. Berikut bagan dari kerangka pikir perencanaan dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.

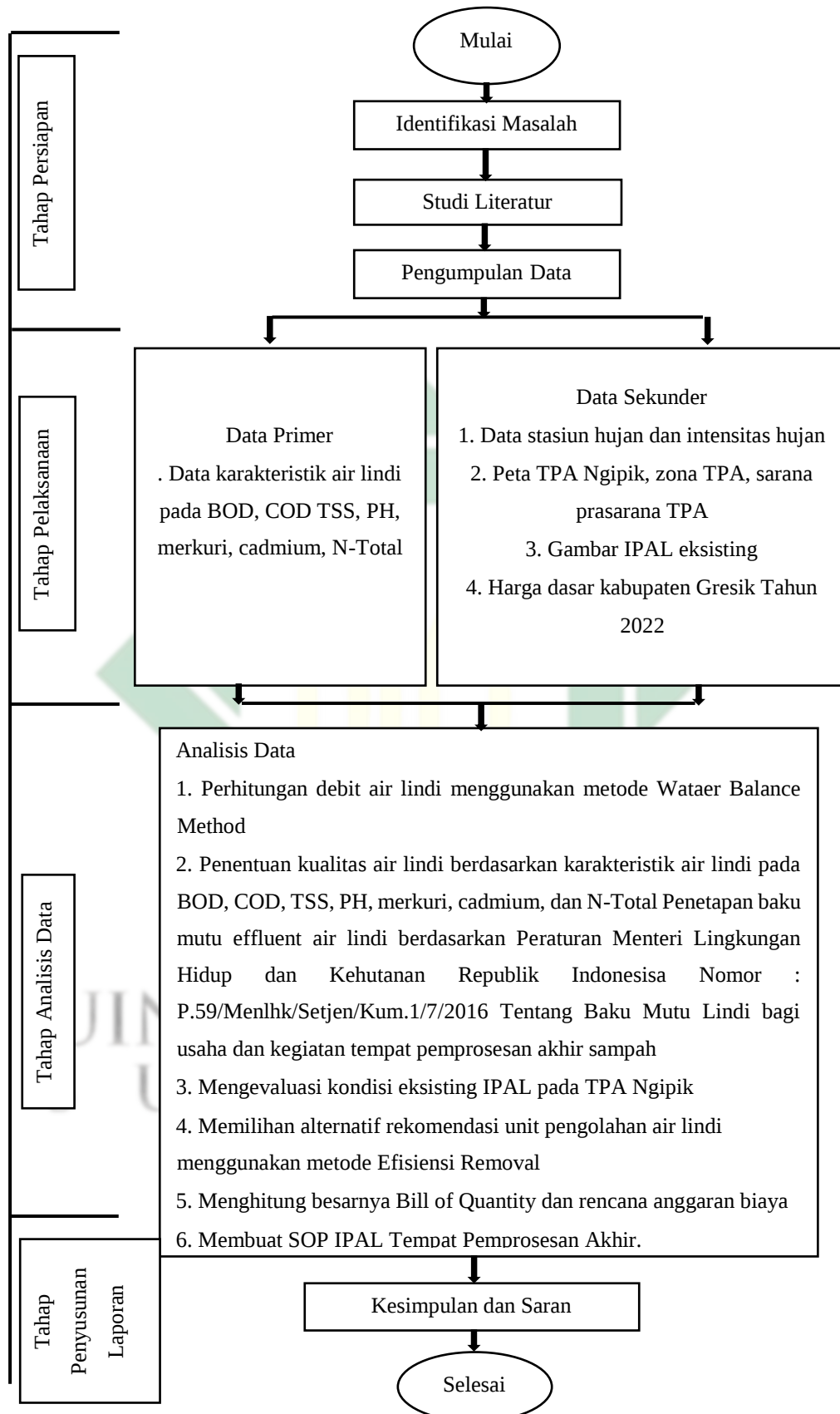


Gambar 3.3 Kerangka Pikir Perencanaan

3.4.2 Tahapan Penelitian

Tahap penelitian adalah sebuah alur yang dapat melaksanakan kegiatan penelitian dengan tujuan agar mendapatkan hasil perencanaan yang baik dan optimal. Tahap penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu, tahap persiapan, tahap pelaksanaan, tahap analisis data dan tahap penyusunan laporan. Berikut diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.4**.





Gambar 3.4 Diagram Alir Tahapan Perencanaan

3.4.3 Tahapan Persiapan

Tahap persiapan merupakan melakukan pengumpulan studi literatur seperti buku dan jurnal.

a. Identifikasi Permasalahan

Identifikasi masalah dilakukan untuk mengetahui masalah yang terjadi pada kondisi eksisting pengolahan air lindi pada TPA Ngipik. Identifikasi ini berfokus pada kualitas dan kuantitas air lindi serta alternative pengolahan air lindi yang sesuai dengan Permen PU dan baku mutunya.

b. Studi Literatur

Studi literatur didapatkan dari kondisi klimatologi TPA dan penelitian terdahulu tentang redesain pengolahan air lindi pada TPA.

3.4.4 Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan adalah melakukan pengumpulan data yang diperlukan mengenai perencanaan yang terdiri dari data primer serta data sekunder. Data primer mengetahui besarnya debit air lindi dari perhitungan metode neraca air serta mengetahui karakteristik air lindi dari data sekunder instalasi pengolahan air lindi pada TPA Ngipik.

a. Data Primer

Pada penelitian ini untuk data primer didapatkan dari hasil pengamatan dilapangan dan observasi langsung di TPA Ngipik. Adapun data primer yang akan diambil sebagai berikut:

1. Data lokasi pengambilan sampel air lindi.
2. Data katakteristik air lindi TPA Ngipik, Kabupaten Gresik yaitu parameter pH, BOD, COD, TSS, merkuri, kadmium, dan N-Total.

b. Data Sekunder

Pada penelitian ini untuk data sekunder didapatkan dari TPA Ngipik serta instansi terkait. Berikut data yang dibutuhkan :

1. Data stasiun hujan dan intensitas hujan
2. Peta TPA Ngipik, zona TPA dan Sarana prasarana TPA.
3. Gambar IPAL eksisting
4. HSPK kabupaten Gresik Tahun 2022

Adapun pengumpulan data penelitian dapat dilihat pada **Tabel 3.1**

Tabel 3.1 Pengumpulan Data

No	Data yang diperoleh	Metode Pengumpulan Data
Data Primer		
1.	Titik Lokasi Pengambilan Sampel	SNI 6989.59:2008
2.	BOD	SNI 6989.72:2009
3.	COD	SNI 6989, 73: 2009
4.	PH	SNI 06-6989. 11-2004
5.	TSS	SNI 06-6989.3-2004
6.	Merkuri	SNI 6989-78:2019
7.	Cadmium	SNI 6989.16:2009
Data Sekunder		
1.	Data Stasiun hujan dan intensitas hujan	BMKG Gresik 2021
2.	Peta TPA Ngipik, Zona TPA, dan Sarana prasarana TPA	TPA Ngipik Kabupaten Gresik
3.	Gambar IPAL eksisting	TPA Ngipik Kabupaten Gresik
4.	Bill of Quantity dan rencana anggaran biaya	HSPK kabupaten Gresik Tahun 2022

Sumber : Hasil Analisa, 2022

3.5 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini digunakan untuk pengambilan dan pengujian sampel. Alat dan bahan yang digunakan tersaji pada **Tabel 3.2** berikut.

Tabel 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

No	Alat dan Bahan	Kegunaan
1.	Botol Winkler	Tempat penyimpanan sampel agar tidak terkontaminasi pencemar
4.	pH meter	Alat pengukur tingkat keasaman

No	Alat dan Bahan	Kegunaan
5.	Jerigen	Tempat penyimpanan sampel air
6.	Meteran	Alat pengukur panjang, lebar, serta kedalaman unit pengolahan
7.	<i>Cool Box</i>	Tempat pengawetan sampel air
8.	<i>Water Sampler</i>	Alat pengambil sampel air
9.	Aquades	Untuk mengkalibrasi alat
10.	Sampel air lindi	Sampel penelitian

Sumber: Hasil Analisa, 2022

3.6 Langkah-Langkah Penelitian

Pengujian kualitas air lindi dilakukan di Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Gresik dengan menuji 3 parameter yaitu parameter fisika, kimia, dan biologi. Langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut:

a. Pengambilan Sampel

1) Penentuan titik lokasi pengambilan sampel

Penentuan titik lokasi pengambilan sampel air lindi dalam penelitian ini adalah di kolam pengumpul bagian inlet dan outlet.

2) Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air lindi berdasarkan SNI 6989.59.2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah. Sampel diambil sebanyak 2 kali pengulangan (*duplo*) dan menggunakan metode *grab sampling* (satu waktu dan satu tempat). Langkah-langkah dalam pengambilan sampel air lindi adalah sebagai berikut:

- a) Melakukan kalibrasi alat dengan melakukan pembersihan dengan aquades.
- b) Mengambil sampel air lindi menggunakan *water sampler* hingga penuh.
- c) Mengambil sampel air lindi sebanyak 3 liter.
- d) Menuangkan sampel air lindi ke dalam jerigen.
- e) Melakukan uji parameter yang bisa dilakukan di lapangan dengan segera dan dicatat pada buku.
- f) Memasukkan sampel air lindi ke dalam *cool box* untuk diawetkan selama dalam perjalanan ke DLH Kabupaten Gresik.

b. Pengujian Sampel

1) Pengujian sampel di lapangan

Parameter yang diuji langsung di lapangan adalah pH. Pengujian pH sampel air lindi berdasarkan SNI 06.6989.11.2004. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a) Persiapan alat dan bahan (pH meter dan aquades).
- b) Melakukan kalibrasi pH meter dengan aquades.
- c) pH meter dimasukkan ke dalam sampel hingga angka dalam alat menunjukkan angka yang konstan.
- d) Melakukan pencatatan hasil pada buku khusus.
- e) Melakukan pembersihan pH meter dengan aquades.

2) Pengujian sampel di DLH Kabupaten Gresik

Parameter yang diujikan di DLH Kabupaten Gresik adalah BOD berdasarkan SNI 6989.72.2009, parameter COD berdasarkan SNI 06.6989.2.2004, parameter TSS berdasarkan SNI 06-6989.3-2004, parameter Merkuri berdasarkan SNI 6989-78:2019 dan parameter *Cadmium* berdasarkan SNI 6989.16:2009. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a) Uji Parameter BOD

- (1) Persiapan alat yaitu DO meter, aerator, gelas beaker, botol *winkler*, serta alat pendingin.
- (2) Persiapan bahan yaitu aquades.
- (3) Masing-masing sampel dimasukkan ke dalam botol *winkler* dengan volume 75 ml dan diberi label A dan B.
- (4) Sampel diencerkan dalam tiap botol *winkler* dengan penambahan aquades dengan volume 300 ml.
- (5) Melakukan pengukuran DO awal dengan menggunakan DO meter pada botol *winkler* B dan disebut sebagai DO_0 .
- (6) Botol *winkler* A diinkubasi dalam alat pendingin dengan suhu 25°C selama 5 hari.
- (7) Melakukan pengukuran DO_5 pada botol *winkler* A menggunakan DO meter setelah 5 hari diinkubasi.

(8) Melakukan perhitungan hasil BOD dengan rumus:

$$\text{BOD}_5 \text{ (mg/L)} = \frac{(c_1 - c_2) - \left(\frac{D_1 - D_2}{VD}\right)(VE)}{P}$$

Keterangan:

- C1 : Nilai DO₀ sampel sebelum inkubasi (mg/L)
 C2 : Nilai DO₅ sampel setelah inkubasi (mg/L)
 D1 : Nilai DO₀ blanko sebelum inkubasi (mg/L)
 D2 : Nilai DO₀ blanko setelah inkubasi (mg/L)
 VD : Volume blanko dalam botol winkler (ml)
 VE : Volume sampel dalam botol winkler (ml)
 P : Perbandingan volume sampel (V1) per volume total (V2)

b) Uji Parameter COD

- (1) Persiapan bahan yaitu sampel air lindi, aquades, HgSO₄, K₂Cr₂O₇ 0,25 N, ferro ammonium sulfat (FAS), asam sulfat-perak sulfat, dan ferron.
- (2) Persiapan bahan yaitu gelas beaker, erlenmeyer, buret, statif, pemanas, dan pipet.
- (3) Sampel dimasukkan dalam erlenmeyer dengan volume 25 ml.
- (4) K₂Cr₂O₇ 0,25 N ditambahkan dalam erlenmeyer dengan volume 5 ml.
- (5) Asam sulfat-perak sulfat ditambahkan dalam erlenmeyer dengan volume 15 ml.
- (6) Sampel dipanaskan di atas pemanas selama 2 jam, kemudian didinginkan sesuai suhu ruang.
- (7) Ferroin ditambahkan dalam erlenmeyer sebanyak 3 tetes
- (8) Melakukan titrasi dengan ferro ammonium sulfat (FAS), kemudian dilakukan perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{COD (mg/L)} = \frac{(C - D) \times N \times 8000}{V}$$

Keterangan:

- C : Volume FAS blanko (ml)

D : Volume FAS sampel (ml)

N : Normalitas FAS

Perhitungan FAS dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$FAS = \frac{(V1)(N1)}{V2}$$

Keterangan:

V1 : Volume $K_2Cr_2O_7$ (ml)

V2 : Volume FAS (ml)

N1 : Normalitas $K_2Cr_2O_7$

c) Uji Parameter TSS

- (1) Kertas saring pada cawan petri dioven dengan suhu 103 hingga 105°C selama 2 jam.
- (2) Kertas saring didinginkan dalam desikator selama 10 menit.
- (3) Kertas saring ditimbang menggunakan neraca analitik dan melakukan pencacatan hasil penimbangan tersebut.
- (4) Kertas saring diletakkan pada corong dengan menyesuaikan bentuk corong.
- (5) Sampel air dituangkan dalam erlenmeyer dengan volume 25 ml menggunakan kertas saring dan corong tersebut.
- (6) Kertas saring didiamkan hingga padatan tersaring.
- (7) Kertas saring dioven beserta residu dengan suhu 103 hingga 105°C selama 2 jam.
- (8) Kertas saring didinginkan dalam desikator selama 10 menit.
- (9) Kertas saring ditimbang menggunakan neraca analitik dan melakukan pencacatan hasil penimbangan tersebut.
- (10) Kadar TSS dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Total Suspended Solid (mg/L)} = \frac{A - B \times 1000}{\text{Volume contoh uji (ml)}}$$

Keterangan:

A = berat kertas saring dan residu kering (mg)

B = berat kertas saring (mg)

d) Uji Parameter Merkuri

- (1) Sampel ditimbang sebanyak 5,0022 gram dan 5,0019 gram dan dimasukkan dalam erlenmeyer 100 ml.
- (2) Aquades ditambahkan dalam erlenmeyer sebanyak 25 ml.
- (3) Asam nitrat pekat ditambahkan dalam erlenmeyer sebanyak 5 ml.
- (4) Larutan dipanaskan hingga volume berubah menjadi 10 ml.
- (5) Larutan hasil sisa destruksi disaring dan dimasukkan dalam labu takar 100 ml.
- (6) Larutan baku ditambahkan dalam labu takar sebanyak 1 ppm.
- (7) Larutan diencerkan menggunakan aquades lalu dihomogenkan.
- (8) Melakukan duplo

e) Uji Parameter Cadmium

- (1) Persiapan saringan membran berpori 0,45 μm lalu diawetkan. Contoh uji siap diukur.
- (2) Sampel dihomogenkan. 50 ml sampel dimasukkan dalam erlenmeyer 100 ml.
- (3) NHO_3 sebanyak 5 ml ditambahkan dalam erlenmeyer lalu tutup menggunakan corong.
- (4) Panaskan larutan perlahan-lahan hingga volume larutan bersisa 15 ml hingga 20 ml.
- (5) Corong dibilas dan memasukkan air bilasan dalam erlenmeyer.
- (6) Pindahkan sampel ke labu ukur 50 ml (saring bila perlu), lalu homogenkan.
- (7) Sampel siap diukur serapannya

3.7 Analisis Data

Analisis data adalah untuk menyusun perencanaan ini dengan analisis data kuantitatif berbentuk angka dan kualitatif menjelaskan hasil tersebut. Data diperoleh untuk melakukan redesain pengolahan air lindi di TPA Ngipik.

3.7.1 Analisis Debit Air Lindi

Menghitung besarnya debit air lindi dengan data dari stasiun hujan dan intensitas hujan menggunakan Metode Neraca Air (*Water Balance Method*) dimana metode ini dapat memprediksi banyaknya air lindi yang timbul di sebuah TPA baik saat atau setelah dioperasikan. metode ini akan didasari asumsi dimana air lindi hanya dihasilkan berdasarkan curah hujan yang berhasil meresap ke dalam timbunan sampah di TPA (Damanhuri & Padmi, 2015).

$$\text{PERC} = P - (\text{RO}) - (\text{AET}) - (\Delta\text{ST}) \quad (\text{Rumus 3.1})$$

Dimana :

PERC = air yang sudah keluar dari system mengarah lapisan bawah tanah, akhir terjadinya lindi.

P = Presipitasi rata-rata dari data tahunan.

RO = rata-rata bulanan limpasan permukaan (Runoff) dihitung dari presipitasi dan koefisien limpasan.

AET = Aktual evapotranspirasi, memberitahukan banyaknya air yang hilang secara nyata dari bulan ke bulan.

ΔST = pergantian simpanan air dari dalam tanah dari bulan ke bulan yang terkait dengan soil moisture storage.

ST = Soil moisture storage, adalah banyaknya air yang tersimpan dalam tanah pada saat keseimbangan.

I = Infiltrasi, jumlah air terinfiltrasi ke dalam tanah.

3.7.2 Evaluasi Kondisi Eksisting di TPA Ngipik

Berdasarkan hasil kualitas air lindi di TPA Ngipik Kabupaten Gresik, akan dilakukan evaluasi kondisi eksisting unit pengolahan yaitu unit pengolahan bak Ekualisasi dan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR)

3.7.3 Unit Rekomendasi untuk Redesain Instalasi Air Lindi pada TPA Ngipik

- a. Pemilihan alternative unit pengolahan air lindi menggunakan metode *Efisiensi Removal*.

Untuk menggunakan Metode Efisiensi Removal kualitas air lindi yang telah diuji dibandingkan dengan baku mutu.

- b. Penetapan kriteria desain sesuai alternatif pengolahan terpilih

Kriteria desain unit pengolahan air lindi diambil dari buku dan jurnal terkait pengolahan air lindi sesuai Instalasi Pengolahan Air Lindi yang direncanakan.

- c. Perhitungan dimensi Instalasi Pengolahan Air Lindi

Perhitungan dimensi instalasi pengolahan air lindi diketahui setelah mengetahui besaran debit air lindi yang di produksi. Perhitungan dimensi IPAL terdiri dari dimensi lebar, panjang, dan kedalaman IPAL.

- d. Penggambaran *Detail Engineering Design* (DED)

Pada tahap ini adalah menggambar detail setiap unit pengolahan meliputi bentuknya dan ukuran bangunanya diantaranya:

- 1) Denah unit pengolahan air lindi pada TPA Ngipik.
- 2) Potongan tiap unit pengolahan (baik potongan melintang maupun memanjang).

3.7.4 Perhitungan Bill of Quantity dan Rencana Anggaran Biaya

Menghitung *Bill of Quantity* berdasarkan hasil analisa DED perhitungan IPAL serta HSPK Kabupaten Gresik, Jawa Timur Tahun 2022. Dalam perhitungan BOQ serta Rencana anggaran biaya adalah daftar harga atau perhitungan rincian biaya yang dianggarkan untuk pelaksanaan sebuah proyek. Mencakup keseluruhan biaya yang diperlukan untuk pengadaan lahan, biaya alat maupun biaya tenaga kerja (Prameswari & Purnomo, 2014).

3.7.5 Pembuatan *Standart Operating Procedure* (SOP) IPAL

Penyusunan *Standart Operating Procedure* (SOP) ditujukan sebagai pedoman untuk pelaksanaan atau dapat digunakan sebagai prosedur perawatan IPAL.



BAB IV

GAMBARAN UMUM WILAYAH PERENCANAAN

4.1 Sejarah Unit Pelaksana Teknis (UPT) Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)

Kabupaten Gresik memiliki satu tempat pemrosesan akhir (TPA) sampah yaitu TPA Ngipik yang beroperasi sejak tahun 2002. Luas lahan TPA Ngipik sebesar 6 ha dengan daya tampung awal sebesar 400 m³/hari. Semakin meningkat timbulan sampah di Kabupaten Gresik dan semakin diperluas area pelayanan persampahannya, maka timbulan sampah yang akan masuk ke TPA Ngipik juga semakin bertambah. Timbulan sampah masuk TPA Ngipik pada tahun 2002 sebesar 400 m³/hari dan mengalami kenaikan tiap tahunnya (sebagai akibat peningkatan pelayanan persampahan). Pada tahun 2020 luas lahan TPA Ngipik sebesar 9,3 ha yang terdiri dari 7,5 ha untuk lahan pembuangan dan 1,8 ha untuk sarana prasarana pendukung. Timbulan sampah yang masuk ke TPA mencapai 800 m³/hari (DLH Kabupaten Gresik, 2021).

Jumlah sampah di *landfill* pada sel pasif (usia sampah 17 tahun) sebesar 229.010 ton dan komposisi sampah terbesar di TPA Ngipik adalah sampah plastik, sebesar 52,2%. Sampah plastik merupakan sampah yang sulit terurai, membutuhkan waktu 50-2000 tahun untuk terurai sempurna. Sampah plastic memiliki nilai kalor yang tinggi, yaitu berkisar 42.600 – 46.800 KJ/kg, akan tetapi nilai kalor plastic yang telah tertimbun di *landfill* memiliki nilai kalor yang jauh lebih tinggi akibat adanya proses degradasi oleh mikroba (Tchobanoglous, dkk., 1993). Dengan demikian sampah plastik yang ada dalam *landfill* berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan bakar namun membutuhkan titik bakar yang tinggi.

Penanganan sampah di TPA Ngipik yaitu dengan melakukan inovasi SABER TPA (Sampah diolah menjadi Berkah dan Pembelajaran di Tempat Pemrosesan Akhir sampah), yaitu TPA yang biasanya hanya sebagai tempat pembuangan sampah diubah menjadi tempat pengolahan sampah, yang dimana semua sampah yang masuk TPA diproses mulai dari pengomposan,

pemanenan gas metan, hingga penambangan sampah di *landfill* TPA, dengan kata lain menggunakan sampah masuk TPA sebagai salah satu sumber daya untuk mengoptimalkan pelayanan sampah di TPA. Penambangan sampah di TPA Ngipik yang dilakukan dengan pembangunan sarana penambang *landfill* dibiayai oleh Semen Gresik Indonesia dan Pemerintah Kabupaten Gresik melalui UPT TPA DLH Gresik berperan pada operasional penambangan menggunakan alat berat milik pemerintah daerah.

TPA juga dijadikan tempat pembelajaran pengelolaan sampah dan lingkungan hidup. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan pengetahuan masyarakat mengenai pengelolaan sampah, khususnya di TPA dan lingkungan hidup. Selain itu juga untuk merubah paradigma masyarakat mengenai TPA, yang mana warga selalu menolak bila daerahnya ditempati TPA. Kegiatan pembelajaran ini didukung dengan adanya taman edukasi. Apabila TPA dikelola sedemikian menarik, berpotensi ekonomi dari segi pengolahan sampahnya maupun dari segi pemanfaatan sebagai taman edukasi, maka diharapkan masyarakat akan tertarik berkunjung ke TPA dan juga tidak berkeberatan bila daerahnya ditempati TPA maupun tempat pengolahan sampah lainnya.

4.2 Lokasi UPT TPA Ngipik

Lokasi UPT TPA Ngipik berdiri diatas lahan pinjam pakai milik PT. Semen Indonesia Tbk yang berlokasi di jalan Prof, Dr, Moh. Nyamin No.017, Sekarsore, Roomo, Kecamatan Gresik, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur, Indonesia. TPA Ngipik berjarak kurang lebih 3,7 km dari pusat kota Gresik. Secara administtasi, TPA Ngipik dibatai oleh:

1. Sebelah Selatan : Desa Tlogopatut dan Desa Sidokumpul, Kecamatan Gresik.
2. Sebelah Utara : Desa Yosowilangun, Kecamatan Manyar.
3. Sebelah Barat : Desa Randuagung, Kecamatan Kebomas.
4. Sebelah Timur : Desa Tlogopojok, Desa Karangturi, dan Desa Sukorame, Kecamatan Gresik.

Lokasi TPA Ngipik dilihat pada Gambar 3.1. Luas area TPA Ngipik adalah 9,3 ha dimana 7,5 ha untuk lahan *landfill* dan 1,8 ha untuk sarana prasarana. (DLH Kabupaten Gresik, 2021)

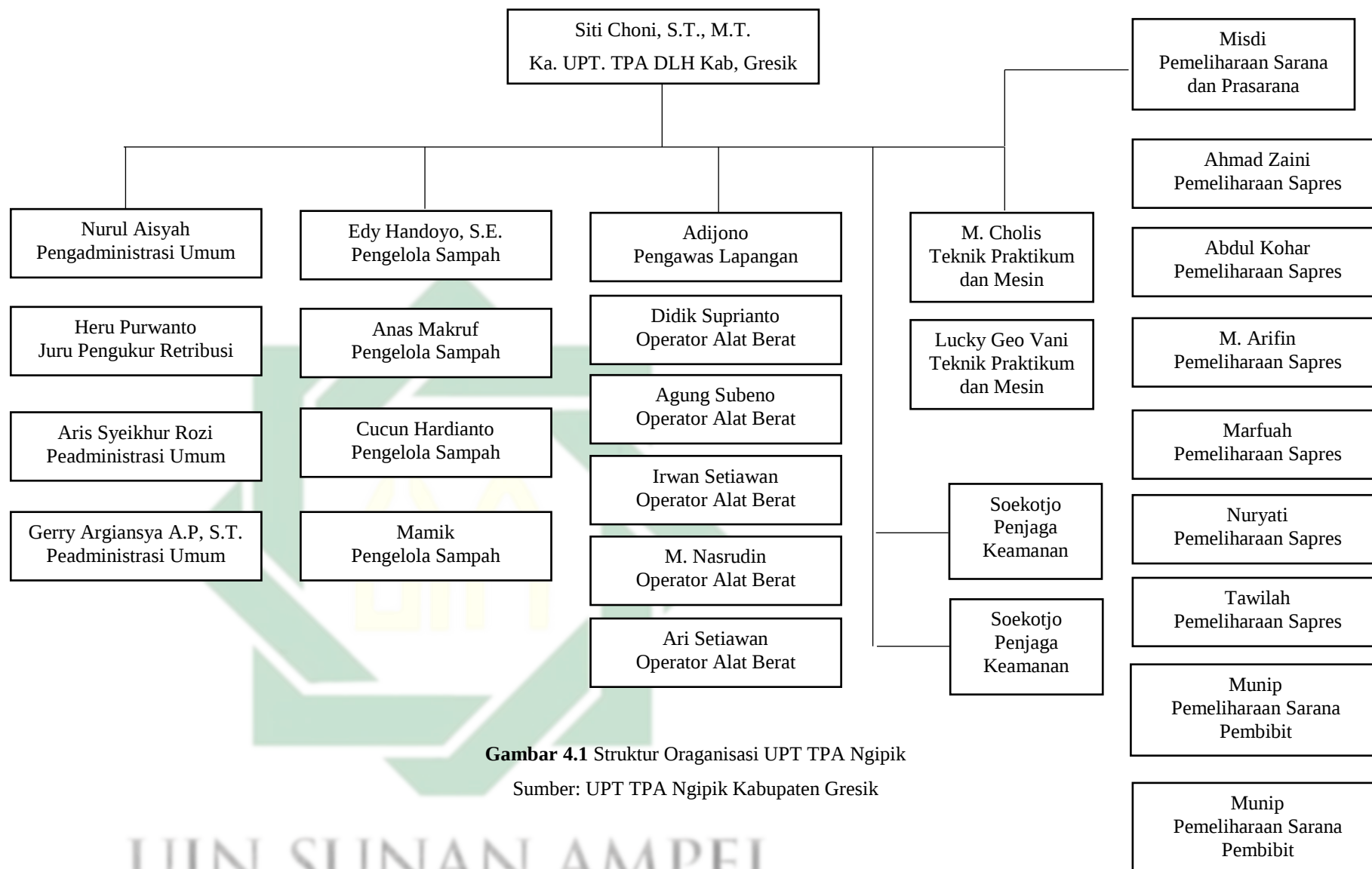
4.3 Tugas Pokok dan Fungsi UPT TPA Ngipik

Tugas pokok UPT TPA Ngipik adalah melaksanakan sebagian tugas Dinas Lingkungan Hidup dalam pelaksanaan tugas teknis operasional pengelolaan persampahan. Adapun fungsi UPT TPA Ngipik Kabupaten Gresik antara lain:

1. Pelaksanaan penyusun program dan kegiatan tempat pembangunan akhir sampah.
2. Pelaksanaan kegiatan dan kebijakan teknis tempat pembuangan akhir sampah.
3. Pelaksanaan upaya pengurangan sampah, tata kelola persampahan dan analisis persampahan di tempat pembuangan akhir sampah.
4. Pelaksanaan kebijakan teknis kerjasama antar lembaga pemerintah maupun swasta dalam pengelolaan tempat pembuangan akhir sampah.
5. Pelaksanaan pemberdayaan persampahan, penarikan dan pengadministrasian retribusi persampahan dilingkungan tempat pembuangan akhir sampah.
6. Pelaksanaan monitoring, evaluasi dan pelaporan hasil pelaksanaan pengelolaan tempat pembuangan akhir sampah.
7. Pelaksanaan tugas dinas lain yang diberikan oleh Kepala Dinas Lingkungan Hidup sesuai dengan bidang tugasnya.

4.4 Struktur Organisasi UPT TPA Ngipik

UPT TPA Ngipik memiliki jumlah karyawan sebanyak 27 orang pegawai dengan jam buka kantor dimulai pukul 08.00 – 16.00 WIB. Pelaksanaan hari kerja yang berlaku UPT TPA Ngipik dilakukan selama 5 hari dalam seminggu. Berikut merupakan struktur organisasi yang terdapat pada UPT TPA Ngipik dapat dilihat pada **Gambar 4.1** dibawah ini.



Gambar 4.1 Struktur Oraganisasi UPT TPA Ngipik

Sumber: UPT TPA Ngipik Kabupaten Gresik

4.5 Sarana dan Prasarana UPT TPA Ngipik

UPT TPA Ngipik memiliki sarana dan prasarana guna menunjang kegiatan pengelolaan sampah sehari-hari dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Struktur Organisasi UPT TPA Ngipik

No.	Sarana dan Prasarana	Jumlah
1.	Kantor TPA	1
2.	Pos Jaga	1
3.	IPAL	1
4.	Greenhouse	1
5.	Incinerator	1
6.	Mesin Pencacah Kompos	2
7.	Excavator	4 (2 rusak, 2 baik)
8.	Bengkel	1
9.	Jembatan Timbang	1
10.	Gerobak Morot Sampah	1
11.	Truk Tangki	1
12.	Dump Truk	1
13.	Begho Loader	1 (rusak)
14.	Buldozer	3 (1 rusak, 2 baik)
15.	Pengolah sampah plastic jadi BBM	7

Sumber: Profil TPA Ngipik, 2021

4.6 Sumber dan Timbulan Sampah

Kabupaten Gresik menghasilkan sampah yang berasal dari kegiatan non domestik dan domestik. Sampah non domestik berasal dari non permukiman dan sampah domestik berasal dari limbah rumah tangga. Adapun jumlah sampah pada tahun 2022 mulai bulan Januari sampai dengan bulan Agustus dapat dilihat pada **Tabel 4.2** dan **Gambar 4.2**. jumlah sampah yang masuk ke TPA Ngipik rata-rata sebesar 6211,66 kg/bulan.

Tabel 4.2 Jumlah Sampah Masuk TPA Ngipik

Bulan	Jumlah Sampah per hari	Jumlah sampah per bulan
1	213,434 kg/hari	6.616,440 kg/bulan
2	214,974 kg/hari	6.019,280 kg/bulan
3	211,801 kg/hari	6.565,360 kg/bulan
4	192,679 kg/hari	5.780,360 kg/bulan
5	188,952 kg/hari	5.857,520 kg/bulan
6	208,724 kg/hari	6.370,440 kg/bulan
7	201,352 kg/hari	6.241,920 kg/bulan
8	201,192 kg/hari	6.236,950 kg/bulan
Rata rata	204,1385 kg/hari	6.211,660 kg/bulan

Sumber: Profil TPA Ngipik, 2022



Gambar 4.2 Grafik Jumlah Sampah Masuk TPA Ngipik

Sumber: Profil TPA Ngipik, 2022

4.7 Geografis TPA Ngipik

4.7.1 Data Presipitasi dan Temperatur

Mencari nilai rata-rata dari data presipitasi secara bulanan yang didapatkan dari stasiun BMKG Wilayah 3 Sangkapura Kabupaten Gresik dapat dilihat pada **Tabel 4.4** sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data Curah Hujan Bulanan Stasiun BMKG Wilayah 3 Sangkapura
Kabupaten Gresik

Tahun	Curah Hujan Bulanan (mm)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
2011	344	167	288	249	113	64	4	0	0	60	299	631
2012	385	283	338	116	103	51	72	2	0	23	242	465
2013	344	201	263	197	207	128	126	35	0	15	177	795
2014	308	46	127	200	109	34	43	4	0	0	27	651
2015	387	288	107	336	93	30	4	0	0	0	63	261
2016	339	643	349	406	160	259	80	2	64	359	160	534
2017	444	365	178	95	210	76	66	2	25	14	390	499
2018	429	271	277	82	118	30	12	2	21	52	311	481
2019	802	300	504	124	86	47	2	0	0	0	37	276
2020	590	400	164	236	299	115	52	20	2	85	240	543
2021	733	115	94	117	100	112	10	8	214	260	468	256
P rata rata	464.1	279.9	244.5	196.2	145.3	86	42.8	6.8	29.6	78.9	219.5	490.2

Sumber: Kabupaten Gresik Dalam Angka Tahun 2011-2021

4.7.2 Data temperatur

Mencari nilai rata-rata dari data temperatur secara bulanan yang didapatkan dari stasiun BMKG Wilayah 3 Sangkapura Kabupaten Gresik dapat dilihat pada **Tabel 4.5** sebagai berikut:

Tabel 4.4 Temperatur Maksimum Bulanan Stasiun BMKG Wilayah 3 Sangkapura Kabupaten Gresik

Tahun	Temperature Maksimum Bulanan (oC)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
2011	27.4	27.3	27.2	27.4	28.1	27.8	27.6	27.7	28.3	29.1	28.4	27.8
2012	27.4	27.2	27.6	28.8	28.6	29.0	27.7	27.8	28.5	29.6	28.9	28.0
2013	27.3	27.1	27.5	28.6	28.4	28.0	27.7	28.1	28.6	29.6	28.3	27.3
2014	27.4	27.9	28.0	28.0	29.2	28.9	28.1	28.0	28.3	29.5	29.8	28.0
2015	27.4	27.8	27.9	27.6	28.6	28.5	27.7	27.5	28.0	28.8	30.1	28.6
2016	28.6	27.5	28.3	28.6	29.4	28.5	28.6	28.7	28.9	28.5	28.5	27.9
2017	27.5	27.3	27.8	28.2	28.9	28.3	28.0	28.2	28.6	29.8	28.0	28.1
2018	27.3	27.4	27.8	29.1	29.5	28.6	28.0	27.9	28.6	29.3	28.9	28.2
2019	27.4	27.9	27.7	28.8	29.5	28.7	27.8	27.6	28.0	29.3	29.9	29.0
2020	28.1	27.9	28.6	28.7	29.0	28.9	28.3	28.4	29.0	29.0	28.8	27.6
2021	27.2	27.9	27.9	28.7	29.0	28.4	28.4	28.3	28.7	29.0	27.9	28.2
P rata rata	27.50	27.50	27.80	28.40	28.90	28.40	27.90	28.01	28.50	29.20	28.80	28.06

Sumber: Kabupaten Gresik Dalam Angka Tahun 2011-2021

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Debit Air Lindi

Perhitungan debit air lindi di lokasi TPA Ngipik menggunakan metode *Water Balance Method*. Perhitungan metode ini digunakan untuk memperkirakan timbunan air lindi adalah dengan pendekatan neraca air atau *water balance method*. metode tersebut didasarkan oleh asumsi bahwa air lindi hanya dihasilkan dari air eksternal yang masuk ke dalam timbunan sampah atau disebut perkolasi dan mengabaikan faktor lain seperti infiltrasi muka air tanah dan hasil dari dekomposisi sampah. Dalam menghitung kuantitas perkolasi dipengaruhi oleh presipitasi, evapotranspirasi, *Surface run-off*, *soil moisture storage*, *daylight factor* sehingga perlu dicari nilai dari setiap faktor sebelum akhirnya didapatkan nilai dari perkolasi yang akan dicari (Damanhuri & Padmi, 2015). Data yang dibutuhkan dalam metode ini didapatkan dari stasiun BMKG wilayah 3 Sangkapura Kabupaten Gresik, dimana data curah hujan, data suhu udara, dan data posisi koordinat stasiun.

Menurut (Damanhuri & Padmi, 2010), Posisi geografis dari TPA Ngipik terletak pada -7.152346 LU dan 112.632551 BT yang akan digunakan untuk menentukan faktor penyinaran matahari (*daylight factor*), data mengenai rancangan landfill yang diketahui diantaranya:

1. Menggunakan curah hujan rata-rata tahunan, lebih baik digunakan data series dalam kurun waktu 10 tahun. Akan tetapi data 10 tahun yang digunakan ada kesamaan data curah hujan pada bulan Januari dan Desember. Oleh karena itu, data yang digunakan yaitu pada tahun 2011-2021.
2. Tanah yang digunakan untuk tanah penutup adalah tanah bekas galian dari lokasi TPA, namun diperhitungkan tanah ini tidak akan mencukupi kebutuhan tanah penutup sampai ke tahap penutup akhir, maka diamsuksikan tanah penutup akhir yang akan digunakan adalah tanah yang komposisinya terdiri dari : 60 % pasir, 10 % tanah liat, 30% tanah lanau.

3. Ketebalan tanah penutup diantara 0,5m – 1,0 m dengan permukaan 2% slope datar.

Berikut ini uraian dari perhitungan debit air lindi yang dilakukan pada TPA Ngipik Kabupaten Gresik:

5.1.1 Menentukan Jenis Tanah

Jenis tanah yang digunakan sebagai final cover sesuai USDA yang dapat dilihat pada **Gambar 2.3**, sehingga dapat diketahui komposisi tanah yang digunakan termasuk ke dalam jenis tanah sandy loam (lempung berpasir) (RIPKA Gresik tahun 2013).

Selanjutnya dengan melihat pada **Tabel 2.3**, diperoleh jumlah air tersedia (yang dapat disimpan) pada jenis tanah sandy loam, yaitu, 150 mm/m. Satuan yang digunakan dapat berupa milimeter-air per meter tinggi media. Pada perencanaan ini digunakan untuk penutupan sebuah landfill adalah sandy loam dengan ketebalan 0,6 m, maka diperkirakan jumlah air yang dapat diserap pada field capacity-nya adalah $0,6 \text{ m} \times 150 \text{ mm/m} = 90 \text{ mm}$.

5.1.2 Data Presipitasi dan temperatur

Mencari nilai rata-rata dari data presipitasi dan temperatur secara bulanan yang didapatkan dari stasiun BMKG Wilayah 3 Sangkapura Kabupaten Gresik dapat dilihat pada **Tabel 4.4** dan **Tabel 4.5**.

5.1.3 Potensi Evapotranspirasi dengan Metode *Water Balance Method*

1. Indeks panas untuk setiap bulan.

Sebagai contoh perhitungan indeks panas pada bulan Januari dijelaskan dibawah ini:

Diketahui:

Temperatur rata-rata pada bulan Januari : 27,55 °C

Menghitung Indeks panas:

$$I = \sum_{T=0}^{12} t^{1,514} = \sum_{T=0}^{12} (T/5)^{1,514}$$

$$I = \left(\frac{27,55}{5} \right)^{1,514} = 13.25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sehingga nilai indeks panas dalam setahun dapat dilihat pada **Tabel 5.4** sebagai berikut:

Tabel 5.1 Nilai Heat Index

Bulan	Temperature rata rata	Heat Index
Jan	27.55	13.25
Feb	27.56	13.25
Mar	27.85	13.46
Apr	28.41	13.88
Mei	28.93	14.26
Jun	28.43	13.89
Jul	27.99	13.56
Agu	28.01	13.58
Sep	28.5	13.94
Okt	29.22	14.48
Nov	28.86	14.21
Des	28.06	13.62
Sum/Average	339.37	165.40

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

2. Nilai Potensi Evapotranspirasi (PET)

Berdasarkan perhitungan sebelumnya diketahui nilai indeks rata-rata tahunan (H_i) 165,40.

Diketahui:

nilai indeks rata-rata tahunan (H_i) : 165,40 °C

nilai koefisien (c) : 16,2 mm

Temperatur rata-rata pada bulan Desember : 28,06 °C

Menghitung nilai koefisien (a) dan PET: Rumus 2.7

$$a = (0,000000675 \times H_i^3) - (0,0000771 \times H_i^2) + (0,01792 \times H_i) + 0,49239$$

$$a = (0,000000675 \times 165,40^3) - (0,0000771 \times 165,40^2) + (0,01792 \times 165,40) + 0,49239$$

$$a = 4,401$$

Setelah nilai koefisien “ a ” diketahui maka dapat dicari nilai PET untuk bulan Desember dengan **Rumus 2.6** sebagai berikut:

$$PET = c \times \left(\frac{10T_{Desember}}{H_i} \right)^a$$

$$PET = 16,2 \times \left(\frac{10 \times 28,06}{165,40} \right)^{4,4}$$

$$PET = 165,87 \text{ mm}$$

Didapatkan hasil dari perhitungan diatas nilai PET pada bulan Desember sebesar 165,87 mm. untuk hasil perhitungan pada bulan lainnya dapat dilihat pada lampiran 1.

3. Lama penyinaran matahari

Untuk menentukan faktor lama penyinaran matahari perlu diketahui koordinat lokasi dari lokasi perancangan dimana sebelumnya telah diketahui TPA Ngipik berada pada -7.152346 LU dan 112.632551 BT. Untuk mengetahui nilai dari lama penyinaran matahari dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

Dengan melihat **Tabel 2.4**. dilakukan interpolasi antara nilai faktor penyinaran matahari dan lokasi TPA Ngipik sebagai berikut:

$$\begin{array}{ll} x & = 5,58 & y & = r_{\text{Desember}} \\ x_1 & = 5 & y_1 & = 1,1 \\ x_2 & = 10 & y_2 & = 1,12 \end{array}$$

maka:

$$\begin{aligned} y &= y_1 + \frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} (y_2 - y_1) \\ r_{\text{Desember}} &= 1,1 + \frac{(5,58-5)}{(10-5)} (1,12 - 1,1) \\ r_{\text{Desember}} &= 1,10 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan faktor penyinaran matahari untuk bulan Desember adalah sebesar 1,10. Dimana untuk bulan berikutnya dapat dilihat pada lampiran 2.

4. *Adjusted* PET (PET yang sudah dikalibrasi)

Nilai *adjusted* PET didapatkan dari perkalian antara nilai PET dan faktor penyinaran matahari. Bulan desember digunakan sebagai contoh untuk perhitungan yang akan digunakan.

Diketahui:

$$\begin{array}{ll} r_{\text{Desember}} & : 1,10 \\ PET_{\text{desember}} & : 165,87 \text{ mm} \end{array}$$

Menghitung nilai *Adjusted* PET: Rumus 2.8

$$\text{Adjusted PET} = r_{\text{month}} \times \text{PET}_{\text{month}}$$

$$\text{Adjusted PET} = 1,10 \times 165,78 \text{ mm}$$

$$\text{Adjusted PET} = 182,844 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan diatas kita dapat mengetahui nilai dari PET yang sudah disesuaikan dengan posisi koordinat, jadi diketahui bahwa nilai dari adjusted PET adalah sebesar 182,844 mm. Lalu perhitungan juga dilakukan untuk bulan yang lainnya dimana hasil dari perhitungan dapat dilihat pada lampiran 3.

5. Koefisien Air Larian (*run off*) (Cr).

Untuk menentukan nilai koefisien *run off* digunakan nilai empiris yang dapat dilihat pada **Tabel 2.5**. Di dalam perancangan desain desain *landfill* kondisi tanah dominan berjenis *Sandy Soil* (tanah berpasir) dan nilai koefisien *run off* yang digunakan adalah 0,15.

6. Air Aliran (*Run off*) bulanan (RO).

Nilai *run off* bulanan didapatkan dari hasil perkalian antara curah hujan rata – rata dikalikan dengan nilai koefisien *run off*.

Diketahui:

P(desember) : 490,2mm

nilai koefisien *run off* (Cr) : 0,15

Menghitung nilai RO: Rumus 2.9

$$\text{RO} = P \times \text{Cr}$$

$$\text{RO} = 490,2 \text{ mm} \times 0,15$$

$$\text{RO} = 73.53 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas didapatkan nilai *run off* untuk bulan Desember adalah sebesar 73,53 mm. Untuk hasil perhitungan bulan lainnya dapat dilihat pada data lampiran 4.

7. Infiltrasi (I)

Nilai Infiltrasi merupakan banyaknya air yang meresap kedalam permukaan tanah yang nilai nya didapatkan dengan mengurangi nilai curah hujan dengan banyak nya nilai air larian (*run off*).

Diketahui:

P(desember) : 490,2mm

nilai Air Aliran (*Run off*) bulanan (RO) : 73.53 mm

Menghitung nilai Infiltrasi (I): Rumus 2.10

$$I = P - RO$$

$$I = 490,2 \text{ mm} - 73,53 \text{ mm}$$

$$I = 416.65 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil dari persamaan diatas didapatkan bahwa nilai infiltrasi untuk bulan Desember adalah sebesar 416,65 mm. Untuk hasil dari persamaan pada bulan lainnya dapat dilihat pada lampiran 5.

8. Air yang tersedia untuk penyimpanan

Seiring dengan air yang berinfiltrasi ke dalam lapisan tanah yang terdapat di lahan TPA maka kandungan air nya akan berkurang dengan adanya evapotranspirasi, sehingga untuk mencari nilai air yang terkandung untuk penyimpanan pada bulan Desember.

Diketahui:

nilai Infiltrasi (I) : 416.65 mm

nilai *Adjusted* PET : 182,844 mm

Menghitung nilai Air yang tersedia: Rumus 2.11

$$\text{Air Tersedia} = I - \text{Adjusted PET}$$

$$\text{Air Tersedia} = 416,65 \text{ mm} - 182,844 \text{ mm}$$

$$\text{Air Tersedia} = 233,81 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil persamaan diatas didapatkan nilai air yang tersedia untuk penyimpanan tanah pada bulan Desember adalah sebesar 233,81 mm, dimana ketika didapatkan nilai negatif dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat air yang tersimpan di dalam tanah . Untuk nilai dari air yang tersimpan pada bulan lainnya dapat dilihat pada lampiran 6.

9. *Accumulated Water Loss* (AccwL)

AccWL adalah akumulasi nilai negatif dari air yang tersedia untuk penyimpanan ($I - \text{adjusted PET}$) yang merupakan

kehilangan air secara akumulasi dari bulan – bulan sebelumnya. Pada hal ini perhitungan neraca air hanya pada priode 1 tahun, maka nilai AccWL didapatkan dari penambahan dari bulan Mei ditambah dengan nilai pada bulan Juni begitu pula pada bulan setelahnya. nilai pada bulan Desember adalah sebesar 0 mm. Hasil perhitungan untuk bulan berikutnya dapat dilihat pada lampiran 7.

10. *Soil Moisture Storage (ST)*

Soil Moisture Storage adalah banyak nya air yang tersimpan oleh tanah pada kondisi keseimbangan dimana nilai yang didapatkan menunjukkan banyaknya air yang dapat disimpan oleh tanah yang digunakan. Diketahui bahwa sebelumnya disebutkan jika tanah yang digunakan sebagai penutup akhir dari lokasi TPA adalah tanah jenis sandy loam yang memiliki ketebalan tanah 60 cm dan nilai simpanan air maksimum adalah sebesar 90 mm dan menjadi 100 mm.

Untuk mengetahui nilai ST digunakan **Tabel 2.6** dan dicocokkan dengan nilai AccWL. Sebagai contoh untuk bulan Desember nilai AccWL yang didapatkan adalah 0 mm lalu dilihat pada tabel *soil moisture retention table* pada baris 0 dan kolom 0, maka didapatkan nilai ST pada bulan Desember adalah sebesar 100.

11. Menghitung perubahan ST dari bulan terakhir (ΔST)

Perubahan ST (ΔST) merupakan selisih antara nilai ST bulan dengan bulan sebelumnya. Pada bulan Januari dianggap tidak ada perubahan dikarenakan bulan pertama dari perancangan. Sebagai contoh untuk bulan januari perubahan ST dikosongkan, lalu untuk bulan Februari nilai perubahan ST dapat diketahui dengan mengurangi nilai ST Februari dengan nilai ST pada bulan januari, begitu juga untuk bulan yang lain. Pada bulan Desember nilai perubahan ST didapatkan bernilai 87,00, nilai dari perubahan ST dan nilai ST pada bulan lainnya dapat dilihat pada lampiran 7.

12. Actual Evapotranspiration (AET)

Untuk mencari nilai AET digunakan ketentuan dimana:

- Pada bulan basah dimana $I \geq A_{jd. PET}$, maka nilai $AET = PET$.
- Pada bulan kering dimana $I < A_{jd. PET}$, maka nilai $AET = I - \Delta ST$.

Sebagai contoh pada bulan Desember diketahui memiliki nilai infiltrasi sebesar 416,65 mm yang dimana nilai ini lebih besar daripada nilai Adjusted PET yang memiliki nilai 182,844 mm. Oleh karena itu nilai AET pada bulan Desember digunakan persamaan bulan basah sebagai berikut:

$$AET = PET$$

$$AET = 165,87$$

Berdasarkan hal ini diketahui bahwa nilai AET untuk bulan Desember adalah sebesar 165,87 mm. Untuk hasil dari persamaan pada bulan yang lain dapat dilihat pada lampiran 8.

13. Perlokasi (PERC)

Untuk menentukan nilai perkolasi (PERC) ketentuan yang digunakan diantaranya:

- Untuk bulan basah $I \geq A_{jd. PET}$, maka nilai $PERC = I - PET - \Delta ST$
- Untuk bulan kering $I < A_{jd. PET}$, maka nilai $PERC = 0$.

Sebagai contoh perhitungan digunakan bulan Desember dimana persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$PERC = I - PET - \Delta ST$$

$$PERC = 416,65 - 165,87 - 87$$

$$PERC = 163,78$$

Berdasarkan persamaan diatas dapat diketahui bahwa nilai perkolasi untuk bulan Desember adalah 163,78 mm. Untuk hasil persamaan pada bulan lain dapat dilihat pada lampiran 9.

Untuk selengkapnya hasil perhitungan neraca air dengan metode Water Balance Method dapat dilihat pada **Tabel 5.2** sebagai berikut.

Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Debit dengan Metode Water Balance Method

No.	Parameter	Satuan	Bulan												Average
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Sum
1	T (Temperatur)	°C	27,55	27,56	27,84	28,40	28,92	28,42	27,99	28,01	28,50	29,21	28,86	28,06	28,28
2	i (Heat Index)		13,25	13,25	13,47	13,88	14,26	13,89	13,57	13,58	13,94	14,48	14,21	13,62	165,4
3	a (Constanta)		4,401	4,401	4,401	4,401	4,401	4,401	4,401	4,401	4,401	4,401	4,401	4,401	
4	c		16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	
5	PET (Potensial Evapotranspirasi)	mm	153,01	153,25	160,48	175,17	189,73	175,72	164,06	164,58	177,63	198,24	187,72	165,87	2065,46
6	r (Daylight Factor)		1,08	0,97	1,05	0,98	1,01	0,96	0,99	1,01	1	1,06	1,05	1,10	
7	PET adjusted	mm	165,96	148,83	168,50	173,22	190,97	168,28	163,49	166,03	177,63	210,37	197,54	182,84	2113,66
8	P (Presipitasi Rata-rata)	mm	464,09	279,91	244,45	196,18	145,27	86	42,82	6,82	29,63	78,91	219,45	490,18	2283,73
9	Cro (Coefficient Run Off)		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
10	RO (Run Off)	mm	69,61	41,99	36,67	29,43	21,79	12,90	6,42	1,02	4,44	11,84	32,92	73,53	342,57
11	I (Infiltrasi)	mm	394,48	237,92	207,79	166,75	123,48	73,1	36,39	5,79	25,19	67,07	186,54	416,65	1941,16
12	I - PET adjusted	mm	228,52	89,09	39,28	-6,46	-67,48	-95,18	-127,1	-160,2	-152,4	-143,3	11	233,81	22,764
13	APWL (Accumulated Potensial Water Loss)	mm	-	-	-	-6,37	-73,85	-169	-296,1	-456,3	-608,7	-752	-763	-	
14	ST (Soil Moisture Storage)	mm	100	55	45	94	48	18	13	13	13	13	13	100	
15	ΔST (Perubahan Simpanan Air)	mm	100	-45	-10	-	-46	-30	-5	-	-	-	-	87	
16	AET (Actual Evapotranspirasi)	mm	153,01	153,25	160,48	166,75	169,48	103,1	41,39	5,79	25,19	67,07	186,54	165,87	1370,93
17	PERC (Pelocation)	mm	141,47	129,67	57,31	-	-	-	-	-	-	-	-	163,78	
	CHECK P = PERC + AET + ΔST + RO		451,1	451,09	252,91	217,46	169,18	191,27	116	47,82	6,82	29,64	78,91	219,46	403,18

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

5.1.4 Debit Air Lindi

Dalam menentukan debit air lindi yang akan masuk ke dalam pengolahan air lindi digunakan nilai perkolasi (PERC) yang terbesar dari setiap bulan yang dihitung. Berdasarkan Tabel 5.7 diatas bahwa nilai perkolasi yang terbesar terdapat pada bulan Desember dengan nilai 163,78 mm/bulan. Berdasarkan DLH Kabupaten Gresik (2019), luas Landfill TPA Ngipik Kabupaten sebesar 4,5 Ha atau 45.000 m².

Diketahui:

nilai Perlokasi : 163,78 mm/bulan
luas Landfill : 4,5 Ha atau 45.000 m²

Menghitung nilai nilai perlokasi dan debit air lindi:

1. Menentukan nilai perlokasi

$$\text{Nilai Perlokasi} \left(\frac{\text{mm}}{\text{hari}} \right) = \frac{\text{Nilai Pelokasi} \left(\frac{\text{mm}}{\text{bulan}} \right)}{\text{Jumlah hari dalam satu bulan}}$$

$$\text{Nilai Perlokasi} \left(\frac{\text{mm}}{\text{hari}} \right) = \frac{163,78 \left(\frac{\text{mm}}{\text{bulan}} \right)}{31 \text{ hari}}$$

$$\text{Nilai Perlokasi} \left(\frac{\text{mm}}{\text{hari}} \right) = 5,28 \left(\frac{\text{mm}}{\text{hari}} \right)$$

2. Debit Air Lindi

$$\text{Debit Air Lindi} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) = \frac{\text{Nilai Pelokasi} \left(\frac{\text{mm}}{\text{hari}} \right) \times \text{Luas Landfill}}{1000}$$

$$\text{Debit Air Lindi} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) = \frac{5,28 \left(\frac{\text{mm}}{\text{hari}} \right) \times 45.000 \text{ m}^2}{1000}$$

$$\text{Debit Air Lindi} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) = 237,75 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right)$$

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa pada bulan dengan nilai perkolasi terbesar yaitu bulan Oktober memiliki timbulan debit lindi dengan nilai sebesar 237,75 m³/hari yang juga digunakan sebagai debit air lindi di dalam merencanakan instalai pengolahan air lindi, untuk air lindi dengan nilai perkolasi terkecil yaitu pada bulan Maret diperhitungkan memiliki timbulan air lindi dengan nilai sebesar 57.308 m³/hari.

Timbunan air lindi ini akan dikumpulkan oleh pipa pengumpul yang ditanam di bawah sistem TPA dan akan dialirkan melalui titik yang berada di elevasi 39,2 m lalu didistribusikan ke inlet pengolahan air lindi yang memiliki elevasi setinggi 39 m menggunakan pipa HDPE sepanjang 280 m secara gravitasi (Damanhuri & Padmi, 2010). Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 03 Tahun 2013 ada beberapa kriteria yang digunakan di dalam merancang pipa distribusi air lindi diantaranya:

1. Dialirkan secara gravitasi.
2. Memiliki kecepatan pengaliran diantara 0,3 m/detik – 6 m/detik.
3. Kedalaman maksimal air pada pipa adalah 80 % dari diameter pipa.
4. Minimal diameter pipa yang digunakan adalah sebesar 30 cm.

5.2 Analisis Kualitas Air Lindi

5.2.1 Analisis Kualitas Air Lindi pada Inlet IPAL TPA

Hasil analisa kualitas air lindi di lokasi TPA Ngipik di ambil sampel nya dengan metode grab sampling pada titik inlet di bak ekualisasi dengan titik koordinat -7.152346 LU – 112.632551 BT pada tanggal 04 Agustus 2022 dan pukul 10.00 WIB diambil sebanyak 2,5 liter. Proses pengambilan sampel dapat dilihat pada **Gambar 5.1** untuk pengukuran karakteristik air lindi parameter suhu dan pH. Lalu dibawa ke laboratorium untuk di analisa parameter nya berdasarkan PERMEN LH No. 59 Tahun 2016 di laboratorium UPT DLH Kabupaten Gresik yang telah ter-akreditasi oleh KAN.



Gambar 5.1 Pengukuran Parameter secara Insitu pada Inlet IPAL TPA Ngipik: (a) Pengukuran Suhu; (b) Pengukuran pH

Gambar 5.1 merupakan lokasi pada inlet bak ekualisasi IPAL, dimana melakukan pengukur pada parameter pH dan suhu. Hasil dari parameter suhu yaitu 31,4 C° dan parameter pH 9,1 (PERMEN LHK No. 59, 2016). Hasil uji karakteristik air lindi pada inlet baik parameter kimia maupun fisik dapat dilihat pada **Tabel 5.3**.

Tabel 5.3 Hasil Analisis Kualitas Air Lindi pada Inlet diTPA Ngipik

No	Para-meter	Hasil Uji	Baku Mutu	Satuan	Acuan Metode	Keterangan
1	Suhu	31,4	-	°C	SNI 06-6989.23-2005	Sesuai
2	pH	9.1	6-9	-	SNI 6989 11-2019	Melebihi Baku Mutu
3	BOD	2.600	150	mg/l	SNI 6989 72-2009	Melebihi Baku Mutu
4	COD	3.102	300	mg/l	SNI 6989 2.2019	Melebihi Baku Mutu
5	TSS	380	100	mg/l	SNI 6989 13.2019	Melebihi Baku Mutu
6	Cd	0,005 ₉	0,1	mg/l	SNI 6989.16-2009	Sesuai
7	Hg	0,005 ₅	0,005	mg/l	SNI 6989 16-2009	Sesuai
8	N-Total	23,1	60	mg/l	7.2/IK/GQA/W Q/064	Sesuai

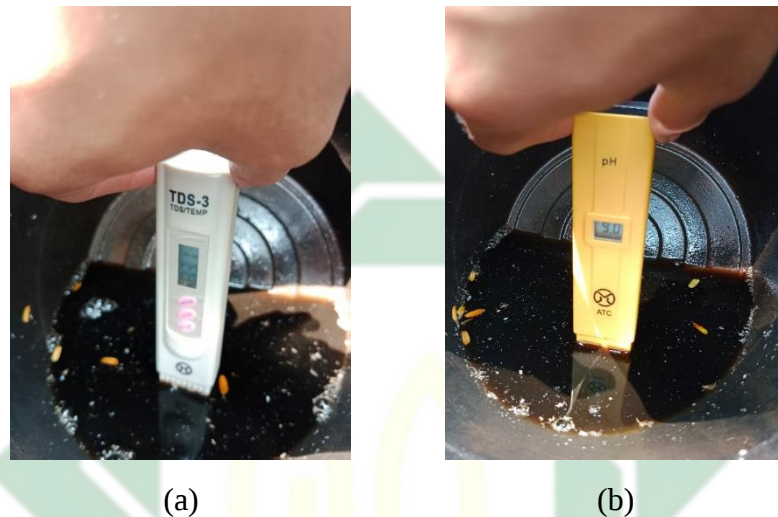
Sumber: Hasil Analisa laboratorium UPT DLH Kabupaten Gresik

Berdasarkan hasil analisa kualitas air lindi pada *inlet* yang terdapat pada tabel 5.3 dapat disimpulkan bahwa paramater pH, BOD, COD, dan TSS telah melebihi baku mutu air lindi yang ditetapkan sesuai Permen LHK No.P.59 tahun 2016. Pengukuran suhu pada air lindi TPA Ngipik memiliki suhu sebesar 31,4 C°. Kondisi ini akan berakibat pada keseimbangan oksigen terlarut, dimana semakin tingginya suhu maka akan mempengaruhi penurunan jumlah oksigen terlarut (Daryat, dkk., 2017). Potential Hydrogen atau pH bernilai 9,1 menunjukkan bahwa air lindi TPA Ngipik bersifat basa. Komposisi sampah dari landfill yang menjadi sumber lindi didominasi oleh tumpukan sampah rumah tangga seperti bungkus detergen atau sabun yang bersifat basa, juga akan berdampak pada peningkatan pH air lindi tersebut (Damanhuri, 2008). Paramater BOD, COD dan TSS memiliki nilai masing-masing sebesar 2600 mg/liter, 3102 mg/liter dan 380 mg/liter. Pada pembuangan awal kandungan BOD, COD dan TSS relatif tinggi. Hal ini dapat disebabkan karena pembuangan awal merupakan awal masuk air lindi yang berasal dari drainase aliran lindi tumpukan sampah landfill tanpa adanya perlakuan menuju bak stabilisasi (Daryat, dkk., 2017). Pada kandungan kadmium dan nitrogen hasil dari analisa yang didapatkan masing-masing memiliki nilai sebesar 0,0059 mg/liter dan 23,1 mg/liter. Sedangkan merkuri nilai yang didapatkan kurang dari 0,001 dimana hasil ini didapatkan karena parameter merkuri memiliki kadar yang tidak dapat dihitung oleh alat yang tersedia, dimana alat yang digunakan memiliki *range* sebesar 0,01 mg/liter (UPT DLH Kabupaten Gresik, 2022).

5.2.2 Analisis Kualitas Air Lindi pada Outlet IPAL TPA

Hasil analisa kualitas air lindi di lokasi TPA Ngipik di ambil sampel nya dengan metode *grab sampling* pada titik *outlet* dengan titik koordinat -7.152346 LU – 112.632551 BT pada tanggal 04 Agustus 2022 dan pukul 10.30 WIB diambil sebanyak 2,5 liter.

Proses pengambilan sampel dapat dilihat pada **Gambar 5.2** untuk pengukuran karakteristik air lindi parameter suhu dan pH. Lalu dibawa ke laboratorium untuk di analisa parameter nya berdasarkan PERMEN LH No. 59 Tahun 2016 di laboratorium UPT DLH Kabupaten Gresik yang telah ter-akreditasi oleh KAN.



Gambar 5.2 Pengukuran Parameter secara Insitu pada Outlet IPAL TPA Ngipik: (a) Pengukuran Suhu; (b) Pengukuran pH

Gambar 5.2 merupakan lokasi pada outlet IPAL, dimana melakukan pengukur pada parameter pH dan suhu. Hasil dari parameter suhu yaitu 31,4 C° dan parameter pH 8,9. Hasil uji karakteristik air lindi pada outlet baik parameter kimia maupun fisik dapat dilihat pada **Tabel 5.4**.

Tabel 5.4 Hasil Analisis Kualitas Air Lindi pada outlet diTPA Ngipik

No	Parameter	Hasil Uji	Baku Mutu	Satuan	Acuan Metode	Keterangan
1	Suhu	33,1	-	C°	SNI 06-6989.23-2005	Sesuai
2	pH	8,9	6-9	-	SNI 6989 11-2019	Sesuai
3	BOD	1.218	150	mg/l	SNI 6989 72-2009	Melebihi Baku Mutu
4	COD	2.634	300	mg/l	SNI 6989 2.2019	Melebihi Baku Mutu

No	Parameter	Hasil Uji	Baku Mutu	Satuan	Acuan Metode	Keterangan
5	TSS	170	100	mg/l	SNI 6989 13.2019	Melebihi Baku Mutu
6	Cd	0,0042	0,1	mg/l	SNI 6989.16-2009	Sesuai
7	Hg	<MD L*	0,005	mg/l	SNI 6989 16-2009	Sesuai
8	N-Total	0,73	60	mg/l	7.2/IK/GQA/W Q/064	Sesuai

Sumber: Hasil Analisa laboratorium UPT DLH Kabupaten Gresik

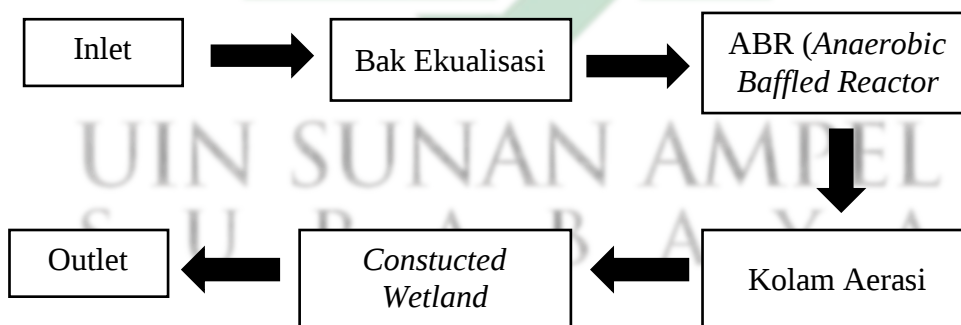
Berdasarkan hasil analisa kualitas air lindi pada *outlet* yang terdapat pada tabel 5.4 dapat disimpulkan bahwa paramater BOD, COD, dan TSS masih melebihi baku mutu air lindi yang ditetapkan sesuai Permen LHK No.P.59 tahun 2016. Pengukuran suhu pada air lindi TPA Ngipik memiliki suhu yang sebesar 33,1 C°. Kondisi ini akan berakibat pada keseimbangan oksigen terlarut, dimana semakin tingginya suhu maka akan mempengaruhi penurunan jumlah oksigen terlarut (Daryat, dkk., 2017). Potential Hydrogen atau pH bernilai 8,9 menunjukkan bahwa air lindi TPA Ngipik bersifat basa. Penurunan pH yang terjadi di outlet disebabkan oleh efek pengolahan limbah cair secara biologis dengan menggunakan mikroorganisme (Damanhuri, 2008).

Paramater BOD, COD dan TSS memiliki nilai masing-masing sebesar 1218 mg/liter, 2634 mg/liter dan 170 mg/liter. Pada kolam ABR kandungan COD dan TSS menurun karena terjadinya pengoksidasian zat pencemar pada kolam pengendapan dan juga kemungkinan kandungan zat pencemar pada air lindi mengendap ke dasar kolam menjadi lumpur, sejalan dengan kecepatan arus yang berada pada kolam tersebut (Daryat, dkk., 2017). Pada **Tabel 5.3** Inlet di kolam ABR kandungan BOD sebesar 2600 mg/l, mengalami penurunan yang cukup signifikan pada Outlet sebesar 1218 mg/l dapat dilihat pada **Tabel 5.4**. Keadaan ini dapat terjadi karena kemungkinan adanya kandungan selulosa pada air lindi yang menyebabkan dekomposisi secara biologis berlangsung relatif

lambat yang mengakibatkan terjadinya penumpukan bahan organik pada kolam pengendapan (Effendi, 2003). Pada kandungan kadmium dan nitrogen hasil dari analisa yang didapatkan masing-masing memiliki nilai sebesar 0,0042 mg/liter dan 0,73 mg/liter. Sedangkan merkuri nilai yang didapatkan kurang dari 0,001 dimana hasil ini didapatkan karena parameter merkuri memiliki kadar yang tidak dapat dihitung oleh alat yang tersedia, dimana alat yang digunakan memiliki *range* sebesar 0,01 mg/liter (UPT DLH Kabupaten Gresik, 2022). Pada perhitungan nanti nilai parameter yang digunakan untuk desain menggunakan nilai parameter dari BOD, COD, dan TSS sesuai dengan ruang lingkup dari perancangan desain pengolahan air lindi.

5.3 Evaluasi Kondisi Eksisting TPA Ngipik

Kondisi eksisting pada pengolahan air lindi di TPA Ngipik mencakup serangkaian alur proses pengolahan secara beruntun dan sistematis. Berikut skema alir proses pengolahan air lindi di TPA Ngipik dapat dilihat pada **Gambar 5.3** sebagai berikut.



Gambar 5.3 Diagram Alir Proses Pengolahan Air Lindi Eksisting di TPA Ngipik

Sumber: TPA Ngipik, Gresik

Berdasarkan survey di lapangan diketahui bahwasannya pembangunan IPAL dibangun dibawah permukaan tanah (tertanam). Pembangunan IPAL dibawah permukaan tanah bertujuan untuk meminimalisir biaya yang dikeluarkan, meminimalisir penggunaan lahan

serta untuk mengalirkan air lindi dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Tahun 2017 unit kolam aerasi dan *wetland* berhenti beroperasi dikarenakan berhentinya operasi. Untuk menggantikan unit yang sudah tidak beroperasi pada tahun 2018 terdapat penambahan 2 unit ABR Pabrikan, akan tetapi unit tersebut hanya digunakan pada saat musim hujan agar air lindi yang dihasilkan tidak *overload*. Unit yang akan dievaluasi hanya bak ekualisasi dan ABR, untuk unit aerasi dan *wetland* tidak dilakukan evaluasi karena sudah tidak beroperasi (DLH Kabupaten Gresik, 2019).

5.3.1 Evaluasi Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi adalah instalasi yang digunakan untuk mengatasi permasalahan operasional yang diakibatkan bervariasinya debit, dimana hal ini dapat meningkatkan kinerja dari proses pengolahan dari instalasi selanjutnya serta dapat menurunkan biaya perawatan dari instalasi lainnya. Tujuan utama dari bak ini adalah mengurangi variasi debit hingga mencapai keadaan konstan atau hampir mencapai konstan (Mara, 2003).



Gambar 5.4 Bak Ekualisasi di IPAL TPA Ngipik

Hasil pengamatan lapangan bak ekualisasi berfungsi sebagai bak pengumpul sementara dari cair limbah tiap proses produksi dan mengurangi adanya beban kejutan pada proses selanjutnya (Metcalf & Eddy, 1991). Dengan adanya tangki ekualisasi ini, maka operasional kolam limbah dapat lebih optimal dan dapat memperkecil ukuran/dimensi instalasi karena debit/kapasitas pengolahan ke unit

berikutnya dapat diatur menjadi konstan. Untuk menghindari bau, maka pada tangki ekualisasi ini memiliki waktu tinggal yang tidak terlalu lama selama 60 menit. Kondisi eksisting bak ekualisasi di TPA Ngipik memiliki volume lahan 6 m^2 dengan panjang 3 m, lebar 2 m dan kedalaman 1 m (DLH Kabupaten Gresik, 2022)

Pada perencanaan didapatkan hasil perhitungan debit air lindi sebesar $237,75 \text{ m}^3/\text{hari}$ bahwa air yang dihasilkan dari air hujan meresap pada permukaan TPA dan mengalami proses perlokasi dan mengalir ke dasar area yang diberi lapisan kedap air. Menghitung bak ekualisasi dengan debit yang sudah didapatkan dengan kriteria desain yang digunakan pada bak ekualisasi dapat dilihat pada **Tabel 2.7**.

Kriteria desain yang digunakan (Dirjen Cipta Karya, 2017)

Waktu Tinggal (HRT)	: 1 jam
Freeboard (Fb)	: 0,3 meter
Rasio P : L	: 1 : 1
Kedalaman air (h)	= 1 m

Data yang digunakan

Debit air lindi (Q_m) harian	: $237,75 \text{ m}^3/\text{hari}$
----------------------------------	------------------------------------

Perhitungan Bak ekualisasi

➤ Volume (V)	$= Q_m \times \text{HRT} \times \frac{1 \text{ jam}}{24 \text{ hari}}$ $= 237,75 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 1 \text{ jam} \times \frac{1 \text{ jam}}{24 \text{ hari}}$ $= 9,9 \text{ m}^3$
➤ Kedalaman air (h)	= 1 m
➤ Luas (A)	$= \frac{\text{Volume}}{\text{Kedalaman}} = \frac{9,9 \text{ m}^3}{1 \text{ m}} = 9,9 \text{ m}^3$
➤ Luas (A)	= P x L
2L	= Luas
Lebar	= $\sqrt{\text{Luas m}^2}$

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar (L)} &= \sqrt{9,9} \text{ m}^2 \\
 &= 3,15 \text{ m} \approx 3 \text{ (dibulatkan)} \\
 \text{➤ Panjang (P)} &= \text{Lebar} = 3 \text{ m} \\
 \text{➤ Total Kedalaman (H)} &= 1,0 + \text{Freeboard} \\
 &= 1 + 0,3 \text{ m} \\
 &= 1,3 \text{ m} \\
 \text{➤ Volume efektif (V')} &= 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} \\
 &= 9 \text{ m}^3 \\
 \text{➤ Check HRT} &= \frac{9 \text{ m}^3}{237,75 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \\
 &= 0,90 \text{ jam} \approx 1 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Hasil perbandingan bak ekualisasi dari perhitungan dengan kondisi lapangan dapat dilihat pada **Tabel 5.5** sebagai berikut:

Tabel 5.5 Perbandingan pada Unit Bak Ekualisasi dari Hasil Perhitungan Dengan Hasil Lapangan

No	Kriteria	Satuan	Nilai perhitungan	Nilai lapangan
1	Panjang	m	3	3
2	Lebar	m	3	2
3	Kedalaman	m	1	1
4	Volume Lahan	m ²	9	6
5	Debit	m ³ /hari	237,75	-

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan pada bak ekualisasi didapatkan hasil panjang sebesar 3 m, lebar sebesar 3 m, dan luas lahan sebesar 9 m². Hasil perhitungan tersebut dibandingkan dengan kondisi lapangan bak ekualisasi. Berdasarkan Tabel 5.5 dimensi bak ekualisasi pada lapangan lebih kecil dari hasil perhitungan, dimana kapasitas pengolahan bak ekualisasi kondisi lapangan kurang dari kebutuhan untuk mengolah air lindi dengan debit yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan redesain agar pengolahan air lindi tidak *overload* (Dirjen Cipta Karya, 2017).

5.3.2 ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*)

Anaerobic Baffle Reactor (ABR) merupakan unit pengolahan biologis dengan metode pengolahan *suspended growth* yang memodifikasi tangki septik dengan menambahkan sekat-sekat (baffle). Sekat pada ABR berfungsi sebagai pengaduk (melalui aliran *upflow* dan *downflow*) untuk meningkatkan kontak antara air limbah domestik dan mikroorganisme (Dirjen Cipta Karya, 2017).



Gambar 5.5 Unit *Anaerobic Baffled Reactor*

Proses awal pengolahan air lindi dimulai saat influent air lindi yang berasal dari sumber air lindi (tumpukan sampah) yang berada di atas yang bermuara ke drainase kemudian dialirkan masuk ke dalam bak ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*). Unit ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*) merupakan bagian unit pengolah paling awal dalam proses pengolahan air lindi. Dimana unit ini efektif dalam menurunkan kadar pencemar air lindi, karena pada unit ini air lindi bercampur dengan sisa lumpur yang mengandung mikroorganisme yang dapat menguraikan zat organik yang ada pada air lindi pada kondisi anaerobik. Pada unit ini terdapat dua proses, yaitu proses secara fisika dan secara biokimia. Proses secara fisika yaitu berasal dari endapan padatan di dalam air lindi yang berubah menjadi sludge, sedangkan proses secara biokimia yaitu proses mendegradasi suatu senyawa organik di dalam lumpur dengan menggunakan bantuan bakteri dan mikroorganisme (Dirjen Cipta Karya, 2017).

Kondisi eksisting unit ABR di TPA Ngipik memiliki volume lahan 376,6125 m³ dengan panjang 20,75 m, lebar 5,5 m dan kedalaman 3,3 m. Menghitung unit pengolahan ABR dengan kriteria desain yang digunakan pada unit ABR dapat dilihat pada **Tabel 2.13**.

Karakteristik Influen

- Debit Influen rerata, Q_{avg} : 237,75 m³/hari
- BOD : 2.600 mg/l
- COD : 3.102 mg/l
- TSS : 380 mg/l
- Suhu, T : 27°C (rerata suhu dalam bulan terdingin)

Kriteria desain yang digunakan (Dirjen Cipta Karya, 2017)

- Kecepatan *upflow* : 0,3 m/jam
- Jumlah kompartemen : 5 buah
- Rasio area *upflow* : *downflow* : 3 : 1
- Rasio lebar : panjang : 4 : 1
- Kedalaman aktif : 3 m
- *freeboard* : 0,5 m

Perhitungan desain

1. Dimensi area sekat (*Baffled area*)

- Luas permukaan satu kompartemen *upflow*

$$= \frac{\text{Debit influen}}{\text{kecepatan } upflow}$$

$$= \frac{\left(\frac{237,75 \text{ m}^3}{\text{hari}} \right)}{\left(\frac{24 \text{ jam}}{\text{hari}} \right)} = 33,02 \text{ m}^2$$

$$(P)(4P) = 33,02 \text{ m}^2$$

$$4P^2 = 33,02 \text{ m}^2$$

$$P = 2,9 \text{ m}$$

$$L = 11,6 \text{ m}$$

$$A_u = 33,64 \text{ m}^2$$

- Rasio luas area *upflow* terhadap *downflow* = 3:1, maka

$$A_u = 33,64 \text{ m}^2 / 3 = 11,21 \text{ m}^2$$

Lebar tangki = 11,6 m, maka panjang area *downflow*

$$= \frac{\text{luas area downflow}}{\text{lebar tangki}}$$

$$= \frac{11,21 \text{ m}^2}{11,6 \text{ m}} = 0,97 \text{ m}$$
- Total volume aktif *baffled area*

$$= (\text{panjang kompartemen} + \text{panjang shaft}) \times \text{lebar kompartemen} \times \text{kedalaman aktif kompartemen} \times \text{jumlah kompartemen}$$

$$= (2,9 \text{ m} + 0,97 \text{ m}) \times 11,6 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 4 = 538,704 \text{ m}^3$$
- HRT dalam *baffled area*

$$= \frac{\text{total volume aktif baffled area}}{\text{debit influen}}$$

$$= \frac{538,704 \text{ m}^3}{237,75 \text{ m}^3/\text{hari}} = 2,26 \text{ hari} = 54,24 \text{ jam}$$
- Periksa kesesuaian kecepatan *upflow* hasil perhitungan dengan kriteria desain

$$= \frac{\text{debit influen}}{\text{luas tiap kompartemen}}$$

$$= \frac{237,75 \text{ m}^3/\text{hari}}{33,64 \text{ m}^3} = 7,06 \text{ m/hari} = 0,29 \text{ m/jam (OK, } < 0,6 \text{ m/jam)}$$

2. Dimensi tangki pengendapan (*setting tank*)

- HRT pada area pengendapan dirancang selama 10 jam = 0,42
- Lebar dan kedalaman aktif tangka mengikuti dimensi *baffled area*, yaitu:

$$\text{Lebar} = 11,6 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman aktif} = 3 \text{ m}$$

- Panjang *settling tank*

$$= \frac{\text{HRT} \times \text{debit influen}}{\text{lebar tangki} \times \text{kedalaman tangki}}$$

$$= \frac{0,42 \text{ hari} \times 237,75 \text{ m}^3/\text{hari}}{11,6 \text{ m} \times 3 \text{ m}} = 2,9 \text{ m}$$

- Volume *settling tank*
 $= 2,9 \text{ m} \times 11,6 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 100,92 \text{ m}^3$
- HRT dalam *settling tank* (actual)

$$= \frac{\text{total volume aktif } settling \text{ tank}}{\text{debit influen}}$$

$$= \frac{100,92 \text{ m}^3}{237,75 \text{ m}^3/\text{hari}} = 0,42 \text{ hari} = 10 \text{ jam}$$

3. Dimensi ABR

- Volume aktif ABR
 $= \text{volume tangka pengendapan} + \text{volume area sekat}$
 $= 100,92 \text{ m}^3 + 538,704 \text{ m}^3 = 639,624 \text{ m}^3$
- Periksa kesesuaian HRT hasil perhitungan dengan kriteria desain

$$= \frac{\text{volume ABR}}{\text{debit influen}}$$

$$= \frac{639,624 \text{ m}^3}{237,75 \text{ m}^3/\text{hari}} = 2,69 \text{ hari} = 64,56 \text{ jam (OK, rentang, 12-96 jam)}$$
- Total luas lahan dibutuhkan
 $= \text{luas baffled area} + settling \text{ tank}$
 $= (11,6 \text{ m} \times 2,9 \text{ m} \times 4) + (2,9 \text{ m} \times 11,6 \text{ m}) = 168,2$

Hasil perbandingan *Anaerobic Baffled Reactor* dari perhitungan dengan kondisi lapangan dapat dilihat pada **Tabel 5.6** sebagai berikut:

Tabel 5.6 Evaluasi Unit *Anaerobic Baffled Reactor* dari Hasil Perhitungan dengan Hasil Lapangan

No	Faktor Perencanaan	Satuan	Kriteria desain	Kondisi lapangan	Hasil perhitungan
1.	Up flow	m/jam	< 2,0	-	0,3
2.	Organic Loading Rate (OLR)	Kg.COD/ m ³ .hari	< 3,0	-	15
3.	Hydraulic Retention Time	Jam	6 – 20	-	10
4.	Panjang Keseluruhan	m	-	20,75	14,5

No	Faktor Perencanaan	Satuan	Kriteria desain	Kondisi lapangan	Hasil perhitungan
5.	Lebar Keseluruhan	m	-	5,5	11,6
6.	Kedalaman	m	-	3,3	3,3
7.	Volume Lahan	m ³	-	376,6125	555,06

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Tabel 5.6** hasil dari perhitungan pada bak ABR didapatkan panjang keseluruhan sebesar 14,5 m, lebar keseluruhan sebesar 11,6 m, kedalaman sebesar 3,3 m dan volume lahan sebesar 555,06 m³. Hasil perhitungan tersebut di bandingkan dengan kondisi lapangan bak ABR. Berdasarkan Tabel 5.6 dimensi bak ABR pada lapangan lebih kecil dari hasil perhitungan, dimana kapasitas pengolahan bak ABR pada kondisi lapangan kurang dari kebutuhan untuk mengolah air lindi dengan debit yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan redesain agar pengolahan air lindi tidak *overload* (Dirjen Cipta Karya, 2017).

Efisiensi unit pengolahan

1. COD

- Penyisihan di zona pengendapan

Berdasarkan Gambar 24, dengan HRT = 10 jam, persentase penyisihan COD sebesar 55%, maka Konsentrasi COD ke kompartemen selanjutnya

$$= (1-0,55) \times 3.102 \text{ mg/l} = 1.396 \text{ mg/l}$$

- Penyisihan di zona sekat

- a) Factor penyisihan berdasarkan BOD influen (Gambar 25)

$f\text{-strength} = 1,1$ (untuk BOD influen = 2600 mg/l)

- b) Factor penyisihan bersarkan beban organik (Gambar 36)

$f\text{-overload} = 0,82$ (untuk OLR = 15 kgBOD/m³)

c) Faktor penyisihan berdasarkan suhu lingkungan (Gambar 27)

$$f\text{-temperature} = 1 \text{ (untuk } T = 27^{\circ}\text{C)}$$

d) Faktor penyisihan berdasarkan HRT (Gambar 28)

$$f\text{-HRT} = 0,95 \text{ (untuk HRT = 36,9 jam)}$$

e) Laju penyisihan teoritis

$$= f\text{-overload} \times f\text{-strength} \times f\text{-temperature} \times f\text{-HRT}$$

$$= 1,1 \times 0,82 \times 1 \times 0,95 = 0,85$$

- COD

$$= (1 - 0,85) \times 1.396 \text{ mg/l} = 209 \text{ mg/l}$$

- Total efisiensi penyisihan

$$= \frac{\text{konsentrasi COD influen} - \text{konsentrasi COD effluen}}{\text{konsentrasi COD influen}}$$

$$= \frac{3.102 \text{ mg/l} - 209 \text{ mg/l}}{3.102 \text{ mg/l}} \times 100\% = 93\%$$

- COD effluent

$$= (1 - 0,93) \times 3.102 \text{ mg/l} = 217,14 \text{ mg/l}$$

2. BOD

- Estimasi efisiensi penyisihan BOD = 80%

$$\text{BOD efluen} = (1 - 0,8) \times 2600 \text{ mg/l} = 520 \text{ mg/l}$$

3. TSS

- Estimasi efisiensi penyisihan TSS = 78%

$$\text{TSS efluen} = (1 - 0,78) \times 380 \text{ mg/l} = 84 \text{ mg/l}$$

Hasil perbandingan karakteristik air lindi pada unit *Anaerobic Baffled Reactor* dari hasil perhitungan dengan hasil laboratorium dapat dilihat pada **Tabel 5.7** sebagai berikut:

Tabel 5.7 Perbandingan Effluen pada Unit *Anaerobic Baffled Reactor* dari Hasil Perhitungan Dengan Hasil Labulatorium

No	Parameter	Satuan	Hasil Inlet	Hasil Perhitungan	Hasil Outlet	Baku Mutu
1.	Suhu	C°	31,4	-	33,1	-
2.	pH	-	9,1	-	8,9	6 - 9
3	BOD	mg/l	2600	520	1218	150
4	COD	mg/l	3102	217,14	2634	300
5	TSS	mg/l	380	84	170	100

No	Parameter	Satuan	Hasil Inlet	Hasil Perhitungan	Hasil Outlet	Baku Mutu
6.	Merkuri	mg/l	0,0059	-	0,0042	0,1
7.	Kadmium	mg/l	<MDL*	-	<MDL*	0,005
8.	Total Nitrogen	mg/l	23,1	-	0,73	60

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Tabel 5.7** hasil perhitungan effluent didapatkan dengan hasil effluent BOD sebesar 520 mg/l, effluent COD sebesar 217,14 mg/l, dan effluent TSS sebesar 84 mg/l. Dari hasil perhitungan tersebut di bandingkan dengan outlet dapat dilihat pada Tabel 5.7 didapatkan hasil effluent BOD sebesar 1218 mg/l, effluent COD sebesar 3102 mg/l, effluent TSS sebesar 170 mg/l. Dari hasil perbandingan tersebut dapat disimpulkan hasil perhitungan effluent BOD, COD dan TSS lebih kecil akan tetapi hasil perhitungan effluent tersebut dipengaruhi dari hasil debit air lindi. Namun hasil perhitungan tersebut telah melebihi baku mutu (Dirjen Cipta Karya, 2017).

5.3.3 Mass Balance Hasil Evaluasi IPAL TPA

Mass Balance pengolahan air lindi digunakan untuk mengetahui data effluent dari setiap uni pengolahan. Mass balance dibuat berdasarkan perhitungan *efisiensi removal* pada setiap unit pengolahan yang ditampilkan pada **Gambar 5.8**.

Hasil effluent karakteristik air lindi pada unit pengolahan air lindi di TPA Ngipik dapat dilihat pada **Tabel 5.8** sebagai berikut:

Tabel 5.8 Hasil Effluen Karakteristik Air Lindi pada IPAL di TPA Ngipik

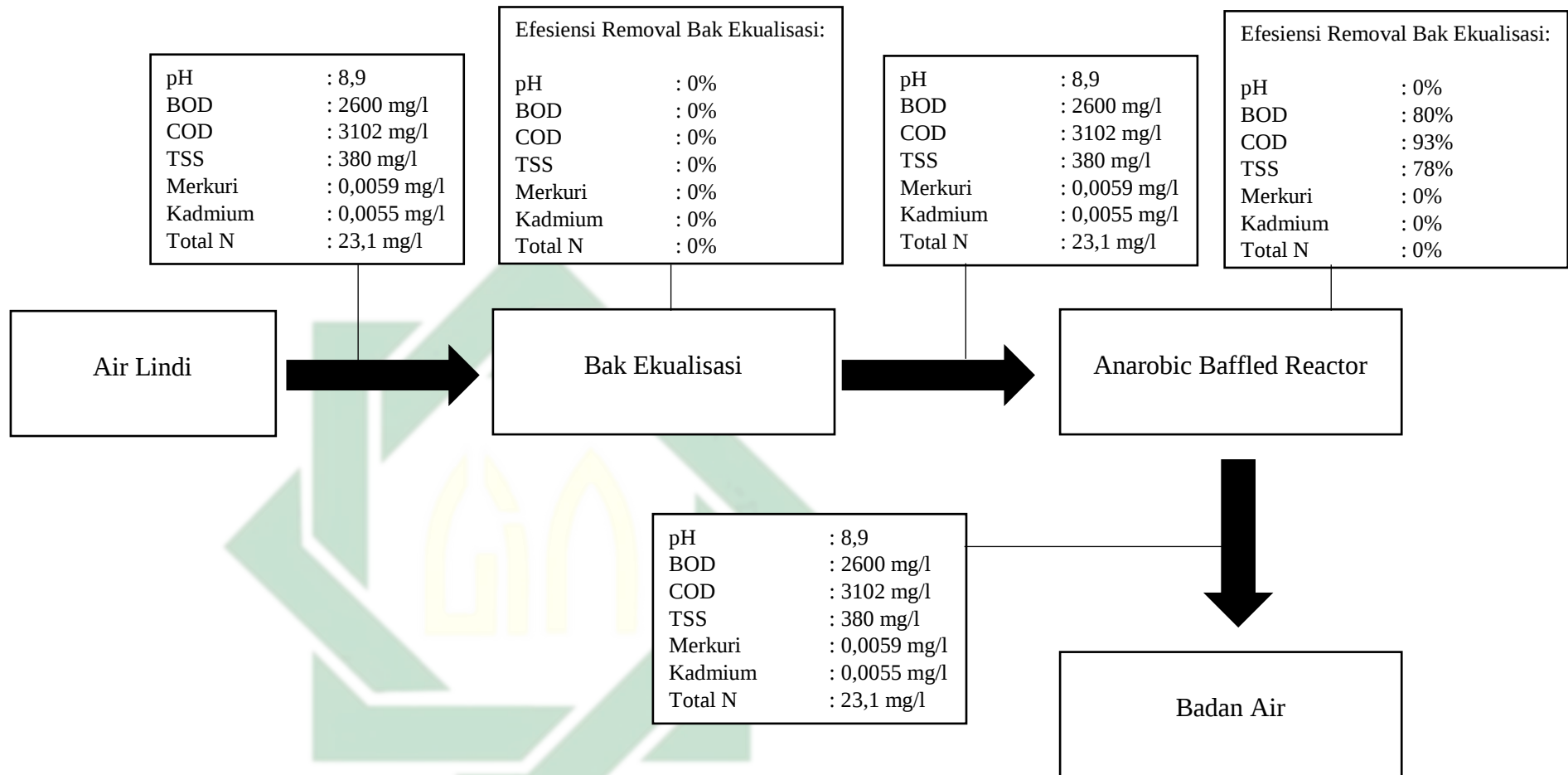
Parameter	Inlet (mg/l)	Bak Ekualisasi		Kolam Anaerobik Baffled Reactor		Baku Mutu	Keterangan
		Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil		
Suhu	31,4	0%	31,4	0%	31,4	-	sesuai
pH	8,9	0%	8,9	0%	8,9	-	sesuai
BOD	2600	0%	2600	80%	520	150	Melebihi Baku Mutu
COD	3102	0%	3102	93%	217,14	300	Sesuai
TSS	380	0%	380	78%	84	100	Sesuai
Merkuri	0,0059	0%	0,0059	0%	0,0059	0,1	Sesuai

Parameter	Inlet (mg/l)	Bak Ekualisasi		Kolam Anaerobik Baffled Reactor		Baku Mutu	Keterangan
		Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil		
Kadmium	<MDL*	0%	<MDL*	0%	<MDL*	0,005	Sesuai
Total Nitrogen	23,1	0%	23,1	0%	23,1	60	Sesuai

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Tabel 5.8** hasil perhitungan effluent didapatkan dengan hasil effluent BOD sebesar 520 mg/l, effluent COD sebesar 217,14 mg/l, dan effluent TSS sebesar 84 mg/l. Dari hasil perhitungan tersebut di bandingkan dengan outlet dapat dilihat pada Tabel 5.7 didapatkan hasil effluent BOD sebesar 1218 mg/l, effluent COD sebesar 3102 mg/l, effluent TSS sebesar 170 mg/l. Dari hasil perbandingan tersebut dapat disimpulkan hasil perhitungan effluent BOD, COD dan TSS lebih kecil akan tetapi hasil perhitungan effluent tersebut dipengaruhi dari hasil debit air lindi. Namun hasil perhitungan tersebut telah melebihi baku mutu (Dirjen Cipta Karya, 2017).

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA



Gambar 5.6 Mass Balance Proses IPAL TPA Ngipik

Redesain pengolahan lindi dikarenakan oleh kapasitas kolam air lindi yang sudah melebihi kapasitas kolam pengumpul. Oleh sebab itu dilakukan penambahan pembangunan kolam pengumpul 1 unit lagi serta meredesain pengolahan air lindi kembali untuk menguji karakteristik air lindi sudah memenuhi baku mutu atau tidak (Diniyanti, 2018). Oleh karena itu diperlukan redesign agar kriteria desain sesuai dengan Dirjen Cipta Karya tahun 2017 dan kualitas air lindi sesuai dengan baku mutu Permen LHK Republik Indonesia Nomor P.59 Tahun 2016 tentang Baku mutu lindi bagi usaha dan/atau kegiatan tempat pemrosesan akhir sampah.

5.4 Redesain Instalansi Pengolahan Air Lindi pada TPA Ngipik

Unit-unit kolam pengolahan air lindi yang akan di redesign berdasarkan perencanaan pengembangan teknis TPA. Tahapan perencanaan ini adalah dengan menentukan alternatif-alternatif pengolahan air lindi pada TPA Ngipik.

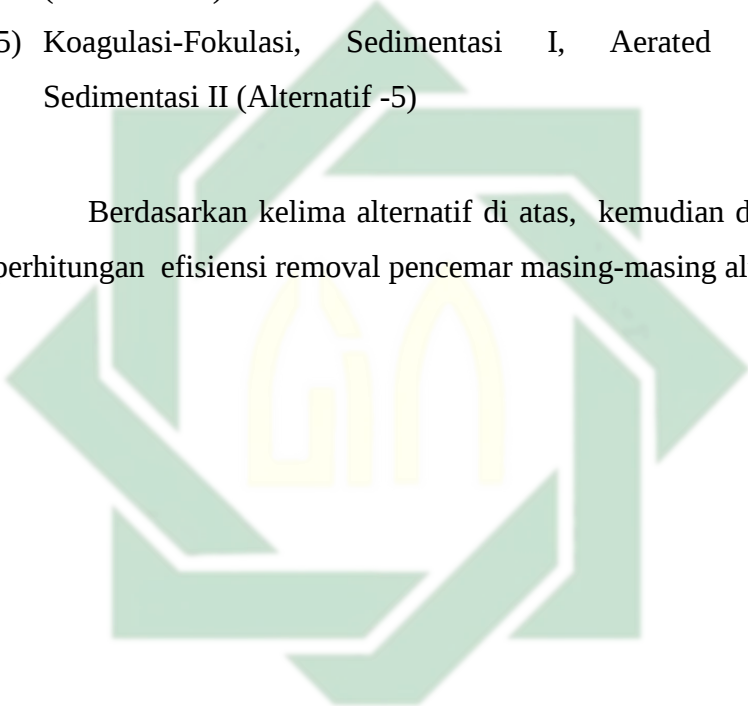
5.4.1 Pemilihan Alternatif Proses IPAL Menggunakan Efisiensi Removal

Pada umumnya unit pengolahan air lindi yang digunakan di teknik lingkungan dapat dibagi dalam fisika, kimia, dan biologi. Unit operasi yang digunakan tergantung kepada karakteristik air lindi yang akan diolah. Jenis jenis pengolahan yang digunakan beserta tingkat efesiensi dalam mengolah air lindi dapat dilihat pada **Tabel 2.7.**

Adapun alternatif-alternatif proses pengolahan lindi yang direncanakan berdasarkan peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 03/PRT/M/2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Rumah Tangga yang terdapat pada Lampiran III sebagai berikut:

- 1) Kolam Anaerobik, Fakultatif, Maturasi dan Biofilter (Alternatif -1)
- 2) Kolam Anaerobik, Fakultatif, Maturasi dan Land Treatment/Wetland (Alternatif -2)
- 3) Anaerobic Baffled Reactor (ABR) dengan Aerated Lagoon (Alternatif -3)
- 4) Koagulasi-Flokulasi, Sedimentasi, Kolam Anaerobik atau ABR (Alternatif -4)
- 5) Koagulasi-Flokulasi, Sedimentasi I, Aerated Lagoon, Sedimentasi II (Alternatif -5)

Berdasarkan kelima alternatif di atas, kemudian dilakukan perhitungan efisiensi removal pencemar masing-masing alternatif.



UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

Tabel 5.9 Perhitungan alternatif pemilihan Pengolahan IPAL TPA Ngipik

Alternatif 1											
Parameter	Inffluent (mg/l)		Bak Ekualisasi *		Kolam Anaerobik*		Kolam Fakultatif *		Biofilter *		
			Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	
BOD	2600		0%	2600 mg/l	70%	780 mg/l	70%	234 mg/l	95%	11,7 mg/l	
COD	3102		0%	3102 mg/l	65%	1085,7 mg/l	80%	217,14 mg/l	85%	32,571 mg/l	
TSS	380		0%	380 mg/l	80%	76 mg/l	85%	11,4 mg/l	65%	3,99 mg/l	
Alternatif 2											
Parameter	Inffluent (mg/l)		Bak Ekualisasi *		Kolam Anaerobik *		Kolam Fakultatif *		Wetland *		
			Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	
TSS	2600		0%	2600 mg/l	70%	780 mg/l	70%	234 mg/l	60%	93,6 mg/l	
BOD	3102		0%	3102 mg/l	65%	1085,7 mg/l	80%	217,14 mg/l	80%	43,428 mg/l	
COD	380		0%	380 mg/l	80%	76 mg/l	85%	11,4 mg/l	60%	4,56 mg/l	
Alternatif 3											
Parameter	Inffluent (mg/l)		Bak Ekualisasi *		Kolam ABR *		Aerator Lagoon **		Pemisah Padatan **		
			Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	
TSS	2600		0%	2600 mg/l	90%	260 mg/l	85%	39 mg/l	0%	39 mg/l	
BOD	3102		0%	3102 mg/l	85%	465,3 mg/l	85%	69,795 mg/l	0%	69,795 mg/l	
COD	380		0%	380 mg/l	80%	76 mg/l	85%	11,4 mg/l	0%	11,4 mg/l	
Alternatif 4											
Parameter	Inffluent (mg/l)	Bak Ekualisasi *		Koagulasi-Flokulasi **		Sedimentasi **		Anaerobik Pond **		Kolam ABR *	
		Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil
TSS	2600	0%	2600 mg/l	0%	2600 mg/l	50%	1300 mg/l	70%	390 mg/l	90%	39 mg/l

Parameter	Influent (mg/l)	Bak Ekualisasi *		Koagulasi-Flokulasi **		Sedimentasi **		Anaerobik Pond **		Kolam ABR *	
		Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil
BOD	3102	0%	3102 mg/l	0%	3102 mg/l	50%	1551 mg/l	65%	542,85 mg/l	85%	81,4275 mg/l
COD	380	0%	380 mg/l	0%	380 mg/l	50%	190 mg/l	80%	38 mg/l	80%	7,6 mg/l
Alternatif 5											
Parameter	Influent (mg/l)	Bak Ekualisasi *		Koagulasi-Flokulasi **		Aerator Lagoon **		Sedimentasi I **		Sedimentasi II **	
		Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil	Efisiensi	Hasil
TSS	2600	0%	2600 mg/l	0%	2600 mg/l	85%	390 mg/l	50%	195 mg/l	50%	97,5 mg/l
BOD	3102	0%	3102 mg/l	0%	3102 mg/l	85%	465,3 mg/l	50%	232,65 mg/l	50%	116,325 mg/l
COD	380	0%	380 mg/l	0%	380 mg/l	85%	57 mg/l	50%	28,5 mg/l	50%	14,25 mg/l

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

Keterangan:

* : sumber dari (Dirjen Cipta Karya, 2017).

** : sumber dari (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 03/PRT/M/2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Rumah Tangga yang terdapat pada Lampiran III)

Setelah menghitung effluent pada outlet dari tiap alternatif, kemudian merekap hasil dari tiap alternatif yang disajikan dalam **Tabel 5.10** sebagai berikut:

Tabel 5.10 Rekap Effluent Outlet Alternatif
Rekap Perbandingan Alternatif

Parameter	Satuan (mg/l)	Baku Mutu	Outlet				
			alternatif 1	alternatif 2	alternatif 3	alternatif 4	alternatif 5
BOD	2600	150	11,7	93,6	39	39	97,5
COD	3102	300	32,571	43,428	69,795	81,4275	116,325
TSS	380	100	3,99	4,56	11,4	7,6	14,25

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

Berdasarkan **Tabel 5.10** diatas, seluruh alternatif telah memenuhi baku mutu, akan tetapi dipilih alternatif kesatu karena menghasilkan kualitas pencemaran pada effluent yang paling kecil. Selain itu, alternatif pertama memiliki kelebihan yaitu:

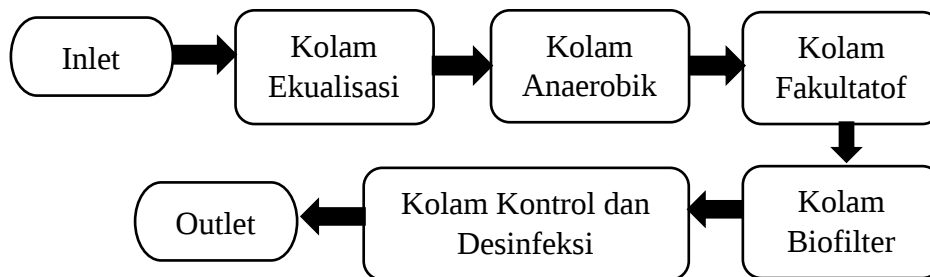
- a Unit anaerobic: konstruksi sederhana, biaya operasional mudah, dan efisiensi penyisihan BOD hingga 70%.
- b Unit fakultatif: mengurangi konsentrasi mikroorganisme pathogen hingga 60 sampai 99%, mampu mengelola beban yang berfluktasi, serta operasi dan perawatan yang sederhana.
- c Unit biofilter menggunakan media sarang tawon untuk efisiensi penyisihan BOD hingga 70 sampai 90%.

5.4.2 Perhitungan Detail Dimensi Redesain Instalasi Pengolahan Air Lindi

Berdasarkan hasil pemilihan alternatif efisiensi pengolahan air lindi, maka ditetapkan unit redesain yang akan direncanakan adalah sebagai berikut:

- 1) Kolam Ekualisasi
- 2) Kolam Anaerobik
- 3) Kolam Fakultatif
- 4) Kolam Biofilter
- 5) Kolam Outlet dan Desinfeksi

Adapun diagram bagan redesain proses pengolahan air lindi yang direncanakan dapat dilihat pada **Gambar 5.7:**



Gambar 5.7 Diagram Bagan Redesain Proses Pengolahan Air Lindi

Pada perancangan ini digunakan debit air lindi yang didapatkan pada perhitungan sebelumnya yaitu m^3/hari , dengan anggapan bahwa air yang lindi hanya dihasilkan dari air hujan yang meresap pada permukaan TPA dan mengalami proses perkolasi dan mengalir ke dasar area yang diberikan lapisan kedap air. Selain itu perancangan ini didasarkan dengan nilai BOD, COD dan TSS yang melebihi baku mutu dari hasil analisa dari laboratorium.

a. Kolam Ekualisasi

Ekualisasi adalah instalasi yang digunakan untuk mengatasi permasalahan operasional yang diakibatkan bervariasinya debit, dimana hal ini dapat meningkatkan kinerja dari proses pengolahan dari instalasi selanjutnya serta dapat menurunkan biaya perawatan dari instalasi lainnya. Tujuan utama dari bak ini adalah mengurangi variasi debit hingga mencapai keadaan konstan atau hampir mencapai konstan.

Pada perancangan ini waktu tinggal yang ditetapkan adalah 60 menit, dimana hal ini bertujuan agar tidak terjadi proses biologis pada unit ini dan tidak menghasilkan bau. Dengan adanya unit ini maka perancangan dimensi dari instalasi dapat diperkecil. Kriteria yang digunakan di dalam perancangan ini dapat dilihat pada **Tabel 2.7**.

Dalam perancangan desain bak ekualisasi direncanakan dapat menampung air lindi untuk sementara waktu sebelum dialirkan menuju kolam IPAL.

Kriteria desain yang digunakan (Dirjen Cipta Karya, 2017)

Waktu Tinggal (HRT)	: 1 jam
Freeboard (Fb)	: 0,3 meter
Rasio P : L	: 1 : 1
Kedalaman air (h)	: 1 meter

Data yang digunakan

Debit air lindi (Qm) harian : 237,75 m³/hari

Perhitungan Bak ekualisasi

- Volume (V) $= Q_m \times HRT \times \frac{1 \text{ jam}}{24 \text{ hari}}$
 $= 237,75 \frac{m^3}{\text{hari}} \times 1 \text{ jam} \times \frac{1 \text{ jam}}{24 \text{ hari}}$
 $= 9,9 \text{ m}^3$
- Kedalaman air (h) = 1 m
- Luas (A) $= \frac{\text{Volume}}{\text{Kedalaman}} = \frac{9,9 \text{ m}^3}{1 \text{ m}} = 9,9 \text{ m}^2$
- Luas (A) = P x L
- 2L = Luas
- Lebar $= \sqrt{\text{Luas}} \text{ m}^2$
- Lebar (L) $= \sqrt{9,9} \text{ m}^2$
 $= 3,15 \text{ m} \approx 3 \text{ (dibulatkan)}$
- Panjang (P) = Lebar = 3 m
- Total Kedalaman (H) = 1,0 + Freeboard
 $= 1 + 0,3 \text{ m}$
 $= 1,3 \text{ m}$
- Volume efektif (V') $= 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$
 $= 9 \text{ m}^3$

➤ Check HRT
$$= \frac{9 \text{ m}^3}{237,75 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}$$

$$= 0,90 \text{ jam} \approx 1 \text{ jam}$$

➤ Rekap Hasil Dimensi Bak Ekualisasi

Hasil perhitungan berdasarkan data perencanaan dan kriteria desain, berikut hasil rekap dari bak ekualisasi dapat dilihat pada **Tabel 5.11**:

Tabel 5.11 Rekap Hasil Dimensi Bak Ekualisasi

No	Kriteria	Satuan	Nilai perhitungan
1	Panjang	m	3
2	Lebar	m	3
3	Kedalaman Aktif	m	1
4	<i>Free Board</i>	m	0,3
5	Kedalaman Total	m	1,3
6	Volume	m ³	9
4	Debit	m ³ /hari	237,75

Sumber: Hasil Perhitungan

b. Kolam Anaerobik

Unit pengolahan kolam anaerobik berperan sebagai penguraian kadungan organik Biochemical Oxygen Demand serta padatan tersuspensi dengan cara tanpa oksigen atau anaerob. Kolam anaerob dapat dikondisikan dengan mengurangi konsentrasi BOD yang melebihi kemampuan produksi oksigen dari hasil fotosintesis. Peningkatan proses fotosintesis dapat dilakukan dengan cara menambah kedalaman kolam anaerobik dan mengurangi luas permukaan kolam untuk mempertahankan keadaan minim oksigen atau anaerob (Mara, 2003).

Setelah air lindi dikumpul dan dihomogenkan pada unit ekualisasi, air lindi akan diproses pada unit kolam anaerobik untuk mengolah kandungan organik nya.

Kriteria desain yang digunakan (Dirjen Cipta Karya, 2017)

- Freeboard : 0,3 meter
- Rasio P : L : 2 : 1
- Laju Evaporasi (e) : 0,44 mm/hari

- Kedalaman bak anaerobic : 5 meter
- Waktu Retensi Hidroulik : ≥ 1 hari
- Laju beban BOD volumetric : 350 g/m^3

Data yang digunakan

- Debit desain (Q_{in}) harian = $237,75 \text{ m}^3/\text{hari}$
- BOD masuk = 2.600 mg/l (Tabel 5.3)
- COD masuk = 3.102 mg/l (Tabel 5.3)
- TSS masuk = 380 mg/l (Tabel 5.3)

Perancangan kolam anaerobik ditentukan berdasarkan laju beban BOD volumetrik (volumetric BOD loading rate) (λ_v $\text{g m}^3.\text{hari}$) dan disesuaikan dengan temperatur lokasi, dimana dalam hal ini, temperatur yang digunakan adalah temperatur rata-rata pada bulan Desember (bulan dengan debit lindi terbesar) yaitu $28,06^\circ\text{C}$.

- Temperatur rata rata (T) = $28,06^\circ\text{C}$
- Persentase penyisihan BOD = 70%
- Persentase penyisihan COD = 65%
- Persentase penyisihan TSS = 80%

Perhitungan desain

➤ Perhitungan Beban BOD dalam Air Lindi

Direncanakan:

$$\text{BOD masuk} = 2.600 \text{ mg/l} = 2,6 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabel 5.3)}$$

$$\text{Beban BOD } (\lambda_{v_{in}}) = \text{Debit Lindi} \times \text{BOD masuk}$$

$$= 237,75 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 2,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$= 618,2 \text{ kg/hari}$$

$$\text{➤ Volume Bak (V)} = \frac{\text{Beban BOD } \left(\frac{\text{kg}}{\text{hari}}\right)}{\text{Laju Beban BOD Volumetrik } \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^3.\text{hari}}\right)} \times 1000$$

$$= \frac{618,2 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}}{350 \frac{\text{g}}{\text{m}^3.\text{hari}}} \times 1000$$

$$= 1766 \text{ m}^3$$

- Luas bak (A) $= \frac{\text{Volume bak (m}^3\text{)}}{\text{kedalaman bak (m)}}$
 $= \frac{1766 \text{ m}^3}{5 \text{ m}}$
 $= 353,2 \text{ m}^2$
- Luas bak (A) $= 2L \times L$
 $353,2 = 2L^2$
- Lebar Bak Anaerobik (L) $= \sqrt{\frac{\text{Luas Bak m}^2}{2}}$
 $= \sqrt{\frac{353,2 \text{ m}^2}{2}}$
 $= 13,28 = 13 \text{ m}$
- Panjang Bak Anaerobik $= 2 \times \text{Lebar Bak Anaerobik}$
 $= 2 \times 13 \text{ m}$
 $= 26 \text{ m}$
- Kedalaman Total Bak $= \text{kedalaman air} + \text{Freeboard}$
 $= 5 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}$
 $= 5,3 \text{ m}$
- Check Luas Bak (V') $= P \times L$
 $= 26 \text{ m} \times 13 \text{ m}$
 $= 338 \text{ m}^2$
- Check Volume Bak (V') $= P \times L \times h$
 $= 26 \text{ m} \times 13 \text{ m} \times 5 \text{ m}$
 $= 1.690 \text{ m}^3$
- Waktu Tinggal Hidrolis (HRT) $= \frac{\text{volume (m}^3\text{)}}{Q_{in} (\frac{\text{m}^3}{\text{hari}})}$
 $= \frac{1690 (\text{m}^3)}{237,75 (\frac{\text{m}^3}{\text{hari}})}$
 $= 7,1 \text{ hari}$
- Debit Keluar (Q_{out}) $= Q_{in} (\frac{\text{m}^3}{\text{hari}}) - 0,001 \times e (\frac{\text{mm}}{\text{hari}}) \times \text{HRT}$
(hari)
 $= 237,75 (\frac{\text{m}^3}{\text{hari}}) - 0,001 \times 0,44 (\frac{\text{mm}}{\text{hari}}) \times 7,1 (\text{hari})$
 $= 237,74 (\frac{\text{m}^3}{\text{hari}})$

➤ Rekap Hasil Dimensi Bak Ekualisasi

Hasil perhitungan berdasarkan data perencanaan dan kriteria desain, berikut hasil rekap dari bak ekualisasi dapat dilihat pada

Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Rekap Hasil Dimensi Bak Anaerobik

No	Kriteria	Satuan	Nilai perhitungan
1	Panjang	m	26
2	Lebar	m	13
3	Kedalaman Aktif	m	5
4	<i>Free Board</i>	m	0,3
5	Kedalaman Total	m	5,3
6	Volume	m ³	1690
4	Debit	m ³ /hari	237,75

Sumber: Hasil Perhitungan

Efisiensi pengolahan

➤ BOD Tersisihkan = BOD *in* (mg/l) x Efisiensi Removal
 = 2600 mg/l x 70%
 = 780 mg/l
 = 0,78 kg/m³

Beban BOD Tersisihkan = Q. Lindi x BOD Tersisihkan
 = 237,75 $\frac{m^3}{hari}$ x 0,78 $\frac{kg}{m^3}$
 = 185,5 kg BOD/hari

➤ BOD Keluar = BOD *in* – BOD Tersisihkan
 = 2600 mg/l – 780 mg/l
 = 1820 mg/l
 = 1,82 kg/m³

Beban BOD Keluar = Q. Lindi x BOD Keluar
 = 237,75 $\frac{m^3}{hari}$ x 1,82 $\frac{kg}{m^3}$
 = 432,7 kg BOD/hari

➤ COD Tersisihkan = COD *in* (mg/l) x Efisiensi Removal
 = 3102 mg/l x 65%
 = 1085,7 mg/l
 = 1,0857 kg/m³

$$\begin{aligned}
 \text{Beban COD Tersisihkan} &= Q. \text{ Lindi} \times \text{BOD Tersisihkan} \\
 &= 237,75 \frac{m^3}{\text{hari}} \times 1,0857 \frac{kg}{m^3} \\
 &= 258,15 \text{ kg COD/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ COD Keluar} &= \text{COD in} - \text{COD Tersisihkan} \\
 &= 3102 \text{ mg/l} - 1085,7 \text{ mg/l} \\
 &= 2016,3 \text{ mg/l} \\
 &= 2,0163 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban BOD Keluar} &= Q. \text{ Lindi} \times \text{COD Keluar} \\
 &= 237,75 \frac{m^3}{\text{hari}} \times 2,0163 \frac{kg}{m^3} \\
 &= 479,4 \text{ kg COD/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ TSS Tersisihkan} &= \text{TSS in (mg/l)} \times \text{Efisiensi Removal} \\
 &= 380 \text{ mg/l} \times 80\% \\
 &= 76 \text{ mg/l}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban TSS Tersisihkan} &= Q. \text{ Lindi} \times \text{TSS Tersisihkan} \\
 &= 237,75 \frac{m^3}{\text{hari}} \times 0,076 \frac{kg}{m^3} \\
 &= 18 \text{ kg TSS/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ TSS Keluar} &= \text{TSS in} - \text{TSS Tersisihkan} \\
 &= 380 \text{ mg/l} - 76 \text{ mg/l} \\
 &= 304 \text{ mg/l}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban TSS Keluar} &= Q. \text{ Lindi} \times \text{TSS Keluar} \\
 &= 237,75 \frac{m^3}{\text{hari}} \times 0,0304 \frac{kg}{m^3} \\
 &= 72,3 \text{ kg TSS/hari}
 \end{aligned}$$

➤ Data Effluent Bak Anaerobik

Berdasarkan hasil perhitungan diatas ditetpkan data effluent air lindi pada bak anaerobic dapat dilihat pada **Tabel 5.13**.

Tabel 5.13 Data Effluent Bak Anaerobik

Parameter	Inffluent (mg/l)	Bak Anaerobik		Baku Mutu	Keterangan
		Efisie nsi	Hasil (mg/l)		
Suhu	31,4	0%	31,4	-	sesuai
pH	9,1	0%	9,1	-	Sesuai
BOD	2600	70%	780	150	Melebihi

Parameter	Inffluent (mg/l)	Bak Anaerobik		Baku Mutu	Keterangan
		Efisiensi	Hasil (mg/l)		
COD	3102	65%	1085,7	300	Melebihi
TSS	380	80%	76	100	Sesuai
Merkuri	0,0059	0%	0,0059	0,1	Sesuai
Kadmium	0,0055	0%	0,0055	0,005	Sesuai
Total Nitrogen	23,1	0%	23,1	60	Sesuai

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut diatas ditetapkan ukuran dari bak anaerobik adalah sebesar 26 x 13 x 5,3 meter dengan kedalaman air sebesar 5 meter dan waktu tinggal selama 7,1 hari. Adapun persentase penyisihan BOD sebesar 70% dengan nilai BOD keluar adalah sebesar 780 mg/L, persentase penyisihan COD sebesar 65% dengan nilai COD keluar adalah sebesar 1085,7 mg/L dan persentase penyisihan TSS sebesar 80% dengan nilai TSS keluar adalah sebesar 76 mg/L (Dirjen Cipta Karya, 2017).

c. Kolam Fakultatif

Unit pengolahan Kolam fakultatif Terdapat dua jenis kolam fakultatif, yaitu kolam fakultatif primer untuk mengolah air limbah belum diolah dan kolam fakultatif sekunder untuk mengolah air limbah yang telah melalui proses pengolahan sebelumnya (biasanya dari kolam anaerobik). Kolam fakultatif didesain untuk menyisihkan beban BOD permukaan rendah (100-400 kgBOD/ha.hari) dengan menggunakan alga yang tumbuh secara alami di permukaan kolam. Keberadaan alga pada kolam fakultatif membantu proses penyisihan BOD melalui oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis (Dirjen Cipta Karya, 2017).

Data dan Kriteria: (Dirjen Cipta Karya, 2017).

- Freeboard = 0,3 meter
- Rasio P : L = 2 : 1 Laju
- Evaporasi (e) = 0,44 mm/hari
- Temperatur (T) = 28,06 °C
- Waktu Retensi Hidroulik = ≥ 4 hari
- Kedalaman Kolam = 2,5 m

Data yang digunakan

- Debit desain (Qin) harian = 237,74 m³ /hari
- BOD masuk = 780 mg/l
- COD masuk = 1085,7 mg/l
- TSS masuk = 76 mg/l
- Temperatur rata rata (T) = 28,06 °C
- Persentase penyisihan BOD = 70%
- Persentase penyisihan COD = 65%
- Persentase penyisihan TSS = 80%

Desain Perhitungan:

- Beban BOD permukaan (λ_s) = $350 (1,07 - 0,002T)^{T-25}$
 $= 350 (1,07 - 0,002 \times 28,06)^{28,06-25}$
 $= 365,08 \text{ g/m}^2 \cdot \text{hari}$
- Luas permukaan kolam (Af) = $\frac{\text{BOD masuk} \times \text{debit lindi}}{\text{beban BOD permukaan}}$
 $= \frac{780 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 237,74 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}}{365,08 \frac{\text{g}}{\text{m}^2} \cdot \text{hari}}$
 $= 507,9 \text{ m}^2$
- Rasio panjang : lebar = 2 : 1 $\rightarrow P = 2L$
- Lebar Bak Fakultatif = $(2L)(L) = 507,9 \text{ m}^2$
 $= 2L^2 = 507,9 \text{ m}^2$
 $= \sqrt{\frac{507,9 \text{ m}^2}{2 \text{ m}}}$
 $= 15,93 \text{ m} \sim 16 \text{ m}$
- Panjang Bak Fakultatif = 2 x L

- $$= 2 \times 16 \text{ m}$$
- $$= 32 \text{ m}$$
- Check Luas P. Kolam (Af) = P x L
- $$= 32 \text{ m} \times 16 \text{ m}$$
- $$= 512 \text{ m}^2$$
- Volume Bak Fakultatif = P x L x h
- $$= 32 \text{ m} \times 16 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$$
- $$= 1.280 \text{ m}^3$$
- Waktu Tinggal Hidrolisis (θ_f) = $\frac{2 Af Df}{2 Qi - 0,001 e Af}$
- $$= \frac{2 \times 512 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ m}}{(2 \times 237,74 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}) - (0,001 \times 0,44 \frac{\text{mm}}{\text{hari}} \times 512 \text{ m}^2)}$$
- $$= 5,38 \text{ hari (Ok!, karena } \geq 4 \text{ hari)}$$
- Debit Keluar (Q_{out}) = $Q_{in} (\frac{\text{m}^3}{\text{hari}}) - 0,001 \times e (\frac{\text{mm}}{\text{hari}}) \times \text{HRT}$
(hari)
- $$= 237,74 (\frac{\text{m}^3}{\text{hari}}) - 0,001 \times 0,44 (\frac{\text{mm}}{\text{hari}}) \times 5,38 \text{ (hari)}$$
- $$= 237,73 (\frac{\text{m}^3}{\text{hari}})$$
- Rekap Hasil Dimensi Bak Fakultatif

Hasil perhitungan berdasarkan data perencanaan dan kriteria desain, berikut hasil rekap dari bak fakultatif dapat dilihat pada **Tabel 5.14**. sebagai berikut:

Tabel 5.14 Rekap Hasil Dimensi Bak Fakultatif

No	Kriteria	Satuan	Nilai perhitungan
1	Panjang	m	32
2	Lebar	m	16
3	Kedalaman Aktif	m	2,5
4	<i>Free Board</i>	m	0,3
5	Kedalaman Total	m	2,8
6	Volume	m ³	1.280
4	Debit	m ³ /hari	237,74

Sumber: Hasil Perhitungan

Efisiensi pengolahan:

1) BOD efluen (Le)

- Nilai k1

Diketahui konstanta laju orde pertama hari 20 ($k_1(20)$) untuk kolam fakultatif sekunder 0,1/ hari maka:

$$\begin{aligned}\text{Konstanta laju orde pertama } k_1 &= k_1(20) (1,05)^{T-20} \\ &= (0,1/\text{hari})(1,05)^{(28,06-20)} \\ &= 0,15/\text{hari}\end{aligned}$$

- Konsentrasi BOD efluen yang belum terfiltrasi alga (mg/l)

Diketahui konsentrasi BOD masuk (L) 780 mg/l dan waktu tinggal hidrolis θ_f yang digunakan adalah 5,38 hari, maka untuk mengetahui nilai BOD efluen yang belum terfiltrasi digunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}L_i \text{ filtered} &= \frac{L_i}{1+k_1 \theta_f} \\ &= \frac{780 \text{ mg/l}}{1+(\frac{0,15}{\text{hari}} \times 5,38 \text{ hari})} \\ &= 431,6 \text{ mg/l}\end{aligned}$$

- Konsentrasi BOD efluen yang sudah terfiltrasi oleh alga (mg/L)

Diketahui nilai fraksi non-alga (F_{na}) dari total BOD berkisar dari 0,1-0,3 dan pada perancangan ini digunakan nilai 0,3 (pada umumnya digunakan). Maka untuk mengetahui nilai dari BOD yang sudah terfiltrasi oleh alga digunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}L_e \text{ filtered} &= F_{na} (L_e (\text{Unfiltered})) \\ &= 0,3 \times 431,6 \text{ mg/l} \\ &= 129,5 \text{ mg/l}\end{aligned}$$

2) Efisiensi penyisihan BOD

Setelah nilai yang dibutuhkan sudah diketahui maka nilai efisiensi penyisihan BOD dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi penyisihan BOD} &= \frac{L_i - L_e}{L_i} \times 100\% \\ &= \frac{487,5 - 146,25}{487,5} \times 100\% \\ &= 70\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ BOD Tersisihkan} &= \text{BOD in (mg/l)} \times \text{Efisiensi Removal} \\
 &= 780 \text{ mg/l} \times 70\% \\
 &= 234 \text{ mg/l} \\
 &= 0,234 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban BOD Tersisihkan} &= Q. \text{ Lindi} \times \text{BOD Tersisihkan} \\
 &= 237,74 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 0,234 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 &= 55,63 \text{ kg BOD/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ BOD Keluar} &= \text{BOD in} - \text{BOD Tersisihkan} \\
 &= 780 \text{ mg/l} - 234 \text{ mg/l} \\
 &= 546 \text{ mg/l} \\
 &= 0,546 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban BOD Keluar} &= Q. \text{ Lindi} \times \text{BOD Keluar} \\
 &= 237,74 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 0,546 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 &= 129,8 \text{ kg BOD/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ COD Tersisihkan} &= \text{COD in (mg/l)} \times \text{Efisiensi Removal} \\
 &= 1085,7 \text{ mg/l} \times 80\% \\
 &= 217,14 \text{ mg/l} \\
 &= 0,217 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban COD Tersisihkan} &= Q. \text{ Lindi} \times \text{COD Tersisihkan} \\
 &= 237,74 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 0,217 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 &= 51,6 \text{ kg COD/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ COD Keluar} &= \text{COD in} - \text{COD Tersisihkan} \\
 &= 1085,7 \text{ mg/l} - 217,14 \text{ mg/l} \\
 &= 868,56 \text{ mg/l} \\
 &= 0,868 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban COD Keluar} &= Q. \text{ Lindi} \times \text{COD Keluar} \\
 &= 237,74 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 0,868 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 &= 206,5 \text{ kg COD/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ TSS Tersisihkan} &= \text{TSS in (mg/l)} \times \text{Efisiensi Removal} \\
 &= 76 \text{ mg/l} \times 85\% \\
 &= 11,4 \text{ mg/l} \\
 &= 0,0114 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban TSS Tersisihkan} &= Q. \text{ Lindi} \times \text{TSS Tersisihkan} \\
 &= 237,74 \frac{m^3}{\text{hari}} \times 0,0114 \frac{kg}{m^3} \\
 &= 2,7 \text{ kg TSS/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{TSS Keluar} &= \text{TSS in} - \text{TSS Tersisihkan} \\
 &= 76 \text{ mg/l} - 11,4 \text{ mg/l} \\
 &= 64,6 \text{ mg/l} \\
 &= 0,0646 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban TSS Keluar} &= Q. \text{ Lindi} \times \text{COD Keluar} \\
 &= 237,74 \frac{m^3}{\text{hari}} \times 0,0646 \frac{kg}{m^3} \\
 &= 15,3 \text{ kg TSS/hari}
 \end{aligned}$$

➤ Data Effluent Bak Fakultatif

Berdasarkan hasil perhitungan diatas ditetpkan data effluent air lindi pada bak fakultatif dapat dilihat pada **Tabel 5.15**.

Tabel 5.15 Data Effluent Bak Fakultatif

Parameter	Influent (mg/l)	Bak Anaerobik		Bak Fakultatif		Baku Mutu	Keterangan
		Efisiensi	Hasil (mg/l)	Efisiensi	Hasil (mg/l)		
Suhu	31,4	0%	31,4	0%	31,4	-	Sesuai
pH	9,1	0%	9,1	0%	9,1	-	Sesuai
BOD	2600	70%	780	70%	234	150	Melebihi
COD	3102	65%	1085,7	80%	214,14	300	Sesuai
TSS	380	80%	76	85%	11,4	100	Sesuai
Merkuri	0,0059	0%	0,0059	0%	0,0059	0,1	Sesuai
Kadmium	0,0055	0%	0,0055	0%	0,0055	0,005	Sesuai
Total Nitrogen	23,1	0%	23,1	0%	23,1	60	Sesuai

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan perhitungan desain di atas didapatkan ukuran bak fakultatif untuk perancangan ini adalah 32 m x 16 m x 2,5 m, dengan waktu tinggal selama 5,38 hari. Desain ini mampu menyisihkan 70% kadar pencemar BOD sehingga menurunkan kadar BOD sampai ke angka 234 mg/l, persentase penyisihan COD sebesar 80% dengan nilai COD keluar adalah sebesar 217,14 mg/L dan persentase penyisihan TSS sebesar 85%

dengan nilai TSS keluar adalah sebesar 11,4 mg/L (Dirjen Cipta Karya, 2017).

d. Kolam Biofilter

Biofilter merupakan salah satu unit pengolahan sekunder pada instalasi pengolahan air limbah. Biofilter memanfaatkan perkembangbiakan mikroorganisme yang melekat pada media filter untuk membantu mereduksi zat pencemar dalam air limbah. Biofilter memiliki efisiensi removal BOD hingga 90% (Dirjen Cipta Karya, 2017). Menurut Dirjen Cipta Karya, (2017) kriteria desain unit biofilter sebagai berikut:

Data dan Kriteria: (Dirjen Cipta Karya, 2018).

- Beban BOD = 0,5 - 4 kg BOD/m³
- Waktu Tinggal = 6 – 8 jam
- Kedalaman Aktif = 3 m
- Free Board = 0,3 m
- Lebar Unit = 4 m
- Panjang Sekat = 0,2 m
- Volume Media = 40% dari total volume reactor

Data yang digunakan

- Debit desain (Q_{in}) harian = 237,73 m³ /hari
- Debit desain perjam = $Q_{hari} : 24 = 9,9$ m³/jam
- BOD masuk = 234 mg/l
- COD masuk = 217,14 mg/l
- TSS masuk = 11,4 mg/l
- Persentase penyisihan BOD = 90%
- Persentase penyisihan COD = 85%
- Persentase penyisihan TSS = 65%

Desain Perhitungan:

➤ Perhitungan Beban BOD dalam Air Lindi

Direncanakan:

$$\text{BOD masuk} = 234 \text{ mg/l} = 0,234 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Beban BOD (kg/hari)} &= Q \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times \text{BOD In } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= 237,73 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 0,234 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= 55,6 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Volume Media

$$\begin{aligned} \text{Volume Media (m}^3\text{)} &= \frac{\text{Beban BOD } (\frac{\text{kg}}{\text{hari}})}{\text{Standart Beban BOD } (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{hari}})} \\ &= \frac{55,6 (\frac{\text{kg}}{\text{hari}})}{2 (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{hari}})} \\ &= 27,8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Volume Reaktor

Direncanakan:

Volume Media = 40% dari total volume reaktor

$$\begin{aligned} \text{Volume Reaktor (m}^3\text{)} &= \left(\frac{100}{40}\right) \times \text{Volume Media m}^3 \\ &= \left(\frac{100}{40}\right) \times 27,8 \text{ m}^3 \\ &= 69,5 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Waktu Tinggal

$$\begin{aligned} \text{Waktu Tinggal (jam)} &= \frac{\text{Volume Reaktor m}^3}{Q \text{ Air Lindi } \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \\ &= \frac{69,5 \text{ m}^3}{237,73 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \\ &= 7 \text{ jam} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Luas Permukaan Reaktor

$$\begin{aligned} \text{Luas Permukaan (m}^2\text{)} &= \frac{\text{Volume Reaktor (m}^3\text{)}}{\text{Kedalaman (m)}} \\ &= \frac{69,5 \text{ m}^3}{3 \text{ m}} \\ &= 23,16 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Dimensi Reaktor

Direncanakan:

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

$$\text{Panjang Sekat} = 0,20$$

Dari data yang direncanakan, lebar unit rencana adalah 4 m. Luas permukaan unit biofilter adalah $23,16 \text{ m}^2$. Dari data yang telah didapat maka panjang unit biofilter dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{➤ Lebar Bak Biofilter} &= (L)(L) = 23,16 \text{ m}^2 \\ &= L^2 = 23,16 \text{ m}^2 \\ &= \sqrt{23,16 \text{ m}^2} \\ &= 4,8 \text{ m} \sim 5 \text{ m} \\ \text{Panjang Total (m)} &= \text{Lebar} \\ &= 5 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa panjang reactor adalah 5 m. Panjang reactor kemudian dibagi menjadi 2 bagian, bagian pertama digunakan sebagai ruang aerasi dengan panjang 0,50 m dan bagian kedua digunakan sebagai ruang media dengan panjang 4,5 m. Diantara kedua bagian aerasi dan media dipisahkan oleh sekat sepanjang 0,20 m.

➤ Cek Volume Reaktor

$$\text{Cek Volume (m}^3\text{)} = \text{Panjang Total (m)} \times \text{Lebar (m)} \times \text{Kedalaman (m)}$$

$$\text{Cek Volume (m}^3\text{)} = 5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$$

$$\text{Cek Volume (m}^3\text{)} = 75 \text{ m}^3$$

➤ Cek Waktu Tinggal dalam Reaktor

$$\text{Cek Waktu Tinggal (jam)} = \frac{\text{Volume Reaktor (m}^3\text{)}}{Q_{\text{Air Lindi (m}^3\text{/jam)}}$$

$$\text{Cek Waktu Tinggal (jam)} = \frac{75 \text{ (m}^3\text{)}}{9,9 \text{ (m}^3\text{/jam)}}$$

$$\text{Cek Waktu Tinggal (jam)} = 7,6 \text{ jam}$$

➤ Perhitungan Dimensi Media

Diketahui:

Panjang Media = 5 m

Lebar Media = 5 m

Dari data perencanaan diatas, maka tinggi media biofilter dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Tinggi (m)} = \frac{\text{Volume Media (m}^3\text{)}}{\text{Panjang (m)} \times \text{Lebar (m)}}$$

$$\text{Tinggi (m)} = \frac{27,8 \text{ (m}^3\text{)}}{5 \text{ (m)} \times 5 \text{ (m)}}$$

$$\text{Tinggi (m)} = 1,2 \sim 1,5 \text{ m}$$

➤ Cek Volume Media

$$\text{Cek Volume (m}^3\text{)} = \text{Panjang (m)} \times \text{Lebar (m)} \times \text{Kedalaman (m)}$$

$$\text{Cek Volume (m}^3\text{)} = 5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Cek Volume (m}^3\text{)} = 37,5 \text{ m}^3$$

➤ Perhitungan Beban BOD per Volume Media

$$\text{Beban per V. Media (kg/m}^3\text{. Hari)} = \frac{\text{Beban BOD (}\frac{\text{kg}}{\text{hari}}\text{)}}{\text{Volume Media (m}^3\text{)}}$$

$$\text{Beban per V. Media (kg/m}^3\text{. Hari)} = \frac{27,8 \text{ (}\frac{\text{kg}}{\text{hari}}\text{)}}{25 \text{ (m}^3\text{)}}$$

$$\text{Beban per V. Media (kg/m}^3\text{. Hari)} = 1,1 \text{ kg/m}^3\text{. hari}$$

➤ Perhitungan Removal BOD

Direncanakan:

$$\text{Efisiensi Removal BOD} = 95\%$$

$$\text{Removal BOD (kg/hari)} = \text{E. Removal} \times \text{Beban BOD}$$

$$\text{Removal BOD (kg/hari)} = 95\% \times 55,6 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Removal BOD (kg/hari)} = 52,82 \text{ kg/hari}$$

➤ Perhitungan Kebutuhan Oksigen Teoritis

Direncanakan:

$$\text{Faktor Keamanan} = 2$$

$$\text{Temperatur udara rata – rata} = 28,06 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Berat Udara} = 1,1725 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Jumlah Oksigen di Udara} = 23,20\%$$

$$\text{Efisiensi Difuser} = 3\%$$

K. Oksigen (kg/hari) = Faktor Keamanan x BOD Removal

K. Oksigen (kg/hari) = 2 x 52,82 kg/hari

K. Oksigen (kg/hari) = 105,64 kg/hari

➤ Perhitungan Jumlah Oksigen Teoritis

$$\text{Jumlah Oksigen (m}^3\text{/hari)} = \frac{\text{Kebutuhan Oksigen } (\frac{\text{kg}}{\text{hari}})}{\text{Berat Udara x J. Oksigen (m}^3\text{)}}$$

$$\text{Jumlah Oksigen (m}^3\text{/hari)} = \frac{105,64 (\frac{\text{kg}}{\text{hari}})}{1,1725 \text{ kg/m}^3 \times 0,232}$$

$$\text{Jumlah Oksigen (m}^3\text{/hari)} = 388,3 \text{ m}^3\text{/hari}$$

$$\text{Jumlah Oksigen (m}^3\text{/hari)} = 16,18 \text{ m}^3\text{/jam}$$

$$\text{Jumlah Oksigen (m}^3\text{/hari)} = 16.180 \text{ liter/jam}$$

➤ Spesifikasi Blower Udara yang digunakan

Direncanakan: (Dirjen Cipta Karya, 2018).

Tipe Blower = AP-700L

Kapasitas Blower = 700

liter Power = 267 watt

Tingkat Kebisingan = 47 dB

➤ Rekap Dimensi Unit Biofilter Setelah melakukan perhitungan berdasarkan kriteria desain dan beberapa data perencanaan, kemudian dilakukan rekap hasil perhitungan unit bak pengendap awal yang terpapar dalam **Tabel 5.16** dibawah ini:

Tabel 5.16 Rekap Hasil Dimensi Bak Biofilter

No	Kriteria	Satuan	Nilai perhitungan
1	Panjang Reaktor	m	5
2	Panjang Sekat	m	0,2
3	Panjang Total Reaktor	m	5,7
4	Kedalaman Reaktor	m	3
5	Free Board	m	0,3
6	Kedalaman Total	m	3,4
7	Panjang Media	m	5
8	Lebar Media	m	5
9	Tinggi Media	m	1,2
10	Panjang Zona Media	m	4,5
11	Lebar Media	m	5
12	Kedalaman Zona Media	m	3

Sumber: Hasil Perhitungan

Efisiensi pengolahan

$$\begin{aligned}
 \text{➤ BOD Tersisihkan} &= \text{BOD in (mg/l)} \times \text{Efisiensi Removal} \\
 &= 234 \text{ mg/l} \times 90\% \\
 &= 23,4 \text{ mg/l} \\
 &= 0,0234 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban BOD Tersisihkan} &= Q. \text{ Lindi} \times \text{BOD Tersisihkan} \\
 &= 237,74 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 0,0234 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 &= 5,6 \text{ kg BOD/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ BOD Keluar} &= \text{BOD in} - \text{BOD Tersisihkan} \\
 &= 234 \text{ mg/l} - 23,4 \text{ mg/l} \\
 &= 210,6 \text{ mg/l} \\
 &= 0,2106 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban BOD Keluar} &= Q. \text{ Lindi} \times \text{BOD Keluar} \\
 &= 237,74 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 0,2106 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 &= 50 \text{ kg BOD/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ COD Tersisihkan} &= \text{COD in (mg/l)} \times \text{Efisiensi Removal} \\
 &= 217,14 \text{ mg/l} \times 85\% \\
 &= 32,571 \text{ mg/l} \\
 &= 0,0326 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban COD Tersisihkan} &= Q. \text{ Lindi} \times \text{COD Tersisihkan} \\
 &= 237,74 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 0,0326 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 &= 7,75 \text{ kg COD/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ COD Keluar} &= \text{COD in} - \text{COD Tersisihkan} \\
 &= 217,14 \text{ mg/l} - 32,571 \text{ mg/l} \\
 &= 184,569 \text{ mg/l} \\
 &= 0,185 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban COD Keluar} &= Q. \text{ Lindi} \times \text{COD Keluar} \\
 &= 237,74 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 0,185 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 &= 43,98 \text{ kg COD/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ TSS Tersisihkan} &= \text{TSS in (mg/l)} \times \text{Efisiensi Removal} \\
 &= 11,4 \text{ mg/l} \times 65\% \\
 &= 3,99 \text{ mg/l}
 \end{aligned}$$

$$= 0,00399 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Beban TSS Tersisihkan} = Q. \text{Lindi} \times \text{COD Tersisihkan}$$

$$= 237,74 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 0,00399 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$= 0,95 \text{ kg TSS/hari}$$

➤ TSS Keluar

$$= \text{TSS in} - \text{TSS Tersisihkan}$$

$$= 11,4 \text{ mg/l} - 3,99 \text{ mg/l}$$

$$= 7,41 \text{ mg/l}$$

$$= 0,00741 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Beban TSS Keluar}$$

$$= Q. \text{Lindi} \times \text{COD Keluar}$$

$$= 237,74 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 0,00741 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$= 1,75 \text{ kg TSS/hari}$$

➤ Data Effluent Bak Biofilter

Berdasarkan hasil perhitungan diatas ditetapkan data effluent air lindi pada bak Biofilter dapat dilihat pada **Tabel 5.17**.

Tabel 5.17 Data Effluent Bak Biofilter

Parameter	Influent (mg/l)	Bak Anaerobik		Bak Fakultatif		Biofilter		Baku Mutu	Keterangan
		Efisiensi	Hasil (mg/l)	Efisiensi	Hasil (mg/l)	Efisiensi	Hasil (mg/l)		
Suhu	31,4	0%	31,4	0%	31,4	0%	31,4	-	Sesuai
pH	9,1	0%	9,1	0%	9,1	0%	9,1	-	Sesuai
BOD	2600	70%	780	70%	234	90%	23,4	150	Sesuai
COD	3102	65%	1085,7	80%	214,14	85%	32,571	300	Sesuai
TSS	380	80%	76	85%	11,4	65%	3,99	100	Sesuai
Merkuri	0,0059	0%	0,0059	0%	0,0059	0%	0,0059	0,1	Sesuai
Kadmium	0,0055	0%	0,0055	0%	0,0055	0%	0,0055	0,005	Sesuai
Total Nitrogen	23,1	0%	23,1	0%	23,1	0%	23,1	60	Sesuai

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut diatas ditetapkan ukuran dari bak Biofilter adalah sebesar 5 m x 5 m dengan kedalaman air sebesar 3 meter dan waktu tinggal selama 9,3 jam. Adapun persentase penyisihan BOD sebesar 90% dengan nilai

BOD keluar adalah sebesar 23,4 mg/L, persentase penyisihan COD sebesar 85% dengan nilai COD keluar adalah sebesar 32,571 mg/L dan persentase penyisihan TSS sebesar 65% dengan nilai TSS keluar adalah sebesar 3,99 mg/L (Dirjen Cipta Karya, 2017).

e. Bak Kontrol dan Desinfeksi

Bak kontrol berfungsi sebagai untuk melihat hasil olahan air limbah sebelum dibuang menuju outlet badan penerima air. Selain itu pada bak kontrol ini juga akan ditambahkan unit pembubuh bahan desinfektan berupa Kaporit untuk membunuh mikroorganisme patogen sebelum dapat dibuang ke badan air penerima (Abbud, 2021). kriteria desain bak desinfeksi yang digunakan dalam perencanaan sebagai berikut:

Kriteria desain yang digunakan (Dirjen Cipta Karya, 2017).

Freeboard	: 0,3 meter
Rasio P : L	: 1 : 1
Waktu Tinggal Hidrolis	: 1 jam
Kedalaman air (h)	: 1 meter

Data yang digunakan

Debit desain (Q_{in}) harian = 237,75 m³ /hari

Perhitungan desain

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Volume (V)} &= Q_m \times \text{HRT} \times \frac{1 \text{ jam}}{24 \text{ hari}} \\
 &= 237,74 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 1 \text{ jam} \times \frac{1 \text{ jam}}{24 \text{ hari}} \\
 &= 9,9 \text{ m}^3 \\
 \text{➤ Kedalaman air (h)} &= 1 \text{ m} \\
 \text{➤ Luas (A)} &= \frac{\text{Volume}}{\text{Kedalaman}} = \frac{9,9 \text{ m}^3}{1 \text{ m}} = 9,9 \text{ m}^2 \\
 \text{➤ Luas (A)} &= P \times L \\
 2L &= \text{Luas} \\
 \text{Lebar} &= \sqrt{\text{Luas}} \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- Lebar (L) $= \sqrt{9,9} \text{ m}^2$
 $= 3,15 \text{ m} \approx 3 \text{ (dibulatkan)}$
- Panjang (P) $= \text{Lebar} = 3 \text{ m}$
- Total Kedalaman (H) $= 1,0 + \text{Freeboard}$
 $= 1 + 0,3 \text{ m}$
 $= 1,3 \text{ m}$
- Volume efektif (V') $= 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}$
 $= 11,7 \text{ m}^3$
- Check HRT $= \frac{11,7 \text{ m}^3}{237,75 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}$
 $= 1,18 \text{ jam} \approx 1,2 \text{ jam}$
- Rekap Hasil Dimensi Bak Desinfeksi dan Bak Kontrol

Hasil perhitungan berdasarkan data perencanaan dan kriteria desain, berikut hasil rekap dari bak desinfektan dan bak kontrol dapat dilihat pada **Tabel 5.18** sebagai berikut:

Tabel 5.18 Rekap Hasil Dimensi Bak Desinfeksi dan Bak Kontrol

No	Kriteria	Satuan	Nilai perhitungan
1	Panjang	m	3
2	Lebar	m	3
3	Kedalaman Aktif	m	1
4	<i>Free Board</i>	m	0,3
5	Kedalaman Total	m	1,3
6	Volume	m ³	9
4	Debit	m ³ /hari	237,75

Sumber: Hasil Perhitungan

Setelah perhitungan untuk tiap unit telah dilakukan maka diperlukan perhitungan Mass Balance pengolahan air lindi digunakan untuk mengetahui data dimensi setiap unit pengolahan dan effluent dari setiap unit pengolahan. Mass balance dibuat berdasarkan perhitungan data dimensi setiap unit pengolahan dan efisiensi removal pada setiap unit pengolahan yang ditampilkan pada Gambar 5.8.

5.4.3 Detail Perencanaan Pengolahan Air Lindi TPA Ngipik

a. Profil Hidrolis

Perhitungan profil hidrolis digunakan untuk menggambarkan perbedaan ketinggian muka air yang disebabkan oleh belokan, jatuhan, kecepatan aliran, serta media filter. Aliran air dalam IPAL akan mengalami jatuhan dan belokan saat menuju ke unit IPAL selanjutnya. Perhitungan kehilangan tekanan akibat jatuhan dan belokan dapat diketahui dengan menggunakan persamaan manning sebagai berikut:

$$H_f = \left(\frac{v \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L$$

Keterangan:

v = kecepatan aliran (m/s)

n = koefisien kekasaran (untuk beton 0,015)

R = jari-jari hidrolis (m)

L = panjang jatuhan atau belokan (m)

Perhitungan kehilangan tekanan yang disebabkan oleh kecepatan aliran di unit IPAL dapat diketahui dengan menggunakan persamaan darcy weisbach sebagai berikut:

$$H_f = f \times \frac{L}{4 \cdot R} + \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Keterangan:

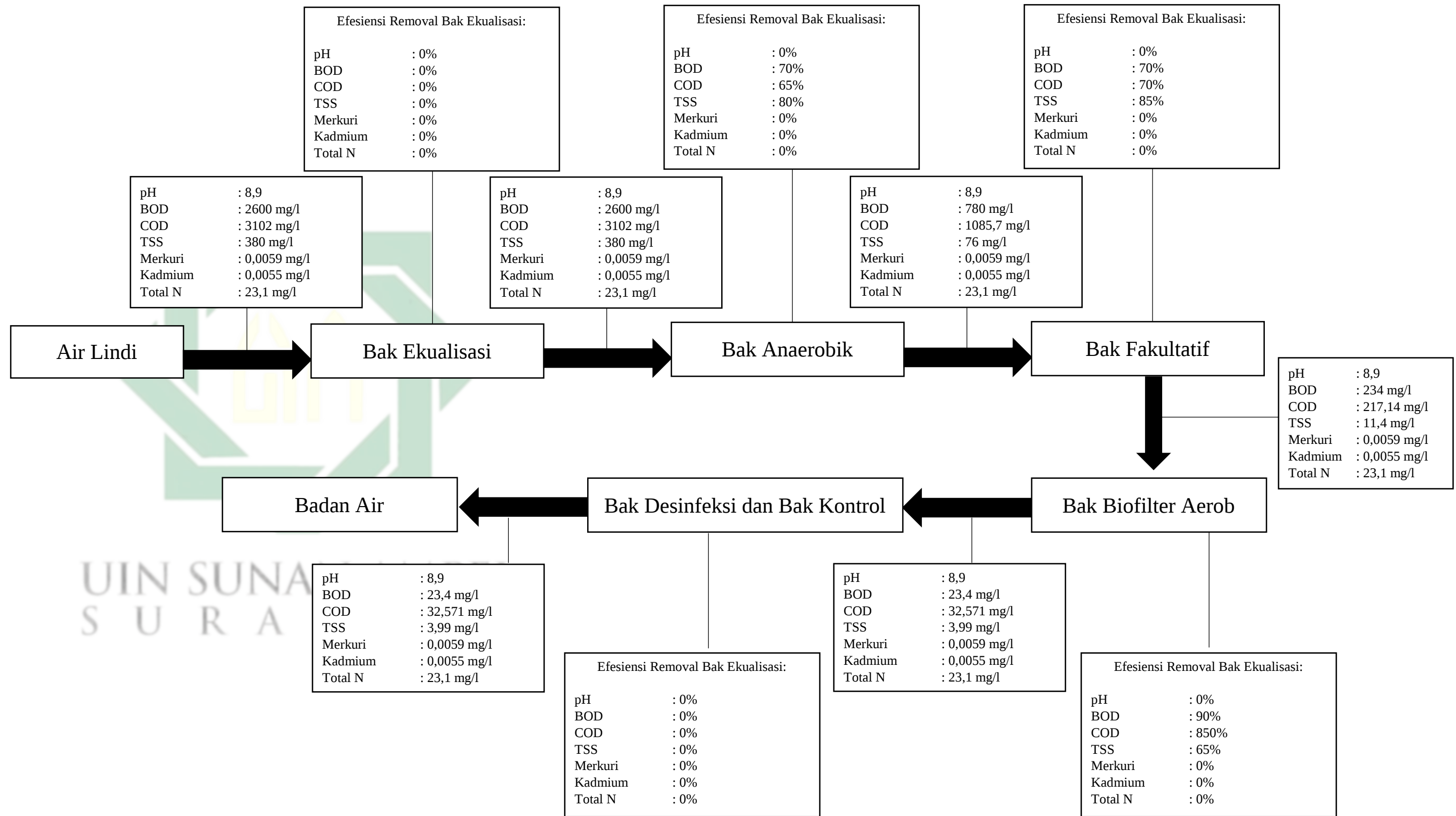
f = 1,5

L = panjang bangunan (m)

R = jari-jari hidrolis (m)

v = kecepatan aliran (0,3 m/detik)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/ detik²)



Gambar 5.8 Mass Balance Proses Redesain IPAL TPA Ngipik

Perhitungan kehilangan tekanan akibat media filter dapat diketahui dengan persamaan rose sebagai berikut:

$$H_f = 1,067 \times \frac{C_D \times L \times v^2}{\psi \times d \times e^4 \times g}$$

$$N_{Re} = \frac{\psi \times p \times d \times v}{\mu}$$

Apabila bilangan Reynold < 1 maka untuk mengetahui nilai CD adalah sebagai berikut:

$$CD = \frac{24}{N_{Re}}$$

Apabila bilangan reynold $1 < \text{dan} < 104$ maka untuk mengetahui nilai CD adalah sebagai berikut:

$$CD = \frac{24}{N_{Re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{Re}}} + 0,34$$

Apabila bilangan Reynold > 104 maka untuk mengetahui nilai CD adalah sebagai berikut:

$$CD = 0,4$$

Keterangan:

L = kedalaman media filter (m)

e = porositas media

v = kecepatan filtrasi (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s)

d = ukuran rongga media (m)

Y = faktor bentuk

μ = viskositas

p = massa jenis

1. Bak Ekualisasi

Kriteria desain yang digunakan (Dirjen Cipta Karya, 2017).

Kecepatan Aliran (v) : 0,3 m/detik

Koefisien Kekasaran (n) : 0,015

Percepatan Gravitasi (g) : 9,81 m/detik²

Slope (s) : 0,01

Data yang digunakan

Panjang (b)	: 3,00 m
Tinggi (y)	: 1,00 m
Kedalaman (Hi)	: 1,00 m
Tinggi Sekat (L)	: 1,00 m
Tebal Sekat	: 0,3 m

Perhitungan desain

➤ Perhitungan Jari jari Hdirolisis

$$R (m) = \frac{b \times y}{b + 2 \cdot y}$$

$$R (m) = \frac{3,00 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}}{3,00 \text{ m} + 2 \cdot 1,00}$$

$$R (m) = 0,429 \text{ m}$$

➤ Perhitungan Headloss Jatuhan

$$H_f (m) = \left(\frac{v \cdot n}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \times L (m)$$

$$H_f (m) = \left(\frac{0,3 \cdot 0,015}{0,061} \right)^2 \times 1,00$$

$$H_f (m) = 0,0034574 \text{ m}$$

➤ Perhitungan Headloss Kecepatan

$$F (m) = 1,50 \times \left(\frac{0,01989 + 0,00050780}{4 \cdot R} \right)$$

$$F (m) = 1,50 \times \left(\frac{0,01989 + 0,00050780}{4 \cdot 0,429} \right)$$

$$F (m) = 0,018 \text{ m}$$

$$H_f = f \times \frac{L}{4 \cdot R} \times \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$H_f = 0,018 \times \frac{1,00}{1,714} \times \frac{0,09}{19,62}$$

$$H_f = 0,000048 \text{ m}$$

➤ Perhitungan Headloss Inlet

$$H_f (m) = S \times L$$

$$H_f (m) = 0,01 \times 0,3$$

$$H_f (m) = 0,003 \text{ m}$$

➤ Headloss Total

$$H_f \text{ total} (m) = \sum H_f$$

$$H_f \text{ total} (m) = H_{fh} + H_{fv} + H_{finlet}$$

$$H_f \text{ total (m)} = 0,0034574 + 0,000048 + 0,003$$

$$H_f \text{ total (m)} = 0,007 \text{ m}$$

2. Bak Anaerobik

Kriteria desain yang digunakan (Dirjen Cipta Karya, 2017).

Kecepatan Aliran (v) : 0,3 m/detik

Koefisien Kekasaran (n) : 0,015

Percepatan Gravitasi (g) : 9,81 m/detik²

Slope (s) : 0,01

Data yang digunakan

Panjang (b) : 26 m

Tinggi (y) : 5 m

Kedalaman (Hi) : 5 m

Tinggi Sekat (L) : 5 m

Tebal Sekat : 0,3 m

Perhitungan desain

➤ Perhitungan Jari jari Hdirolisis

$$R \text{ (m)} = \frac{b \times y}{b + 2 \cdot y}$$

$$R \text{ (m)} = \frac{26,00 \text{ m} \times 5,00 \text{ m}}{26,00 \text{ m} + 2 \cdot 5,00}$$

$$R \text{ (m)} = 2,826 \text{ m}$$

➤ Perhitungan Headloss Jatuhan

$$H_f \text{ (m)} = \left(\frac{v \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \text{ (m)}$$

$$H_f \text{ (m)} = \left(\frac{0,3 \cdot 0,015}{2,662} \right)^2 \times 5,00$$

$$H_f \text{ (m)} = 0,0000143 \text{ m}$$

➤ Perhitungan Headloss Kecepatan

$$F \text{ (m)} = 1,50 \times \left(\frac{0,01989 + 0,00050780}{4 \cdot R} \right)$$

$$F \text{ (m)} = 1,50 \times \left(\frac{0,01989 + 0,00050780}{4 \cdot 2,826} \right)$$

$$F \text{ (m)} = 0,00271 \text{ m}$$

$$H_f = f \times \frac{L}{4 \cdot R} \times \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$H_f = 0,00271 \times \frac{5,00}{11,304} \times \frac{0,09}{19,62}$$

$$H_f = 0,0000055 \text{ m}$$

➤ Perhitungan Headloss Inlet

$$H_f (m) = S \times L$$

$$H_f (m) = 0,01 \times 0,3$$

$$H_f (m) = 0,003 \text{ m}$$

➤ Headloss Total

$$H_{f \text{ total}} (m) = \sum H_f$$

$$H_{f \text{ total}} (m) = H_{fh} + H_{fv} + H_{finlet}$$

$$H_{f \text{ total}} (m) = 0,0000143 + 0,0000055 + 0,003$$

$$H_{f \text{ total}} (m) = 0,00302 \text{ m}$$

3. Bak Fakultatif

Kriteria desain yang digunakan (Dirjen Cipta Karya, 2017).

Kecepatan Aliran (v) : 0,3 m/detik

Koefisien Kekasaran (n) : 0,015

Percepatan Gravitasi (g) : 9,81 m/detik²

Slope (s) : 0,01

Data yang digunakan

Panjang (b) : 32 m

Tinggi (y) : 2,5 m

Kedalaman (Hi) : 2,5 m

Tinggi Sekat (L) : 2,5 m

Tebal Sekat : 0,3 m

Perhitungan desain

➤ Perhitungan Jari jari Hdirolisis

$$R (m) = \frac{b \times y}{b+2 \cdot y}$$

$$R (m) = \frac{32,00 \text{ m} \times 2,50 \text{ m}}{32,00 \text{ m} + 2 \cdot 2,50}$$

$$R (m) = 1,905$$

➤ Perhitungan Headloss Jatuhan

$$H_f (m) = \left(\frac{v \cdot n}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \times L (m)$$

$$H_f (m) = \left(\frac{0,3 \cdot 0,015}{1,209} \right)^2 \times 2,50$$

$$H_f (m) = 0,00000222 \text{ m}$$

➤ Perhitungan Headloss Kecepatan

$$F (m) = 1,50 \times \left(\frac{0,01989 + 0,00050780}{4 \cdot R} \right)$$

$$F (m) = 1,50 \times \left(\frac{0,01989 + 0,00050780}{4 \cdot 1,905} \right)$$

$$F (m) = 0,0040158 \text{ m}$$

$$H_f = f \times \frac{L}{4 \cdot R} \times \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$H_f = 0,004 \times \frac{2,50}{7,619} \times \frac{0,09}{19,62}$$

$$H_f = 0,0000060 \text{ m}$$

➤ Perhitungan Headloss Inlet

$$H_f (m) = S \times L$$

$$H_f (m) = 0,01 \times 0,3$$

$$H_f (m) = 0,003 \text{ m}$$

➤ Headloss Total

$$H_f \text{ total } (m) = \sum H_f$$

$$H_f \text{ total } (m) = H_{fh} + H_{fv} + H_{finlet}$$

$$H_f \text{ total } (m) = 0,00000222 + 0,0000060 + 0,003$$

$$H_f \text{ total } (m) = 0,00303 \text{ m}$$

4. Bak Biofilter

Kriteria desain yang digunakan (Dirjen Cipta Karya, 2017).

Kecepatan Aliran (v) : 0,3 m/detik

Koefisien Kekasaran (n) : 0,015

Percepatan Gravitasi (g) : 9,81 m/detik²

Slope (s) : 0,01

Data yang digunakan

Panjang (b) : 5,7 m

Tinggi (y) : 3 m

Kedalaman (Hi) : 3 m

Tinggi Sekat (L) : 3 m

Tebal Sekat : 0,3 m

Perhitungan desain

➤ Perhitungan Jari jari Hdirolisis

$$R (m) = \frac{b \times y}{b+2 \cdot y}$$

$$R (m) = \frac{5,70 \text{ m} \times 3,00 \text{ m}}{5,70 \text{ m} + 2 \cdot 3,00}$$

$$R (m) = 0,966 \text{ m}$$

➤ Perhitungan Headloss Jatuhan

$$H_f (m) = \left(\frac{v \cdot n}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \times L (m)$$

$$H_f (m) = \left(\frac{0,3 \cdot 0,015}{0,311} \right)^2 \times 3,00$$

$$H_f (m) = 0,0006 \text{ m}$$

➤ Perhitungan Headloss Kecepatan

$$F (m) = 1,50 \times \left(\frac{0,01989 + 0,00050780}{4 \cdot R} \right)$$

$$F (m) = 1,50 \times \left(\frac{0,01989 + 0,00050780}{4 \cdot 0,966} \right)$$

$$F (m) = 0,008 \text{ m}$$

$$H_f = f \times \frac{L}{4 \cdot R} \times \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$H_f = 0,008 \times \frac{1,00}{3,864} \times \frac{0,09}{19,62}$$

$$H_f = 0,000028 \text{ m}$$

➤ Perhitungan Headloss Inlet

$$H_f (m) = S \times L$$

$$H_f (m) = 0,01 \times 0,3$$

$$H_f (m) = 0,003 \text{ m}$$

➤ Headloss Filtrasi

$$H_{f_{fil}} = 1,067 \times \frac{C_d \times L \times v^2}{\psi \times d \times e^4 \times g}$$

$$H_{f_{fil}} = 1,067 \times \frac{0,340952015 \times 5,70 \times 0,275}{1 \times 0,1 \times 0,98 \times 9,81}$$

$$H_{f_{fil}} = 1,067 \times \frac{0,0309805}{0,90484}$$

$$H_{f_{fil}} = 0,034238503 \text{ m}$$

➤ Perhitungan Headloss Belokan

$$H_f (m) = \left(\frac{v \cdot n}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \times L$$

$$H_f (m) = \left(\frac{0,30 \cdot 0,015}{0,311} \right)^2 \times 5,70$$

$$H_f (m) = 0,001192 \text{ m}$$

➤ Perhitungan Bilangan Reynold

$$N_{Re} = \frac{\psi \times p \times d \times v}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{1 \times 0,9963 \times 0,1 \times 0,275}{0,00000087}$$

$$N_{Re} = 31612,12284$$

➤ Headloss Total

$$H_f \text{ total } (m) = \sum H_f$$

$$H_f \text{ total } (m) = H_{fh} + H_{fv} + H_{fFil} + H_{fb} + H_{finlet}$$

$$H_f \text{ total } (m) = 0,0006 + 0,000028 + 0,0342385 + 0,001192 + 0,003$$

$$H_f \text{ total } (m) = 0,0391 \text{ m}$$

5. Bak Desinfeksi

Kriteria desain yang digunakan (Dirjen Cipta Karya, 2017).

Kecepatan Aliran (v)	: 0,3 m/detik
Koefisien Kekasaran (n)	: 0,015
Percepatan Gravitasi (g)	: 9,81 m/detik ²
Slope (s)	: 0,01

Data yang digunakan

Panjang (b)	: 3,00 m
Tinggi (y)	: 1,00 m
Kedalaman (Hi)	: 1,00 m
Tinggi Sekat (L)	: 1,00 m
Tebal Sekat	: 0,3 m

Perhitungan desain

➤ Perhitungan Jari jari Hdirolisis

$$R (m) = \frac{b \times y}{b+2 \cdot y}$$

$$R (m) = \frac{3,00 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}}{3,00 \text{ m} + 2 \cdot 1,00}$$

$$R \text{ (m)} = 0,429 \text{ m}$$

➤ Perhitungan Headloss Jatuhan

$$H_f \text{ (m)} = \left(\frac{v \cdot n}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \times L \text{ (m)}$$

$$H_f \text{ (m)} = \left(\frac{0,3 \cdot 0,015}{0,061} \right)^2 \times 1,00$$

$$H_f \text{ (m)} = 0,0034574 \text{ m}$$

➤ Perhitungan Headloss Kecepatan

$$F \text{ (m)} = 1,50 \times \left(\frac{0,01989 + 0,00050780}{4 \cdot R} \right)$$

$$F \text{ (m)} = 1,50 \times \left(\frac{0,01989 + 0,00050780}{4 \cdot 0,429} \right)$$

$$F \text{ (m)} = 0,018 \text{ m}$$

$$H_f = f \times \frac{L}{4 \cdot R} \times \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$H_f = 0,018 \times \frac{1,00}{1,714} \times \frac{0,09}{19,62}$$

$$H_f = 0,000048 \text{ m}$$

➤ Perhitungan Headloss Inlet

$$H_f \text{ (m)} = S \times L$$

$$H_f \text{ (m)} = 0,01 \times 0,3$$

$$H_f \text{ (m)} = 0,003 \text{ m}$$

➤ Headloss Total

$$H_{f \text{ total}} \text{ (m)} = \sum H_f$$

$$H_{f \text{ total}} \text{ (m)} = H_{fh} + H_{fv} + H_{finlet}$$

$$H_{f \text{ total}} \text{ (m)} = 0,0034574 + 0,000048 + 0,003$$

$$H_{f \text{ total}} \text{ (m)} = 0,007 \text{ m}$$

6. Rekap Profil Hidrolis

Data profil hidrolis menggambarkan tentang kondisi muka air pada unit IPAL. Tinggi muka air pada suatu IPAL salah satunya dipengaruhi oleh faktor kehilangan tekanan akibat belokan, jatuhan ataupun filtrasi. Berikut merupakan hasil rekap profil hidrolis yang tersaji dalam **Tabel 5.19** dibawah ini:

Tabel 5.19 Rekap Profil Hidrolis IPAL

Unit Bangunan	Jenis Headloss	Headloss (m)	Muka Air (m)
Bak Ekualisasi			0.060
	Headloss Jatuhan	0.00346	0.057
	Headloss Kecepatan	0.00005	0.056
	Headloss Inlet	0.00300	0.053
Bak Anaerobik			0.053
	Headloss Jatuhan	0.00001	0.053
	Headloss Kecepatan	0.00001	0.053
	Headloss Inlet	0.00300	0.050
Bak Fakultatif			0.050
	Headloss Jatuhan	0.00002	0.050
	Headloss Kecepatan	0.00001	0.050
	Headloss Inlet	0.00300	0.047
Bak Biofilter			0.047
	Headloss Jatuhan	0.00063	0.047
	Headloss Kecepatan	0.00003	0.047
	Headloss Filter	0.03424	0.013
	Headloss Belokan	0.00119	0.011
	Headloss Inlet	0.00300	0.008
			0.008
Bak Desinfeksi			0.008
	Headloss Jatuhan	0.00346	0.005
	Headloss Kecepatan	0.00005	0.005
	Headloss Inlet	0.00300	0.002

Sumber : Hasil Perhitungan

b. Produksi Lumpur

Pada proses pengolahan air lindi terdapat proses penyisihan bahan organik menggunakan bakteri, proses ini menghasilkan lumpur (Dirjen Cipta Karya, 2018). Jumlah lumpur yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = Q \times Y_{obs} \times (S_o - S) \times \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right)$$

Dimana:

Q = Laju air limbah, m^3/hari

Y_{obs} = Yield biomassa, Kg VSS/Kg COD

S_o = konsentrasi COD inlet, g/m^3

S = Konsentrasi COD outlet, g/m^3

P = Jumlah lumpur yang diproduksi, Kg/hari

Sebagai contoh, kolam anaerobik akan dihitung lumpur yang diproduksi:

Diketahui

$Q = 237,75 \text{ m}^3/\text{hari}$

$$Y_{obs} = 0,5 \text{ Kg VSS/Kg COD (pada umumnya)}$$

$$S_o = 3102 \text{ g/m}^3$$

$$S = 1085,7 \text{ g/m}^3$$

Perhitungan

$$P = Q \times Y_{obs} \times (S_o - S) \times \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right)$$

$$P = 237,75 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,5 \text{ Kg VSS/Kg COD} \times (3102 \text{ g/m}^3 - 1085,7 \text{ g/m}^3) \times \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right)$$

$$P = 239,69 \text{ Kg/hari}$$

Untuk menghitung volume lumpur yang dihasilkan, digunakan nilai berat jenis lumpur yaitu 1,4 Kg/L dan digunakan persamaan sebagai berikut: (Dirjen Cipta Karya, 2018).

$$\begin{aligned} \text{Volume Lumpur (V)} &= \frac{p}{m} \\ &= \frac{239,69 \text{ kg/hari}}{1,4 \text{ kg/l}} \\ &= 171 \text{ L/hari} = 0,171 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan dari setiap unit dapat dilihat pada **Tabel 5.20**.

Tabel 5.20 Produksi Volume Lumpur dari Penyisihan Bahan Organik

Parameter	Unit				
	Ekualisasi	Anaerobik	Fakultatif	Biofilter	Bak Kontrol
Debit Masuk (m3/hari)	237.75	237.75	237.74	237.73	237.73
COD Masuk (mg/L)	3102	3102	1085.7	217.14	32.571
COD Keluar (mg/L)	3102	1085.7	217.14	32.571	32.571
COD Tersisih (mg/L)	0	2016.3	868.56	184.569	0
Produksi Lumpur (kg/hari)	0	239.69	103.25	21.939	0
Berat Jenis Lumpur	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Volume Lumpur	0	0.171	0.074	0.016	0

Sumber: Hasil Perhitungan

c. Frekuensi Pengurasan Lumpur

Lumpur yang dihasilkan dari setiap unit akan di sedot secara berkala dengan menggunakan Truk Tangki dan disirkulasi ke TPA kembali. Untuk mengetahui frekuensi pengurasan dapat

ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut ini: (Dirjen Cipta Karya, 2018).

$$\text{Frekuensi Pengurasan} = \frac{A \text{ (unit)}}{(V_{\text{lumpur}} \times 360 \text{ hari}) / h_{\text{lumpur}}}$$

Ketinggian lumpur di dalam kolam ditetapkan setinggi 1 meter.

Sebagai contoh perhitungan diambil kolam anaerobik, dimana:

$$\begin{aligned} \text{Frekuensi Pengurasan} &= \frac{A \text{ (unit)}}{(V_{\text{lumpur}} \times 360 \text{ hari}) / h_{\text{lumpur}}} \\ &= \frac{A \text{ (unit)}}{(V_{\text{lumpur}} \times 360 \text{ hari}) / h_{\text{lumpur}}} \\ &= 5,74 \text{ kali per tahun} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan untuk tiap – tiap unit dapat dilihat pada **Tabel 5.21** berikut ini:

Tabel 5.21 Frekuensi Pengurasan Tiap Unit

Parameter	Unit				
	Ekualisasi	Anaerobik	Fakultatif	Biofilter	Bak Kontrol
Volume Lumpur (m3/hari)	0	0.171	0.074	0.016	0
Tinggi Lumpur (m)	0.2	1	1	1	0.1
Luas Bak (m2)	9.9	353.78	507.5	25	9.9
Frekuensi Pengurasan (Tahun)	0	5.74	19.11	4,43	0

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan frekuensi pengurasan unit-unit kolam IPAL diatas, didapat kolam Fakultatif merupakan kolam yang akan paling besar frekuensi pengurasannya. Hal tersebut dikarenakan tingginya bahan organik yang diuraikan dan menjadi lumpur yang harus dibuang. Pembuangan lumpur dilakukan dengan truk tangki penyedot untuk kemudian dibuang kembali ke landfill (Abbud, 2021).

5.5 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya dan *Bill of Quantity*

Perhitungan BOQ dan RAB pada perencanaan ini berdasarkan dengan hasil perhitungan dimensi IPAL. Analisa harga satuan pekerjaan (AHSP)

yang digunakan pada perencanaan ini adalah AHSP 2016 yang mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No. 28/PRT/M/2016 tentang pedoman analisis harga satuan pekerjaan bidang pekerjaan umum. Analisis harga pekerjaan yang diterapkan dalam perencanaan ini mengacu pada HSPK Gubernur Jawa Timur Tahun 2021. Perhitungan rencanan anggaran biaya (RAB) pada perencanaan ini dilakukan dengan mengalikan volume pekerjaan dengan harga dari setiap pekerjaan. Berikut merupakan perhitungan rencana anggaran biaya (RAB) yang terpapar dalam **Tabel 5.22**.



Tabel 5.22 Perhitungan RAB Redesain IPAL TPA Ngipik

PEKERJAAN		PENYUSUNAN DED REDESAIN IPAL TPA NGIPIK			
LOKASI		KABUPATEN GRESIK			
PROVINSI		JAWA TIMUR			
TAHUN		2022			
PEKERJAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LINDI					
No	Uraian Pekerjaan	Volume/ Sat	Analisa	Harga Satuan	Jumlah Harga
I	2	3	4	5	6
A	Pekerjaan Persiapan				
1	Pembersihan Lahan	1.006,69 m ²	AHSP A.2.2.1.9	15,730.00	15,835,233.70
2	Pemasangan Bowplank	239,20 m	AHSP A.2.2.1.4	113,036.00	27,038,211.20
				Sub Jumlah	42,873,444.90
B	Pekerjaan Tanah				
1	Galian Tanah Bak Ekuialisasi	3.723,84 m ³	AHSP A.2.3.1.2	91,674.00	404,927,801.08
2	Urugan Pasir Alas Lantai Kolam	95,84 m ³	AHSP A.2.3.1.11	193,622.00	18,555,957.99
3	Urugan Tanah Kolam Kembali	95,84 m ³	AHSP A.2.3.1.9	54,010.00	5,176,102.36
				Sub Jumlah	428,659,861.43
C	Pekerjan Lantai Kerja				
1	Beton K-125	47.92 m ³	AHSP A.4.1.1.2	977,482.69	46,839,015.66
				Sub Jumlah	46,839,015.66
D	Pekerjaan Beton Bertulang				
1	Dinding Kolam				
	a. Beton K275	192,35 m ³	AHSP A.4.1.1.9	1,257,224.10	241,824,541.19
	b. Besi	13.876,10 kg	AHSP A.4.1.1.17	15,796.88	219,199,023.38
	c. Bekisting	4.443,96 m ²	AHSP A.4.1.1.25	248,902.00	1,106,110,531.92
	d. Perawatan Beton/Lain Lain	0.00 m ³	Taksir	50,000.00	0.00
				Jumlah	1,567,134,096.49
2	Lantai Kolam				
	a. Beton K275	284,70 m ³	AHSP A.4.1.1.9	1,257,224.10	357,931,701.27
	b. Besi	19.741,28 kg	AHSP A.4.1.1.17	15,796.88	311,850,631.21
	c. Bekisting	948,00 m ²	AHSP A.4.1.1.25	248,902.00	235,959,096.00
	d. Perawatan Beton/Lain Lain	0.00 m ³	Taksir	50,000.00	0.00
				Jumlah	905,741,428.48
3	Kolom 20x20				
	a. Beton K275	9,72 m ³	A. 4.1.1.7	1,257,224.10	12,220,218.25
	b. Besi	678,93 kg	AHSP A.4.1.1.17	15,796.88	10,725,023.13
	c. Bekisting	138,72 m ²	AHSP A.4.1.1.25	248,902.00	34,527,685.44
	d. Perawatan Beton/Lain Lain	0.00 m ³	Taksir	50,000.00	0.00
				Jumlah	57,472,926.82
4	Sloof				
	a. Beton K275	21,22 m ³	A. 4.1.1.7	1,257,224.10	26,680,809.85
	b. Besi	1.609,83 kg	AHSP A.4.1.1.17	15,796.88	25,430,261.32
	c. Bekisting	450,24 m ²	AHSP A.4.1.1.25	248,902.00	112,065,636.48
	d. Perawatan Beton/Lain Lain	0.00 m ³	Taksir	50,000.00	0.00
				Jumlah	164,176,707.65
5	Sloof Kolam				
	a. Beton K275	46,42 m ³	A. 4.1.1.7	1,257,224.10	58,360,342.72
	b. Besi	4.965,21 kg	AHSP A.4.1.1.17	15,796.88	78,434,843.92
	c. Bekisting	524,20 m ²	AHSP A.4.1.1.25	248,902.00	130,474,428.40
	d. Perawatan Beton/Lain Lain	0.00 m ³	Taksir	50,000.00	0.00
				Jumlah	267,269,615.04
				Sub Jumlah	2,961,794,774.47
E	Pekerjaan Pipa				
1	Pipa PVC 3"	4,00 m	AHSP A.5.5.1.32	137,264.00	549,056.00
2	Pipa PVC 1 1/2"	2,50 m	AHSP A.5.5.1.28	49,736.00	124,340.00
3	TEE Socket 4"	8,00 bh	Taksir	22,000.00	176,000.00
4	Blower Hi Blow 100 +	1,00 bh	Taksir	1,200,000.00	1,200,000.00
				Sub Jumlah	2,049,396.00
F	Pekerjaan Lain Lain				
1	Pembersihan Akhir	5.00 Ls	Taksir	200,000.00	1.000.000.00
2	Water Bar	0.00 m1	Taksir	2,500.00	0.00
3	Media Biofilter Sarang Tawon + Pemsangan	30,00 m ³	Taksir	2,000,000.00	60,000,000.00
3	Tangki Pembubuh Kaporit, Pipa PVC ND. 150 mm (Berlubang)	2,00 Unir/t	Taksir	500,000.00	1,000,000.00
				Sub Jumlah	62,000,000.00

Sumber: Hasil Analisis, 2022

Tabel 5.22 menginformasikan akumulasi harga pekerjaan pada perencanaan IPAL. Perhitungan harga pada setiap pekerjaan disesuaikan dengan perhitungan dimensi volume yang telah dilakukan. Berikut merupakan rekap rencana anggaran biaya (RAB) yang terpapar pada **Tabel 5.23**

Tabel 5.23 Rekap RAB Redesain IPAL TPA Ngipik

No.	Uraian Pekerjaan	Jumlah Harga	
1	2	3	
A	Pekerjaan Persiapan	Rp	42,873,444.90
B	Pekerjaan Tanah	Rp	428,659,861.43
C	Pekerjaan Lantai Kerja	Rp	46,839,015.66
D	Pekerjaan Beton Bertulang	Rp	2,961,794,774.47
E	Pekerjaan Pipa	Rp	2,049,396.00
F	Pekerjaan Lain Lain	Rp	62,000,000.00
JUMLAH		Rp	3,544,216,492.47
PPN 10%		Rp	354,421,649.25
TOTAL		Rp	3,898,638,141.71
DIBULATKAN		Rp	3,898,639,000.00
Terbilang : Tiga Milliar Delapan Ratus Sembilan Puluh Delapan Juta Enam Ratus Tiga Puluh Sembilan Ribu Rupiah			

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

Pada tabel diatas diketahui rekap rencana anggaran biaya pekerjaan Redesain IPAL TPA Ngipik. Direncanakan rencana anggaran biaya pekerjaan Redesain Instalasi Pengolahan Air Lindi di TPA Ngipik Kabupaten Gresik yakni sebesar Rp. 3.898.639.000,00 terbilang Tiga Milliar Delapan Ratus Sembilan Puluh Delapan Juta Enam Ratus Tiga Puluh Sembilan Ribu Rupiah.

5.6 Standart Operating Procedure

5.6.1 Pengoperasian IPAL

Menurut Kementerian Kesehatan RI (2011), berikut merupakan petunjuk setandar pengoperasian IPAL:

- Sebelum IPAL dioperasikan Reaktor Biofilter diisi dengan air bersih sampai penuh.
- Seluruh peralatan mekanik dan elektrik harus dipastikan dalam keadaan berjalan dengan baik.

- c. Air limbah dialirkan ke bak penampung atau bak ekualisasi.
- d. Pada saat pertama kali IPAL dioperasikan (Start Up), Reaktor Biofilter harus sudah terisi air sepenuhnya.
- e. Setelah itu dilakukan proses aerasi dan proses sirkulasi air dari bak pengendapan akhir ke bak pengendapan awal di dalam reaktor aerob.
- f. Proses pembiakan mikroba dapat dilakukan secara alami atau natural karena di dalam air limbah domestik sudah mengandung mikroba atau mikroorganisme yang dapat menguraikan polutan yang ada di dalam air limbah atau dapat pula dilakukan seeding dengan memberikan benih mikroba yang sudah dibiakkan.
- g. Jika pengoperasian IPAL dilakukan dengan pembiakan mikroba secara alami, proses operasional yang stabil memerlukan waktu pembiakan (seeding) sekitar 1-2 minggu. Waktu adaptasi tersebut dimaksudkan untuk membiakkan mikroba agar tumbuh dan menempel pada permukaan media biofilter. Jika proses pembiakan mikroba (seeding) dilakukan dengan memberikan benih mikroba yang sudah jadi, proses dapat stabil dalam waktu 1 minggu.
- h. Pertumbuhan mikroba secara fisik dapat dilihat dari adanya lapisan lendir atau biofilm yang menempel pada permukaan media.

5.6.2 Perawatan IPAL

Menurut Kementerian Kesehatan RI (2011), Unit instalasi pengolahan air limbah (IPAL) biofilter tidak memerlukan perawatan khusus, tetapi ada yang harus diperhatikan dalam pengoperasionalannya yakni:

- a. Sedapat mungkin tidak ada sampah padat (plastik, kain, batu, pembalut, dll) yang masuk ke dalam sistem IPAL.
- b. Diusahakan sedapat mungkin tidak ada limbah dari bengkel (bahan bakar atau olie) masuk ke dalam sistem IPAL.

- c. Bak kontrol harus dibersihkan secara rutin minimal satu minggu sekali atau lebih baik sesering mungkin untuk menghindari terjadinya penyumbatan oleh sampah padat.
- d. Menghindari masuknya zat-zat kimia beracun yang dapat mengganggu pertumbuhan mikroba yang ada di dalam biofilter misalnya, cairan limbah perak nitrat, merkuri atau logam berat lainnya.
- e. Perlu dilakukan pengurasan lumpur pada bak anaerobik, bak fakultatif, dan biofilter secara periodik untuk menguras lumpur yang tidak dapat terurai secara biologis. Pengurasan biasanya dilakukan minimal 6 bulan sekali atau disesuaikan dengan kebutuhan.
- f. Perlu dilakukan perawatan rutin terhadap pompa pengumpul, pompa air limbah, pompa sirkulasi serta blower yang dilakukan 3-4 bulan sekali.
- g. Perawatan rutin pompa dan blower udara dapat dilihat pada buku operasional dan perawatan dari pabriknya.

5.6.3 Pemberhentian Operasional IPAL

Menurut Kementerian Kesehatan RI (2011), Beberapa hal yang harus diperhatikan ketika melakukan pemberhentian pengoperasian IPAL yakni:

- a. Pompa air limbah di dalam Tangki Biofilter dihentikan, sedangkan blower dan pompa sirkulasi di dalam reaktor Pengolahan lanjut tetap dijalankan.
- b. Selanjutnya air limbah di dalam Reaktor Biofilter Anaerob dipompa dan dimasukkan ke Reaktor Aerob (pengolahan Lanjut) sampai habis.
- c. Air limbah di dalam Reaktor IPAL aerob terus di aerasi dan pompa sirkulasi tetap jalankan minimal selama 6 jam.
- d. Setelah itu air di dalam reaktor biofilter boleh dibuang melalui lubang pengeluaran.

BAB VI

PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan kesimpulan yang didapatkan dari perencanaan Instalasi Pengolahan Air Lindi TPA Ngipik sebagai berikut:

1. Debit air lindi di TPA Ngipik berdasarkan perhitungan *water balance method* adalah sebesar 237,75 m³/hari.
2. Karakteristik air lindi TPA Ngipik adalah: pH (9,1), BOD (2600 mg/l), COD (3102 mg/l), TSS (380 mg/l), Merkuri (0,0059 mg/l), Kadmium (0,0055 mg/l), Total Nitrogen (23,1 mg/l). Kualitas effluent IPAL air lindi TPA Ngipik adalah pH (8,9), BOD (1218 mg/l), COD (2634 mg/l), TSS (170 mg/l), Merkuri (0,0042 mg/l), Kadmium (0,0055 mg/l), Total Nitrogen (0,73 mg/l).
3. Effluent IPAL TPA Ngipik yang melebihi baku mutu adalah BOD, COD, dan TSS, hal ini dikarenakan hanya bak ekualisasi dan bak ABR yang beroperasi.
4. Hasil redesain IPAL TPA Ngipik antara lain: Bak Ekualisasi, Bak Anaerobik, Bak Fakultatif, Bak Biofilter, dan Bak Desinfeksi atau Bak Kontrol.
5. Bill Of Quantity dan rencana anggaran biaya yang dibutuhkan untuk redesain IPAL TPA Ngipik sebesar Rp. 3.891.004.000,00.

6.2. Saran

Berdasarkan pembahasan dan kesimpulan yang didapatkan dari perencanaan Instalasi Pengolahan Air Lindi TPA Ngipik sebagai berikut:

1. Sebaiknya untuk perencanaan IPAL lindi pada penelitian selanjutnya memakai unit advance teknologi seperti karbon aktif, reverse osmosis, mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi dan ozonisasi agar menghemat biaya dan lahan yang digunakan.

2. Sebaiknya adanya tindak lanjut dan evaluasi dari Pemerintah Daerah Kabupaten Gresik terhadap operasional dan pemeliharaan IPAL TPA Ngipik jika tidak dilakukan redesain.



DAFTAR PUSTAKA

- Abbud, A. S. (2021). Pra Rancang Pengolahan Lindi TPA Studi Kasus TPA Mencirim Kota Binjai. *Skripsi*. Universitas Sumatra Utara: Fakultas Teknik Lingkungan.
- Abdi, C., Khair, R. M., & Hanifah, T. S. (2019). Perencanaan Bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal Domestik Dengan Proses Anaerobic Baffled Reactor (ABR) pada Asmara PON-PES Terpadu Nurul Musthofa di Kabupaten Tabalong Kalimantan Selatan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(1), 86-95.
- Arbi, Y., Siregar, R. L., & Damanhuri, T. P. (2018). Kajian Pencemaran Air Tanah Oleh Lindi Sekitar Tempat Pembuatan Akhir Sampah Air Dingin Kota Padang . *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1-6, 18(1).
- Arsyadi, A. Q. (2017). Identifikasi Persebaran Air Lindi di TPA Ngipik Kabupaten Gresik Dengan Menggunakan Metode Resistivitas 2D Konfigurasi Wenner-Schlumberger. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Teknik Geofisika.
- Badan Standarisasi Nasional. (2004). Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid, TSS) Secara Gravimetri (SNI 06-6989.3-2004). *Jakarta: BSN*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah (SNI 6989.59:2008). *Jakarta: BSN*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2009). Cara Uji Kadmium (Cd) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – Nyala (SNI 6989.16:2009). *Jakarta: BSN*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2009). Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD) (SNI 6989.72:2009). *Jakarta: BSN*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2009). Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan Refluks Tertutup Secara Titrimetri (SNI 6989.73:2009). *Jakarta: BSN*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). Cara Uji Air Raksa atau Merkuri (Hg) Secara Spektrometri Serapan Atom (SSA) - Uap Dingin (SNI 6989-78:2019). *Jakarta: BSN*.

- Badan Standarisasi Nasional. (2004). Cara Uji Derajat Keasaman (pH) dengan Menggunakan Alat pH Meter (SNI 06-6989.11-2004). *Jakarta: BSN*.
- BAPPEDA, K. G. (2016). RPJMD Kabupaten Gresik Tahun 2016-2021. Gresik, Jawa Timur. *BAPPEDA Kabupaten Gresik*.
- Chounlamany, V., Tanchuling, M. A., & Inoue, T. (2019). Water quality and pollution loading of a river segment affected by landfill leachate and domestic waste. *Internasional Journal of Enviromental Studies*.
- Citrasari, N., & Hariyanto, S. (2014). Heavy Metals of Landfill Leachate in Klotok KedriI, East Java. *echnology in Environmental Sanitation*, Vol. 4 Issue 1, p7-12. 6p.
- Damanhuri , E., & Padmi, T. (2015). *Pengolahan Sampah Terpadu Edisi Kedua*. Bandung: ITB PRESS.
- Damanhuri, E. (2008). *Diktat Landfilling*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Damanhuri, E., & Padmi, T. (2010). *Diktat Pengolahan Sampah*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Daryat, F., Zul, D., & Febrianti, B. L. (2017). Analisis Kualitas Air Lindi Asal Tempat Embuangan Akhir Sampah Kota Pekanbaru Berdasarkan Parameterbiologi, Fisika Dan Kimia. *Jurnal Riau Biologi*, 68-80.
- Diniyanti, N. D. (2018). Studi Perencanaan Instalasi Pengolahan Limbah Lindi Pada TPA Mnggar Kota Balikpapan. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Malang: Jurusan Teknik Sipil.
- Direktur Pengembangan PLP. (2011). Materi 1 Bidang Sampah. *Diseminasi dan Sosialisasi Keteknikan Bidang PLP*.
- Dirjen Cipta Karya. (2017). Panduan Perencanaan Teknik Terinci Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja (Buku A). *Jakarta Utara: Kementrian Pekerjaan*.
- Dirjen Cipta Karya. (2018). Panduan Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (Buku B). *Jakarta Utara: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya Dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Fajri , N. R., Hadiwidodo, M., & Rezagama, A. (2017). Pengolahan Lindi Dengan Metode Koagulasi-Flokulasi Menggunakan Koagulan Alumunium Sulfat

- dan Metode Ozonisasi Untuk Menurunkan Parameter BOD, COD, dan TSS (Studi Kasus Lindi TPA Jatibaring). *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol.6, No.1.
- Ferronato, N., Torretta, V., Regazzi, M., & Rada, E. C. (2017). Waste Mismanagement in Developing Countris: A Case Study of Enviromental Contaminayion. *U.P.B. Sci. Bull., Series D*, Vol. 79, Iss. 3.
- Kementerian Kesehatan RI. (2011). *Instalasi Pengolahan Air Limbah Dengan Sistem Biofilter Anaerob Aerob Pada Fasilitas Pelayanan Kesehatan*. Jakarta: Direktorat Bina Pelayanan Penunjang Medik dan Sarana Kesehatan.
- Lie, W., Hua, T., Zhou, Q., Zhang, S., & Li, F. (2010). Treatment of stabilized landfill leachate by the combined process of coagulation/flocculation and powder activated carbon adsorption. *Desalination*, 56-62.
- Mara, D. (2003). Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries. *University of Leeds*, 1-311.
- Meidinariasty, A., Rusdianasari, & Bow, Y. (2019). Treatment of Leachate from Garbage using Electrocoagulation Type MP-P (MonoPolar-Paralel) Methode. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-8.
- Metcalf, & Eddy. (1991). *Wastewater Engineering Treatment Disposal and Reuse, 3rd edition*. New York : McGraw Hill.
- Mishra, S., Ohri, A., & Tiwary, D. (2018). Leachate characterisation and evaluation of leachate pollution potential of urban municipal landfill sites. *International Journal of Environment and Waste Management*.
- Moerdjoko, S., & Widyatmoko, H. (2002). Menghindari, Mengolah dan Menyingkirkan Sampah. *PT. Dinastindo Adiperkasa Internasional*.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 64 Tahun. (2020). Standar Satuan Harga Barang/Jasa Pemerintah Provinsi Jawa Timur Tahun 2021.
- Peraturan Menteri LHK Nomor P.59 Tahun. (2016). Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah. *Jakarta: Pemerintahan Pusat*.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 03 Tahun. (2013). Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga.

- Peraturan Menteri PUPUR No. 28. (2016). pedoman analisis harga satuan pekerjaan bidang pekerjaan Umum.
- Prameswari, P., & Purnomo, A. (2014). Perencanaan Pelayanan Air Limbah Komunal di Krasak Kecamatan Jatibaring Kota Indramayu. *Jurnal Teknik Pomits*, Vol 3, No 2.
- Rezagama, A., Purwono, & Hadiwidodo, M. (2017). Pengolahan Air Lindi TPA Jatibaring Menggunakan Feton ($H_2O_2 - Fe$). *Jurnal Resipitasi*, Vol. 14 No.1.
- Sasse, L. (1998). Decentralized Wastewater Treatment in Developing Countries. *New Delhi : BORDA*.
- SIPSN. (2021). Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah. *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional*.
- Taha, H. A. (2007). Operations Research: An Introduction. . *Eighth Edition: University of Arkansas, Fayetteville*.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Virgil, S. (1993). Integrated Solid Waste Management: Engineering Principle and Management Issue. *McGraw Hill Inc., New York*.
- Thomas , R. A., & Santoso, D. H. (2019). Potensi Pencemaran Air Lindi Terhadap Air Tanah dan Teknik Pengolahan Air Lindi di TPA Banyuroto Kabupaten Kulon Progo. *Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa, Jurnal Science Tech* Vol. 5, No. 2.
- Tiara, D. R. (2018). Pengaruh Model Tempat Sampah Pencacah Plastik Terhadap Penurunan Volume dan Peningkatan Nilai Ekonomi Sampah. *Skripsi Thesis, Poltekkes Kemenkes Yogyakarta*.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18. (2008). Pengelolaan Persampahan.
- Vaccari, M., Tudor, T., & Vinti, G. (2019). Characteristics of leachate from landfills and dumpsites in Asia, Africa and Latin America: an overview. *Architectural Engineering and Mathematics*.
- Wang , K., Li, L., & Wu, D. (2018). Treatment of Landfill Leachate Using Activated Sludge Technology: A Review. *Hindawi Archaea*, 1-10.