

**PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH KOMUNAL DI
DESA DEPOK KECAMATAN BENDUNGAN KABUPATEN TRENGGALEK**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh

RATIH ARUM SARI
NIM. H05217020

**PRODI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA**

2022

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

NAMA : Ratih Arum Sari
NIM : H05217020
FAK/PRODI : FST / Teknik Lingkungan
Angkatan : 2017

Dengan ini menyatakan bahwa tidak melakukan plagiasi dalam penulisan Tugas Akhir saya yang berjudul “Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal di Desa Depok Kecamatan Bendungan Kabupaten Trenggalek”.

Demikian 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, 10 Juli 2022

A handwritten signature in black ink is written over a 9000 Rupiah postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'SEPULUH RIBU RUPIAH' and 'TEMPEL'. The signature is stylized and covers most of the stamp's details.

(Ratih Arum Sari)
H05217020

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir Oleh,

NAMA : Ratih Arum Sari

NIM : H05217020

JUDUL : Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal Di Desa Depok
Kecamatan Bendungan Kabupaten Trenggalek

Ini telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Surabaya, 21 Juni 2022

Dosen Pembimbing I



Arqowi Priyadi, M.Eng
NIP. 198701032014031001

Dosen Pembimbing II



Dyah Ratri Nurmaningsih, M.T
NIP. 198503222014032003

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Oleh,

Nama : Ratih Arum Sari

NIM : H05217020

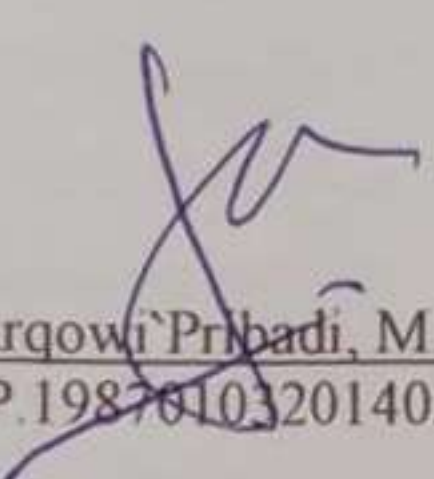
Judul : Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal Di Desa Depok
Kecamatan Bendungan Kabupaten Trenggalek

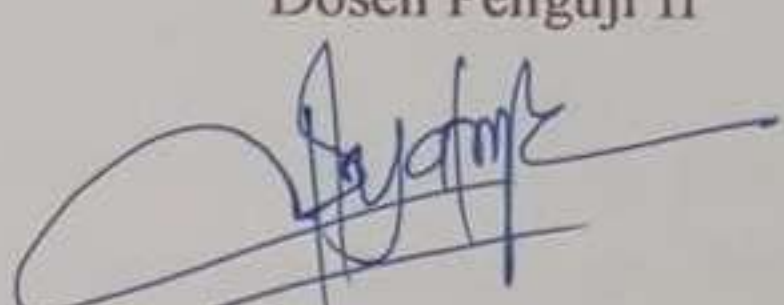
Telah dipertahankan di depan tim penguji skripsi
Surabaya, 11 Juli 2022

Mengetahui,
Dosen Penguji,

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II


Arqowi Priyadi, M.Eng
NIP.198701032014031001


Dyah Ratri Nurmaningsih, M.T
NIP.198503222014032003

Dosen Penguji III

Dosen Penguji IV


Sulistiya Nengse, MT
NIP. 199010092020122019


Yusrianti, MT
NIP. 198210222014032001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya



Dr. A. Saepul 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 : Ratih Arum Sari
NIM : H09217020
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi / Teknik Lingkungan
E-mail address : sratiharum@gmail.com

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

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

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal di Desa Depok
Kecamatan Brundungan Kabupaten Trenggalek

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, 18 Juli 2022

Penulis

(Ratih Arum Sari)

ABSTRAK

Air limbah domestik merupakan air sisa dari suatu kegiatan seperti mencuci pakaian, mencuci alat makan, mandi dan kakus. Air limbah tersebut mengandung beberapa bahan pencemar yang akan mengakibatkan penurunan kualitas badan air seperti sungai yang ada di sekitar. Tujuan dari penelitian ini yaitu merencanakan pembangunan unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal di Desa Depok, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek beserta perhitungan volume bangunan dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang dibutuhkan serta standar operasional prosedur Sebagian acuan untuk mengoperasikan IPAL komunal di Desa Depok. Metode penelitian menggunakan data primer dari hasil pengujian kualitas air limbah untuk menentukan alternatif pengolahan air limbah dan data sekunder dari data penduduk yang diproyeksikan untuk mendapatkan debit air limbah yang digunakan sebagai perencanaan untuk menentukan dimensi bangunan. Teknologi yang dipilih yaitu sumur pengumpul, unit pengendap awal, biofilter anaerob-aerob, unit pengendap akhir, pompa desinfeksi dan bak kontrol. Pemilihan teknologi pengolahan didasarkan karena unit ini memiliki keunggulan dalam meremoval kadar pencemar organik dengan tingkat efisiensi yang tinggi dan kebutuhan lahan yang tidak terlalu luas. Hasil penelitian yang didapat berupa gambar desain (DED) unit IPAL, dimensi total bangunan pengolah seluas 1173,6 m² dengan panjang 128 m dan lebar 12 m, spesifikasi bahan yang digunakan, serta rencana anggaran biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan konstruksi unit IPAL yaitu sebesar Rp 2.667.154.000,00. Standar operasional prosedur dan pemeliharaan IPAL dengan memastikan setiap unit berfungsi dengan baik, menguras lumpur sesuai dengan waktu yang ditentukan dan memeriksa saluran inlet dan outlet.

Kata kunci: Biofilter Anaerob-Aerob, pengolahan kombinasi, amoniak, Air limbah domestik, perencanaan

ABSTRACT

Domestic wastewater is residual water from activities such as washing clothes, washing cutlery, bathing and latrines. The waste water contains several pollutants that will result in a decrease in the quality of water bodies such as rivers in the vicinity. The purpose of this study is to plan the construction of a communal Wastewater Treatment Plant (IPAL) unit in Depok Village, Bendungan District, Trenggalek Regency along with the calculation of the building volume and the required Budget Plan (RAB) as well as standard operating procedures. Some of the references for operating communal WWTPs in the village Depok. The research method uses primary data from the results of wastewater quality testing to determine alternative wastewater treatment and secondary data from projected population data to obtain wastewater discharge which is used as a plan to determine the dimensions of the building. The technology chosen is collecting well, initial settling unit, anaerobic-aerobic biofilter, final settling unit, disinfection pump and control basin. The choice of processing technology is based on the fact that this unit has the advantage of removing organic pollutant levels with a high level of efficiency and not too large a land requirement. The results obtained in the form of a design drawing (DED) of the WWTP unit, the total dimensions of the processing building covering an area of 1173,6 m² with a length of 128 m and a width of 12 m, the specifications of the materials used, and the budget plan required for the construction of the WWTP unit, which is Rp 2.667.154.000,00. Standard operating procedures and maintenance of WWTP by ensuring each unit is functioning properly, draining the sludge according to the specified time and checking the inlet and outlet channels.

Keywords: Anaerobic-Aerobic Biofilter, combination treatment, ammonia, domestic wastewater, planning

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iii
MOTTO	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Perencanaan.....	4
1.4. Manfaat Perencanaan.....	4
1.5. Batasan Perencanaan	5
BAB 2.....	6
TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Air Limbah	6
2.2. Sumber Air Limbah.....	6
2.3. Karakteristik Air Limbah Domestik.....	9
2.3.1. Karakteristik Fisika	9
2.3.2. Karakteristik Kimia.....	11
2.3.3. Karakteristik Biologi.....	13
2.3.4. Baku Mutu Air Limbah.....	13
2.4. Metode Proyeksi Penduduk.....	14
2.4.1. Metode Aritmatik.....	14
2.4.2. Metode Geometrik	15
2.4.3. Metode Eksponensial	16

2.5.	Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik	16
2.5.1.	Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Setempat	16
2.5.2.	Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Terpusat	17
2.6.	Teknologi Pengolahan Air Limbah	18
2.6.1.	Pengolahan Pretreatment.....	18
2.6.2.	Pengolahan Tahap Pertama	21
2.6.3.	Pengolahan Tahap Kedua.....	24
2.6.4.	Pengolahan Tahap Ketiga	33
2.7.	Integrasi Keilmuan dengan Perspektif Islam.....	36
2.8.	Penelitian Terdahulu.....	37
BAB 3.....		42
METODOLOGI PERENCANAAN		42
3.1.	Waktu Pelaksanaan.....	42
3.2.	Lokasi Pelaksanaan	42
3.3.	Kerangka Pikir.....	44
3.4.	Tahapan dan Metode Pelaksanaan.....	44
3.4.1.	Tahap Persiapan	46
3.4.2.	Tahap Pelaksanaan	46
3.5.	Tahapan Pengolahan data	47
3.5.1.	Analisis Kualitas Air Limbah Domestik	47
3.5.2.	Proyeksi Penduduk.....	47
3.5.3.	Perhitungan Debit Air Bersih.....	48
3.5.4.	Perhitungan Debit Air Limbah.....	49
3.5.5.	Penentuan Alternatif Pengolahan.....	50
3.5.6.	Pemilihan Kriteria Desain	51
3.5.7.	Perhitungan Dimensi Unit Pengolahan	51
3.5.8.	Penggambaran DED.....	51
3.5.9.	Penyusunan <i>Bill of Quantity</i> dan Rencana Anggaran Biaya	51
3.5.10.	Penyusunan SOP	52
BAB 4.....		53
GAMBARAN UMUM WILAYAH PERENCANAAN		53

4.1.	Letak Geografis	53
4.2.	Kependudukan.....	53
4.3.	Fasilitas Umum.....	54
4.4.	Kondisi Eksisting Air Limbah.....	55
4.5.	Lokasi Perencanaan	56
BAB 5.....		59
HASIL DAN PEMBAHASAN		59
5.1.	Analisis Kualitas Dan Kuantitas Air Limbah Domestik	59
5.1.1	Kualitas Air Limbah.....	60
5.1.2	Analisis Kuantitas Air Limbah.....	61
5.1.3	Pemilihan Alternatif Pengolahan	68
5.2.	Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah	83
5.2.1	Desain Unit Sumur Pengumpul.....	84
5.2.2	Desain Pompa.....	86
5.2.3	Desain Unit Saluran Bar Screen.....	87
5.2.4	Desain Unit Pengendap Awal	93
5.2.5	Desain Unit Biofilter Anaerob	98
5.2.6	Desain Unit Biofilter Aerob	104
5.2.7	Desain Unit Pengendap Akhir.....	111
5.2.8	Desain Pompa Dan Bak Desinfektan	116
5.2.9	Desain Unit Bak Kontrol.....	123
5.2.10	Rekapitulasi Desain.....	128
5.2.11	Profil Hidrolis.....	132
5.2.12	Keseimbangan Massa Unit Pengolahan	146
5.3.	Bill of Quantity (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya	156
5.4.	Petunjuk Operasional dan Perawatan IPAL	160
BAB 6.....		161
KESIMPULAN DAN SARAN		161
6.1.	Kesimpulan.....	161
6.2.	Saran	161
DAFTAR PUSTAKA		xvi

LAMPIRAN 1.....	i
LAMPIRAN 2.....	i
LAMPIRAN 3.....	i



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Debit Air Limbah Menurut Kategori Kota	7
Tabel 2. 2 Debit Air Limbah Industri.....	8
Tabel 2. 3 Baku Mutu Air Limbah Domestik	14
Tabel 2. 4 Kriteria Desain Unit Bar Screen	20
Tabel 2. 5 Nilai Koefisien Kekasaran Manning.....	20
Tabel 2. 6 Kriteria Desain Batang pada Unit Penyaring	20
Tabel 2. 7 Kriteria Bak Pengendap Awal.....	21
Tabel 2. 8 Kriteria Desain Unit Flotasi	22
Tabel 2. 9 Kriteria Desain Unit Koagulasi.....	23
Tabel 2. 10 Kriteria Desain Unit Flokulasi	23
Tabel 2. 11 Kriteria Desain <i>Rotating Biological Contactor</i>	25
Tabel 2. 12 Kriteria Desain Biofilter Anaerob-Aerob	27
Tabel 2. 13 Kriteria Desain MBBR.....	31
Tabel 2. 14 Kriteria Desain Pengolahan Sekunder	32
Tabel 2. 15 Kriteria Bak Kontrol	35
Tabel 2. 16 Penelitian Terdahulu	37
Tabel 3. 1 Tabel Data Primer	46
Tabel 3. 2 Data Sekunder	46
Tabel 3. 3 Nilai PE Setiap Kegiatan.....	48
Tabel 4. 1 Jumlah Penduduk di Desa Depok.....	54
Tabel 4. 2 Jumlah Fasilitas Pendidikan di Desa Depok	54
Tabel 5. 1 Hasil Uji Laboratorium.....	61
Tabel 5. 2 Perbandingan Nilai Korelasi dari Ketiga Metode	64
Tabel 5. 3 Proyeksi Pertumbuhan Penduduk (Tahun 2021-2040)	65
Tabel 5. 4 Tabel Penduduk Ekuivalen Total	66
Tabel 5. 5 Efisiensi Removal	71
Tabel 5. 6 Efisiensi Removal pada Alternatif Pengolahan Biofilter Aerob-Anaerob	74

Tabel 5. 7 Efisiensi Removal pada Alternatif Pengolahan <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i>	74
Tabel 5. 8 Hasil Efisiensi Removal Tiap Alternatif	76
Tabel 5. 9 Pembobotan terhadap teknologi Pengolahan	76
Tabel 5. 10 Removal Yang Dibutuhkan Unit Biofilter Anaerob-Aerob	78
Tabel 5. 11 Tabel Efisiensi <i>Removal Barscreen</i>	80
Tabel 5. 12 Efisiensi Removal Pengendap Awal	81
Tabel 5. 13 Efisiensi Removal Biofilter Aerob-Anaerob.....	81
Tabel 5. 14 Efisiensi Removal Desinfeksi	82
Tabel 5. 15 Efisiensi Removal Bak Kontrol	82
Tabel 5. 16 Rekapitulasi Waktu Detensi Unit IPAL	128
Tabel 5. 17 Rekapitulasi Lahan Unit IPAL.....	128
Tabel 5. 18 Hasil Perhitungan Profil Hidrolis.....	144
Tabel 5. 19 Persetimbangan Massa pada Sumur Pengumpul	149
Tabel 5. 20 Pertimbangan Massa pada Pengendap Awal	150
Tabel 5. 21 Pertimbangan Massa pada Biofilter Anaerob-Aerob	151
Tabel 5. 22 Pertimbangan Massa pada Pengendap Akhir.....	152
Tabel 5. 23 Pertimbangan Massa pada Desinfeksi.....	153
Tabel 5. 24 Pertimbangan Massa pada Bak Kontrol.....	154
Tabel 5. 25 Uraian Tahapan Pekerjaan Konstruksi IPAL	156
Tabel 5. 26 Rencana Anggaran Biaya.....	158
Tabel 5. 27 Permasalahan yang Mungkin timbul dan Cara Penanganannya	xi

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian.....	43
Gambar 3. 2 Kerangka Pikir.....	44
Gambar 3. 3 Tahap Penelitian.....	45
Gambar 4. 1 Air Limbah Rumah Tangga masuk Ke Pipa.....	55
Gambar 4. 2 Air Didalam Pipa Langsung ke Badan Air.....	55
Gambar 4. 3 Peta Lokasi Perencanaan.....	57
Gambar 4. 4 Peta Kontur Desa Depok.....	58
Gambar 5. 1 Diagram Alir Pengolahan Rotating Biological Contactor.....	69
Gambar 5. 2 Diagram Alir Pengolahan Biofilter Aerob-Anaerob.....	70
Gambar 5. 3 Diagram Alir Pengolahan Moving Bed Biofilm Reactor.....	71
Gambar 5. 4 Tampak Atas Unit Sumur Pengumpul.....	91
Gambar 5. 5 Potongan Unit Sumur Pengumpul.....	92
Gambar 5. 6 Tampak Atas Unit Pengendap Awal.....	96
Gambar 5. 7 Potongan Unit Pengendap Awal.....	97
Gambar 5. 8 Tampak Atas Unit Biofilter Anaerob.....	102
Gambar 5. 9 Potongan Unit Biofilter Anaerob.....	103
Gambar 5. 10 Tampak Atas Unit Biofilter Aerob.....	109
Gambar 5. 11 Potongan Biofilter Aerob.....	110
Gambar 5. 12 Tampak Atas Bak Pengendap Akhir.....	114
Gambar 5. 13 Potongan Bak Pengendap Akhir.....	115
Gambar 5. 14 Tampak Atas Bak Kontrol.....	126
Gambar 5. 15 Potongan Bak Kontrol.....	127

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air merupakan komponen penting bagi makhluk hidup terutama manusia. Dengan air, segala kebutuhan dan aktivitas manusia akan terpenuhi. Manusia memanfaatkan air untuk minum, bercocok tanam, mandi, cuci, kakus dan lain sebagainya. Namun penggunaan air tersebut menghasilkan air limbah berupa air dari toilet (*black water*) dan air limbah dari kegiatan dapur seperti mencuci (*grey water*). Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 68 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah menyebutkan air limbah domestik merupakan air dari sisa kegiatan rumah tangga, perkantoran, rumah makan, perdagangan, apartemen dan asrama. Menurut Mara (2004), air limbah domestik adalah air yang telah digunakan oleh masyarakat. Penambahan semua bahan pada air seperti dari tubuh manusia (limbah kotoran dan urin dengan air yang digunakan untuk *flushing toilet*, dan *sludge*) serta air limbah yang dihasilkan dari mencuci pakaian, mandi, cucian persiapan makanan dan pembersihan terhadap peralatan dapur).

Sanitasi merupakan bagian penting dalam kehidupan sehari-hari. Menciptakan lingkungan yang bersih dan nyaman diperlukan sanitasi yang baik. Sanitasi lingkungan merupakan upaya kesehatan masyarakat untuk menjaga dan memantau faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi tingkat kesehatan. Cara menciptakan lingkungan yang sehat, salah satunya menerapkan sanitasi yang baik seperti pengelolaan air limbah domestik, persampahan dan drainase. Dengan meningkatnya jumlah penduduk dalam suatu lingkungan, maka air limbah yang dihasilkan suatu pemukiman atau kampung akan meningkat. Membuang air limbah sembarang mempengaruhi badan air akibat kontaminasi zat pencemar (Safriani dan Silvia 2018).

Kabupaten Trenggalek terletak di Provinsi Jawa Timur. Untuk memenuhi sanitasi lingkungan yang baik pada dokumen Strategi Sanitasi Kabupaten (SSK) Kabupaten Trenggalek (2012), memiliki misi meningkatkan kualitas dan kuantitas pengolahan air limbah dengan merencanakan pengolahan air limbah menggunakan sistem *on-site* dan *off-site*. Untuk mewujudkan misi tersebut Kabupaten Trenggalek memiliki strategi meningkatkan akses masyarakat terhadap sarana dan prasarana pengolahan air limbah baik sistem *on-site* maupun *off-site*. Salah satu wilayah yang akan dibangun instalasi pengolahan air limbah dengan sistem *on-site* adalah Desa Depok, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek. Rencana pembangunan instalasi pengolahan air limbah juga belum terlaksana sampai saat ini. Sehingga banyak masyarakat membuang air limbah domestik langsung ke badan air tanpa melalui proses pengolahan. Dalam jangka panjang apabila tidak dilakukan pengolahan pada air limbah dengan baik akan mencemari lingkungan sekitar terutama di Desa Depok.

Desa Depok menurut buku Kecamatan Bendungan dalam angka 2021 (BPS 2021), memiliki jumlah penduduk sebanyak 4205 jiwa. Jumlah tersebut akan bertambah seiring pertumbuhan penduduk dari tahun ke tahun. Sehingga penggunaan air bersih akan meningkat dan berbanding lurus dengan air limbah yang dihasilkan juga akan bertambah. Selain itu di Desa Depok terdapat area wisata Putri Maron yang berlokasi di sungai Maron, Desa Depok. Apabila air buangan atau air limbah yang dihasilkan masyarakat desa Depok dibuang ke sungai secara langsung, menyebabkan sungai tercemar dan mengurangi nilai daya tarik wisatawan yang akan datang ke wisata Putri Maron.

Perencanaan instalasi pengolahan air limbah komunal juga akan dibangun di Desa Depok. Sehingga menurut Santo dkk. (2019), perlu untuk merencanakan instalasi pengolahan air limbah yang bertujuan untuk mengurangi konsentrasi bahan pencemar sebelum air limbah masuk ke badan air. Meskipun limbah terbentuk akibat ulah manusia, namun manusi juga diberikan Amanah untuk menjaga kelestarian lingkungan denga melakukan

upaya perbaikan sebagaimana dijelaskan pada al-Quran pada surah Al-Baqarah ayat 11 yang berbunyi:

وَإِذَا قِيلَ لَهُمْ لَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ قَالُوا إِنَّمَا نَحْنُ مُصْلِحُونَ

Artinya: *“Dan bila dikatakan kepada mereka: “Janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi”. Mereka menjawab: “Sesungguhnya kami orang-orang yang mengadakan perbaikan.”*

Menurut tafsir Ar-Rabi’ bin Anas, Qatadah dan Ibnu Juraij, dari Mujahid, ia mengatakan: “Mereka sedang berbuat maksiat kepada Allah Ta’ala, lalu dikatakan kepada mereka, “Janganlah kalian melakukan ini dan itu”. Maka mereka pun menjawab, “Sesungguhnya kami berada pada jalan hidayah dan kami pun sebagai orang yang mengadakan perbaikan”(Syariah 2022). Berdasarkan latar belakang tersebut maka diambil penelitian dengan judul Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal di Desa Depok Kecamatan Bendungan Kabupaten Trenggalek.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diambil dari latar belakang tersebut berupa:

- a. Bagaimana kualitas air limbah domestik yang dihasilkan di Desa Depok?
- b. Bagaimana perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) komunal yang sesuai di Desa Depok?
- c. Berapa rencana anggaran biaya (RAB) untuk pembangunan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) komunal di Desa Depok?
- d. Bagaimana standar operasional prosedur (SOP) pengolahan air limbah (IPAL) komunal di Desa Depok ?

1.3. Tujuan Perencanaan

Tujuan dilakukannya penelitian ini yakni:

- a. Mengetahui kualitas air limbah domestik yang dihasilkan di Desa Depok.
- b. Menentukan perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) komunal yang sesuai di Desa Depok.
- c. Mengestimasi *bill of quantity* (BOQ) dan rencana anggaran biaya (RAB) instalasi pengolahan air limbah (IPAL) komunal di Desa Depok.
- d. Membuat standar operasional prosedur untuk instalasi pengolahan air limbah (IPAL) komunal di Desa Depok.

1.4. Manfaat Perencanaan

Manfaat yang diperoleh dari perencanaan ini:

- a. Manfaat bagi Mahasiswa

Manfaat yang diperoleh bagi mahasiswa dalam penelitian ini:

- 1) Merupakan peluang bagi mahasiswa untuk mengembangkan kemampuan dan keahlian yang didapatkan di perkuliahan.
- 2) Mahasiswa dapat mengetahui dan mempelajari kondisi sanitasi di Desa Depok.

- b. Manfaat bagi Pemerintah

Manfaat yang diperoleh bagi pemerintah Kabupaten Trenggalek dalam penelitian ini:

- 1) Bahan pertimbangan untuk perencanaan instalasi pengolahan air limbah.
- 2) Literatur perencanaan pengolahan air limbah domestik.

- c. Manfaat bagi Masyarakat

- 1) Pengetahuan tentang pengolahan air limbah.
- 2) Meningkatkan pelayanan sarana dan prasarana pengolahan air limbah.

1.5. Batasan Perencanaan

Penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

- a. Wilayah studi pada penelitian ini berada di Desa Depok, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek.
- b. Baku mutu air limbah mengacu pada peraturan Menteri Lingkungan hidup Republik Indonesia nomor 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- c. Aspek yang dibahas berupa aspek teknis mengenai perencanaan detail instalasi pengolahan air limbah komunal.
- d. Gambar teknis meliputi:
 - a. *Layout* instalasi pengolahan air limbah komunal.
 - b. Denah unit
 - c. Potongan memanjang dan potongan melintang unit.
- e. Penentuan rencana anggaran biaya (RAB) mengacu pada harga satuan dasar upah dan meterial Kabupaten Trenggalek tahun 2020.
- f. Standar operasional dan pemeliharaan instalasi pengolahan air limbah.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air Limbah

Air limbah menurut Lin dan Lee (2007), juga dikenal sebagai "limbah", berasal dari air limbah rumah tangga, limbah manusia dan hewan, air limbah industri, badai limpasan, dan infiltrasi air tanah. Air limbah pada dasarnya adalah aliran air bekas dari suatu komunitas. Menurut beratnya terdiri dari 99,94% air dan 0,06% sisanya adalah material larut atau tersuspensi di dalam air. Air limbah berupa air yang telah tercemar dari berbagai kegiatan.

Air limbah didefinisikan sebagai air sumber yang telah digunakan masyarakat untuk berbagai aktivitas. Menurut sumbernya air limbah merupakan kombinasi dari cairan atau air yang terbawa limbah yang dibuang dari tempat tinggal, institusi, perusahaan komersial dan industri yang mungkin terbawa pada air tanah dan air permukaan. Ketika air limbah yang tidak diolah terakumulasi dan dibiarkan menjadi septik, penguraian bahan organik yang dikandungnya akan menyebabkan kondisi gangguan termasuk produksi gas berbau busuk. Selain itu, air limbah yang tidak diolah mengandung banyak mikroorganisme patogen yang hidup di saluran usus manusia (Tchobanoglous, Burton, dan Stensel 2003).

Air limbah merupakan air sisa atau air buangan dari kegiatan yang berasal dari pemukiman maupun industri. Air limbah menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 68 Tahun 2016, merupakan air sisa dari suatu hasil atau usaha dan/atau kegiatan. Sumber dari air limbah berasal dari rumah tangga, industri dan mengandung bahan atau zat yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan merusak kelestarian lingkungan hidup.

2.2. Sumber Air Limbah

Menurut sumbernya, air limbah terbagi atas beberapa jenis. Berikut jenis – jenis air limbah:

a. Air Limbah Rumah Tangga

Air limbah rumah tangga atau air limbah domestik berupa air limbah dari sisa kegiatan rumah tangga atau pemukiman. Selain itu menurut Marhadi (2016), komposisi air limbah rumah tangga atau *domestic waste water* terdiri dari air bekas cucian dapur, kamar mandi, serta tinja dan urin yang sebagian besar bahan organik. Berikut limbah cair yang umumnya dihasilkan dari kegiatan rumah tangga:

- 1) *Grey water*, berasal dari limbah kegiatan rumah tangga berupa mandi dan mencuci dengan kadar pencemar rendah (*light*)
- 2) *Black water*, berasal dari kegiatan rumah tangga yang dihasilkan dari manusia seperti tinja dan urin
- 3) *Clean water*, berasal dari air limbah AC dan kulkas dengan kapasitas yang berjumlah sedikit sehingga sulit diolah dan hanya dimanfaatkan kembali.

Menentukan debit air limbah domestik dengan menghitung kepadatan penduduk dan rata-rata penggunaan air limbah dalam sehari. Berikut debit air limbah menurut kategori kota dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Debit Air Limbah Menurut Kategori Kota

No .	Kategori Kota	Jumlah Penduduk (jiwa)	Tingkat penggunaan air bersih (L/orang/hari)	Debit Air Limbah (L/orang/hari)
1	Kota Metropolitan	> 1.000.000	190	152
2	Kota Besar	500.000 - 1.000.000	170	136
3	Kota Sedang	100.000 - 500.000	150	120
4	Kota Kecil	20.000 - 100.000	130	104
5	Kota Kecamatan	3.000 - 20.000	100	80
6	Kota Pusat Pertumbuhan	< 3.000	30	24

(Sumber: IUWASH, 2016)

b. Air Limbah Non Domestik

Air limbah non domestik atau kotapraja meliputi air limbah dari kegiatan perdagangan, perkantoran, tempat ibadah serta dari kelembagaan seperti sekolah, rumah sakit dan lain-lain. Estimasi untuk debit air limbah komersial berkisar dari 7,5 hingga 14 m³ /ha.d (meter kubik per hektar per hari) untuk kabupaten kecil dengan jumlah bisnis dan institusi yang terbatas (Tchobanoglous dkk. 2003).

c. Air Limbah Industri

Air limbah industri (*Industrial wastewater*), air limbah yang berasal dari berbagai jenis industri akibat proses produksi ini pada umumnya lebih sulit dalam pengolahannya serta mempunyai variasi yang luas (Marhadi 2016). Menurut Tchobanoglous dkk. (2003) umumnya debit air limbah industri sebesar 85% hingga 95% dari air bersih yang digunakan. Perkiraan debit air limbah industri rata - rata sebesar 7.5 hingga 14 m³/ha.d untuk industri kecil dan 14 hingga 28 m³/ha.d untuk industri menengah. Debit air limbah industri dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2. 2 Debit Air Limbah Industri

Jenis Industri	Rata - Rata Aliran (m ³)
Bubur kayu dan kertas	
Bubur kayu dan kertas	250 - 800
bubur kertas	120 - 160
industri Bahan Kimia	
Amoniak	100 - 130
Bensin	7 - 30
Karbon dioksida (CO ₂)	60 - 90
Laktosa	600 - 800
Sulfur/Belerang	8 - 10
Industri Kalengan	
Buah - buahan, Buah Pear	15 - 20
Sayur Hijau	50 - 70
Lain Buah - Buahan dan	4 - 35

Jenis Industri	Rata - Rata Aliran (m ³)
Sayur	
Makanan dan Minuman	
Bir	10 - 16
Minuman Keras	60 - 80
Pengepakan Daging	15 - 20
Produksi Susu	20-Oct
Roti	2 - 4
Tekstil	
Pencelupan	30 - 60
Pengelantangan	200 - 300

(Sumber: Tchobanoglous, 1981)

2.3.Karakteristik Air Limbah Domestik

Karakteristik air limbah menurut Mubin, dkk., (2016), karakteristik air limbah terbagi menjadi 3, sebagai berikut:

2.3.1. Karakteristik Fisika

Karakter fisika yaitu karakter yang dapat diamati tanpa bantuan mikroskop. Berikut merupakan karakteristik fisik air limbah:

a. Padatan (*solid*)

Padatan pada air limbah dapat diketahui dengan menguji kandungan *total solid suspended* (TSS) dan *total dissolved solid* (TDS). *Total suspended solid* (TSS) merupakan residu air limbah yang tertahan pada kertas saring atau filter berdiameter 24 mm dan ukuran pori 0,2 mikrometer. TSS dihitung dari hasil pengeringan residu yang tertahan pada filter dan diletakkan pada cawan kemudian dioven selama minimal satu jam pada suhu 103°C hingga 105°C. *Total dissolved solid* (TDS) merupakan ukuran dari semua partikel terlarut yang lebih kecil dari 2 mikron dalam sampel air yang diuji dan filtratnya dikeringkan selama 1 jam dalam oven. TDS mencakup semua zat anorganik dan organik dalam molekul ionik. Kontaminasi TDS biasanya terdiri dari zat organik, garam organik, dan gas terlarut (Lin dan Lee 2007).

b. Bau

Bau merupakan parameter untuk mengetahui air limbah tersebut telah mengalami pembusukan. Bau dapat dihasilkan dan dilepaskan dari hampir semua fase pengumpulan, pengolahan, dan pembuangan air limbah. Air limbah domestik biasanya mengandung senyawa organik dan anorganik yang cukup untuk menyebabkan masalah bau. Bau yang bersumber dari senyawa anorganik diantaranya adalah hidrogen sulfida dan amonia sedangkan bau yang berasal dari senyawa organik biasanya merupakan hasil dari aktivitas biologis yang menguraikan bahan organik dan membentuk berbagai gas yang sangat tidak sedap (Rahimi Pordanjani, Jalil Piran, dan Sadat Mirza Qavvami 2017).

c. Warna

Karakteristik yang sangat mencolok pada air limbah adalah warna yang disebabkan oleh zat organik dan *algae*. Proses pengolahan air limbah terutama berfokus pada perubahan warna. Metode yang banyak digunakan untuk menganalisis air limbah berwarna adalah analisis spektrofotometri dalam rentang UV-Vis 280 hingga 800 nm (Lin dan Lee 2007).

d. Temperatur

Parameter temperatur adalah pengukuran suhu air limbah. Sering dijumpai temperatur air limbah memiliki nilai lebih tinggi dari temperatur udara. Hal tersebut terjadi karena meningkatnya reaksi kimia sehingga menyebabkan spesies dalam air berkurang. Suhu air limbah diindikasikan sebagai parameter yang cukup utama yang berpengaruh pada pengolahan biologis, kehidupan akuatik dan kelayakan air untuk penggunaan sehari-hari. Pada dasarnya, peningkatan temperatur air limbah menyebabkan perubahan jenis ikan yang ada di badan air, penurunan saturasi oksigen dalam air, percepatan proses adsorpsi oksigen, laju aktivitas bakteri, dan laju gas yang ditransfer dari dan ke air. Temperatur mempengaruhi laju reaksi sebagian besar proses kimia dan biologi. Selain itu, temperatur tinggi dapat mempercepat

timbulnya bau. Temperatur juga mempengaruhi jenis mikroba yang terkandung dalam air limbah (Alisawi 2020).

e. Kekeruhan

Air yang bersih pada umumnya terlihat jernih. Sedangkan air limbah akan mengalami kekeruhan. Kekeruhan terjadi akibat keterbatasan cahaya yang masuk dalam air. Keterbatasan cahaya yang masuk akibat zat koloid atau zat lain yang terurai memenuhi air sehingga terjadi kekeruhan.

2.3.2. Karakteristik Kimia

Karakteristik kimia dalam air limbah dapat diketahui dengan uji kimia sesuai dengan parameter yang dibutuhkan. Berikut karakteristik kimia air limbah:

a. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

BOD atau kebutuhan oksigen biologis (KOB) adalah kadar oksigen yang diperlukan bakteri untuk melakukan dekomposisi aerobik. BOD (*Biological Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara biologis dalam satuan ppm atau mg/l. Limbah cair yang mengandung bahan organik akan mengurangi oksigen terlarut di dalam air karena bakteri aerob akan menggunakan oksigen untuk menguraikan bahan organik tersebut. Jika konsentrasi organik tinggi akan menciptakan kondisi anaerobik yang dapat menghasilkan senyawa toksik bagi hewan air dan dapat menimbulkan bau, yaitu amonia, hidrogen sulfida (H_2S), metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), dan asam asetat. Kandungan organik air limbah biasanya diukur sebagai kebutuhan oksigen biologis 5 hari (BOD_5), kebutuhan oksigen kimia, dan karbon organik total. Uji BOD_5 mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dalam sampel selama 5 hari stabilisasi biologis pada $20\text{ }^{\circ}C$ (Khotimah dkk. 2021).

b. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Analisis COD adalah menentukan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi. COD adalah salah satu parameter yang paling banyak digunakan untuk menunjukkan pencemaran zat organik pada air limbah dan air permukaan. COD didefinisikan sebagai oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk melakukan dekomposisi biologis padatan terlarut atau bahan organik dalam air limbah di bawah suhu standar. Pengukuran COD bertujuan untuk menentukan ukuran dan kebutuhan unit pengolahan air limbah dan efisiensi beberapa instalasi pengolahan. COD merupakan parameter penting dalam menganalisis parameter kualitas air, karena memberikan indeks untuk menilai dampak debit pada badan air penerima. Semakin tinggi kadar COD maka semakin tinggi pula oksidasi senyawa organik dalam sampel, yang pada akhirnya akan menurunkan kadar oksigen terlarut (DO). Penurunan DO selanjutnya dapat menyebabkan kondisi anaerobik, yang berbahaya bagi kehidupan akuatik (Isa Abba dan Elkiran 2017).

c. pH

pH adalah ukuran konsentrasi ion hidrogen dalam air. pH juga dapat didefinisikan sebagai kondisi asam atau basa air. Beberapa faktor seperti temperatur, aerasi, dan beberapa senyawa juga dapat mempengaruhi pH. pH air limbah yang baik adalah netral (7). Jika air limbah memiliki pH yang tidak netral, akan mempengaruhi proses penjernihan pada air limbah. pH air buangan dapat menentukan jenis pengolahan yang akan diberikan. Dalam pengolahan air limbah, pH merupakan kriteria penting untuk menentukan penghilangan kekeruhan dengan koagulasi, desinfeksi, penurunan kesadahan air dan pengendalian korosi (Lin dan Lee 2007).

d. Zat organik dan anorganik lainnya

Zat organik dan anorganik lain yang ikut terkandung dalam air limbah seperti *amonia*, *nitrogen*, *phospor*, protein, karbohidrat, minyak dan lemak dan logam

2.3.3. Karakteristik Biologi

Karakteristik biologi pada air limbah, berupa mikroorganisme yang ada pada air limbah. Menurut Indrayani & Rahmah (2018), mikroorganisme pada air limbah memiliki jumlah dan variasi yang beragam. Umumnya konsentrasi mikroorganisme pada air limbah sebesar 105-108 organisme/mL.

Kelompok utama mikroorganisme yang ditemukan dalam air limbah adalah bakteri, jamur, protozoa, tumbuhan dan hewan mikroskopis, dan virus. Mikroorganisme (bakteri, protozoa) bertanggung jawab dan bermanfaat untuk proses pengolahan biologis air limbah. Namun, beberapa bakteri patogen, jamur, *protozoa*, dan virus yang ditemukan di air limbah yang menyebabkan penyakit.

Organisme patogen biasanya dikeluarkan oleh manusia dari saluran pencernaan dan dibuang ke air limbah. Penyakit yang ditularkan melalui air termasuk kolera, tifus, demam paratifoid, diare, dan disentri. Jumlah organisme patogen dalam air limbah umumnya memiliki kepadatan yang rendah dan sulit untuk diisolasi dan dikenali. Oleh karena itu bakteri indikator seperti *total coliform* (TC), *fecal coliform* (FC), dan *fecal streptococcus* (FS) digunakan sebagai organisme indikator (Lin dan Lee 2007).

2.3.4. Baku Mutu Air Limbah

Karakteristik atau parameter air limbah sudah tercantum pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia nomor 68 tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik, adalah ukuran batas suatu zat pencemar yang jumlahnya sesuai ambang batas dalam air limbah yang akan dibuang ke badan air dari suatu usaha atau kegiatan. Efisiensi pengolahan limbah dapat ditentukan

dengan membandingkan *effluent* pengolahan dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Sehingga dapat diketahui pengolahan tersebut apakah sudah sesuai dengan yang direncanakan. Berikut merupakan ambang batas parameter pada air limbah domestik dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2. 3 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Kadar maksimum
pH	-	6-9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak dan Lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
<i>Total Coliform</i>	jumlah/100m L	3000
Debit	L/orang/hari	100

(Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016)

2.4. Metode Proyeksi Penduduk

Metode proyeksi penduduk diperlukan untuk merencanakan kapasitas pengolahan air limbah sampai batas yang ditentukan atau di proyeksi. Untuk menentukan proyeksi penduduk menurut buku Pedoman Perhitungan Proyeksi Penduduk dan Angka Kerja yang diterbitkan Badan Pusat Statistik (2010) dapat ditentukan dengan membandingkan metode aritmatika, metode geometrik dan metode eksponensial.

2.4.1. Metode Aritmatik

Metode perhitungan dengan cara aritmatik didasarkan pada kenaikan rata-rata jumlah penduduk dengan menggunakan data terakhir dan rata-rata sebelumnya. Dengan cara ini perkembangan dan pertambahan jumlah penduduk akan bersifat linier. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk

menghitung proyeksi penduduk serta menghitung laju pertumbuhan pada metode aritmatik:

$$P_n = P_0 (1 + r.t) \dots\dots\dots \text{rumus 2. 1}$$

$$r = \frac{1}{t} \left(\frac{P_t}{P_0} - 1 \right) \dots\dots\dots \text{rumus 2. 2}$$

Keterangan:

P_n = Jumlah penduduk pada n tahun mendatang

P_t = jumlah penduduk tahun ke t (jiwa)

P_0 = jumlah penduduk tahun ke 0 (jiwa)

r = laju pertumbuhan penduduk (% per tahun)

t = rentang waktu antara P_0 dan P_t (tahun)

2.4.2. Metode Geometrik

Proyeksi penduduk dengan metode geometrik mengasumsikan bertambah atau berkurangnya geometrik dengan menggunakan perhitungan bunga majemuk. Laju pertumbuhan penduduk dianggap tetap setiap tahunnya. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung jumlah penduduk dan laju pertumbuhan menggunakan metode geometrik:

$$P_n = P_0 (1 + r)^t \dots\dots\dots \text{rumus 2. 3}$$

$$r = \left(\frac{P_t}{P_0} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \dots\dots\dots \text{rumus 2. 4}$$

Dimana:

P_n = Jumlah penduduk pada n tahun mendatang

P_0 = Jumlah penduduk pada awal tahun data

P_t = jumlah penduduk pada akhir tahun data

n = jumlah tahun proyeksi

r = rasio pertumbuhan penduduk rata – rata per tahun

t = interval waktu tahun data

2.4.3. Metode Eksponensial

Metode eksponensial menggambarkan pertumbuhan penduduk yang akan terjadi secara sedikit demi sedikit sepanjang tahun. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan proyeksi penduduk serta laju penduduk menggunakan metode eksponensial:

$$P_n = P_0 \times e^{rt} \text{ rumus 2. 5}$$

$$r = \frac{1}{t} \ln \ln \left(\frac{P_t}{P_0} \right) \text{ rumus 2. 6}$$

Keterangan:

P_n = Jumlah penduduk pada n tahun mendatang

P_t = jumlah penduduk tahun ke t (jiwa)

P_0 = jumlah penduduk tahun ke 0 (jiwa)

r = laju pertumbuhan penduduk (% per tahun)

t = rentang waktu antara P_0 dan P_t (tahun)

e = bilangan pokok normalitas logaritma (ln) atau dengan angka 2,72

Perhitungan ketiga metode proyeksi nantinya akan dipilih satu yang memiliki nilai koefisien korelasi paling mendekati 1.

2.5. Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik

Menurut Firdaus (2020), Air limbah perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu agar tidak mencemari lingkungan. Maka dari itu perlu untuk merencanakan instalasi pengolahan air limbah agar senyawa organik dalam air limbah dapat tereduksi. Penelitian yang dilakukan Azizah (2017), sistem pengolahan limbah cair domestik terdapat dua sistem yakni sistem pengolahan air limbah terpusat dan sistem pengolahan air limbah setempat.

2.5.1. Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Setempat

Alternatif teknologi sistem setempat menurut Azizah (2017), pengolahan sistem setempat disebut juga sistem *on-site* yaitu sistem dimana fasilitas

pengolahan berada pada tanah yang dimiliki. Cakupan pengolahan air limbah domestik setempat terbagi menjadi dua jenis, yakni komunal dan individual. Fasilitas pengolahan seperti cubluk, tangki septik, mandi, cuci, kakus (MCK) dan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) komunal. Menurut Firdaus (2020), sistem pengolahan air limbah domestik setempat memiliki 3 bagian, yaitu:

- a. Sub-sistem pengolahan setempat, memiliki fungsi untuk mengumpulkan *grey water* dan *black water* pada sumber air limbah. Pada sub-sistem pengolahan setempat terbagi menjadi dua daya tampung pengolahan yakni komunal dan individual.
- b. Sub-sistem pengangkutan, pada bagian ini merupakan fasilitas untuk membawa air limbah dari pengolahan setempat ke pengolahan lumpur tinja. Pengangkutan tersebut menggunakan truk tinja.
- c. Sub-sistem pengolahan lumpur tinja, adalah bagian fasilitas pengolahan berupa instalasi pengolahan lumpur tinja yang berfungsi mengolah lumpur tinja. (Firdaus 2020)

2.5.2. Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Terpusat

Pengolahan sistem terpusat dikenal dengan sistem *off-site* atau sistem *sewerage* merupakan sistem dengan fasilitas pengolahan terpisah dengan batas jarak atau tanah tertentu. Dimana air limbah dari rumah tangga akan dialirkan menggunakan perpipaan dan dialirkan bersamaan ke instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Secara umum teknologi pengolahan sistem terpusat terbagi menjadi tiga yaitu aerob, anaerob dan campuran (Azizah 2017). Menurut Firdaus (2020), terdapat tiga bagian dalam pengolahan dengan sistem terpusat yaitu:

- a. Sub-sistem pelayanan, fasilitas untuk menyalurkan air limbah ke sub-sistem pengumpulan menggunakan sistem perpipaan.
- b. Sub-sistem pengumpulan, adalah bagian penyaluran air limbah dari bagian pelayanan menuju ke bagian pengolahan terpusat menggunakan perpipaan.

- c. Sub-sistem pengolahan terpusat, adalah fasilitas pengolahan air limbah domestik yang telah dikumpulkan melalui pada bagian pelayanan dan pengumpulan. Instalasi pengolahan air limbah merupakan contoh sarana atau fasilitas pengolahan terpusat. (Firdaus 2020)

2.6. Teknologi Pengolahan Air Limbah

Teknologi pengolahan air limbah pada umumnya berupa pengolahan awal (*pretreatment*), pengolahan fisik dan kimia (primer), pengolahan biologi (sekunder) dan pengolahan lumpur. Untuk merencanakan instalasi pengolahan air limbah menurut Kementerian Pekerjaan Umum 2018 pada tahapan identifikasi teknologi pengolahan, perencana perlu melaksanakan beberapa hal meliputi:

- a. Mengenali teknologi-teknologi yang digunakan untuk mengolah.
- b. Menentukan teknologi pengolahan yang diperkirakan dapat digunakan.
- c. Menyiapkan minimal 2 alternatif rangkaian teknologi pengolahan yang dapat diterapkan di daerah perencanaan.

2.6.1. Pengolahan Pretreatment

Pengolahan *pretreatment* diperlukan agar mengurangi beban pengolahan di unit primer.

a. Sumur Pengumpul

Sumur pengumpul merupakan uni pengolahan pendahuluan. Sumur pengumpul memiliki fungsi sebagai penerima air limbah domestik dari saluran air limbah yang memiliki kemiringan lebih rendah dari instalasi pengolahan air limbah. Menurut peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 04/PRT/M/2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengolahan Air Limbah Secara Terpusat, perencanaan sumur pengumpul memiliki kriteria desain berupa waktu detensi air limbah domestik dalam sumur pengumpul kurang dari 10 menit dikarenakan mencegah terjadinya pengendapan didalam sumur pengumpul.

b. Screening

Merupakan unit pengolahan air pertama untuk memisahkan air dari sampah atau padatan yang masuk dalam air menghitung luas efektif area *bar screen* digunakan persamaan serta kriteria yang dapat dilihat pada persamaan berikut serta tabel 2.4 sampai tabe 2.6:

$$\text{Luas efektif area (A)} = \frac{Q}{v} \dots\dots\dots \text{rumus 2. 7}$$

Keterangan:

A = Luas efektif area (m²)

B = Debit aliran (m³/detik)

V = Kecepatan aliran (m²/detik)

Luas area semu *bar screen* dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$\text{Luas Area Semu (A')} = \frac{\pi d^2}{4} \text{ atau (A')} = p \times l \dots\dots\dots \text{rumus 2. 8}$$

$$\text{Jumlah bukaan (Nc)} = \frac{1}{(b+w)} \dots\dots\dots \text{rumus 2. 9}$$

$$\text{Lebar celah total (Lct)} = Nc \times b \dots\dots\dots \text{rumus 2. 10}$$

$$\text{Panjang kisi terendam (Kt)} = h/\sin 60^\circ \dots\dots\dots \text{rumus 2. 11}$$

$$\text{Kecepatan setelah melalui saringan (V2)} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots \text{rumus 2. 12}$$

$$\text{Head Loss (hl)} = \beta \times \left(\frac{w}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \times hv \times \sin 60^\circ \dots\dots\dots \text{rumus 2. 13}$$

Keterangan

A' = Luas area semu (m²)

d = Diameter bukaan lubang (m)

p = panjang (m)

l = lebar (m)

Nc= Jumlah lubang pada saringan

b = jarak bukaan

w = lebar bukaan

P = Panjang penampang

R = Rerata radius hidraulik

n = koefisien kekasaran

β = faktor tipe barang

Tabel 2. 4 Kriteria Desain Unit Bar Screen

Parameter	Satuan	Nilai
Kecepatan aliran lewat bukaan, v	m/detik	0,3-0,6
Jarak bukaan, B	mm	25-50
Ukuran batang		
lebar, w	mm	4-8
tebal	mm	25-50
Kemiringan thd. Horizontal, θ	derajat	45-60
Kehilangan tekanan lewat bukaan, $H_{lbukaan}$	mm	150
Kehilangan tekanan maks. (<i>clogging</i>), H_{lmax}	mm	800

Sumber: Buku A Panduan Perencanaan IPLT, 2013

Tabel 2. 5 Nilai Koefisien Kekasaran Manning

Material	Rentang (Nilai tipikal desain)
Beton	0,012-0,018 (0,015)
Besi Tuang (<i>Cast Iron</i>)	0,012-0,015 (0,013)
Batu Bata	0,012-0,017 (0,015)
Pipa Logam Bergelombang	0,021-0,026 (0,022)
Semen Asbestos	0,011-0,015 (0,013)
Saluran Alam	0,022-0,030 (0,025)

Sumber: Buku A Panduan Perencanaan IPLT, 2013

Tabel 2. 6 Kriteria Desain Batang pada Unit Penyaring

Tipe Batang	Nilai β
Persegi panjang	2,42
<i>Rectangular</i> dengan semi <i>rectangular</i> pada kedua sisi muka	2,83
circular	1,79
<i>rectangular</i> dengan semi <i>rectangular</i> pada sisi muka dan belakang	1,67
<i>Tear shape</i>	0,67

Sumber: Buku A Panduan Perencanaan IPLT, 2013

2.6.2. Pengolahan Tahap Pertama

Pengolahan primer merupakan pengolahan air limbah secara fisik. Pengolahan ini merupakan pengolahan lanjutan dari *pre treatment*.

a. Pengendap Awal

Unit sedimentasi menurut Standar Nasional Indonesia 6774:2008 tentang tata cara perencanaan unit paket instalasi pengolahan air, pemisahan padatan dan air berdasarkan perbedaan berat jenis dengan cara pengendapan. Unit tersebut memisahkan lumpur atau partikel padatan yang ikut pada air limbah. Kriteria desain unit sedimentasi dapat dilihat pada tabel 2.7:

Tabel 2. 7 Kriteria Bak Pengendap Awal

No	Parameter	Simbol	Satuan	Besaran	Sumber
1	<i>Overflow Rate</i>	OR		m ³ /m ² .hari	qasim,1985
	Debit Rata-rata		30-50		
	Debit Puncak		70-130		
2	Waktu detensi	td		jam	qasim,1985
			1,5-2,5		metcalf & eddy,1991
3	Beban Permukaan (<i>Weir loading</i>)		124-496	m ³ /m ² .hari	metcalf & eddy,1991
dimensi					
4	Bentuk kotak (rectangular)				qasim,1985
	Panjang	p	10-100	m	
	Lebar	l	6-24	m	
	Kedalaman	h	2,5-5	m	
	Rasio p dan l		1-7.50		
	Rasio p dan t		4-2.25		
5	Bentuk lingkaran (circular)				
	Diameter	d	3-60	m	
	Kedalaman	h	3-6	m	
6	Penyisihan TSS		50-70	%	metcalf & eddy,1991
7	Penyisihan BOD		25-40	%	
8	Kemiringan Dasar	S	1-2	%	qasim,1985

Sumber: Buku B Panduan Perencanaan SPALD-T, 2018

Catatan : *) = luas bak yang tertutupi oleh pelat/tabung pengendap
 **) = waktu retensi pada pelat/tabung pengendap
 ***) = pembuangan lumpur sebagian

b. Flotasi

Flotasi atau metode pengolahan dengan pengapungan adalah unit yang berfungsi untuk menghilangkan lemak atau minyak yang ada pada air limbah. Metode tersebut memanfaatkan gelembung - gelembung udara yang ditambahkan menggunakan alat dengan ukuran gelembung $\pm 30-120$ mikron untuk membawa minyak dan lemak ke permukaan air dan menyisihkannya. Kriteria desain unit flotasi dapat dilihat pada tabel 2.8 berikut.

Tabel 2. 8 Kriteria Desain Unit Flotasi

Proses	Aliran Udara (N.L/m ³ Air)	Ukuran Gelembung	Input Tenaga (Watt Jam/m ³)	Waktu Detensi (Menit)	Beban Hidrolik Permukaan (m/jam)
Flotasi untuk Pemisahan Lemak	100 - 400	2 - 5 mm	5 - 10	5 - 15	10 - 30
Flotasi mekanik	10	0,2 - 2 mm	60 - 120	4 - 16	-
<i>Dissolved Air Flotation</i>	15 - 50	40 - 70 μ m	40 - 80	20 - 40 bersamaan dengan flokulasi	5 - 10

Sumber: Standar Nasional Indonesia 6774:2008

c. Koagulasi – Flokulasi

Bangunan koagulasi menurut Standar Nasional Indonesia 6774:2008 tentang tata cara perencanaan unit paket instalasi pengolahan air, terjadi proses

pencampuran bahan kimia (koagulan) dengan air baku sehingga membentuk campuran yang homogen. Sedangkan pada bangunan flokulasi proses pembentukan partikel flok yang besar dan padat agar dapat diendapkan. Berikut merupakan kriteria desain unit koagulasi dapat dilihat pada tabel 2.9 berikut:

Tabel 2. 9 Kriteria Desain Unit Koagulasi

Unit	Kriteria
Pengaduk Cepat • Tipe • Waktu Pengadukan (detik) • Nilai G/detik	Hidrolis: - Terjunan - Saluran bersekat - Dalam instalasi pengolahan air bersekat Mekanis: - Bilah (<i>blade</i>), pedal instalasi (<i>paddle</i>) pengolahan air - Flotasi 1 – 5 >750

Sumber: Standar Nasional Indonesia 6774:2008

Adapun kriteria desain dari unit flokulasi dapat dilihat pada tabel 2.10 sebagai berikut:

Tabel 2. 10 Kriteria Desain Unit Flokulasi

Kriteria umum	Flokulator hidrolis	Flokulator mekanis		<i>Flokulator Clarifier</i>
		Sumbu horizontal dengan pedal	Sumbu vertikal dengan bilah	

Kriteria umum	Flokulator hidrolis	Flokulator mekanis		<i>Flokulator Clarifier</i>
		Sumbu horizontal dengan pedal	Sumbu vertikal dengan bilah	
G (gradien kecepatan) 1/detik	60 (menurun) - 5	60 (menurun) - 10	70 (menurun) - 5	100 - 10
Waktu Tinggal (Menit)	30 - 45	30 - 40	20 - 40	20 - 100
Tahap Flokulasi (Buah)	6 - 10	3 - 6	2 - 4	1
Pengendalian Energi	Bukaan pintu/sekat	Kecepatan putaran	Kecepatan putaran	Kecepatan aliran air
Kecepatan Aliran <i>Max.</i> (m/det)	0,9	0,9	1,8 - 2,7	1,5 - 0,5
Luas Bilah/Pedal Dibanding Luas Bak (%)	-	5 - 20	0,1 - 0,2	-
Kecepatan Perputaran Sumbu (rpm)	-	1 - 5	8 - 25	-
Tinggi (m)				2 - 4 *

Sumber: Standar Nasional Indonesia 6774:2008

2.6.3. Pengolahan Tahap Kedua

Pengolahan sekunder bertujuan untuk mengurangi material organik karbon yang ada di dalam air limbah. Pengolahan sekunder banyak menggunakan metode pengolahan biologi yang melibatkan pertumbuhan organisme aktif yang kontak dengan air limbah. Mikroorganisme menjadikan organik karbon sebagai makanannya. Pengolahan tersebut mempunyai tahapan seperti pengolahan secara aerob, anaerob dan kombinasi anaerob-aerob. Berikut beberapa contoh pengolahan sekunder:

a. RBC

Rotating Biological Contactor (RBC) merupakan salah satu proses pengolahan air limbah secara biologi yang terdiri dari seri cakram plastik dan berputar perlahan pada suatu shaft. Sekitar 40% dari bagian cakram terendam dalam tangki air limbah. Cakram tersebut diberi jarak dengan tujuan udara bisa masuk ke ruang tangki. Di dalam tangki tersebut, akan terjadi pertumbuhan biologis tepatnya diatas cakram yang berkontak dengan air limbah dan oksigen dari udara hingga terbentuklah biofilm dengan ketebalan 1 hingga 3 mm. Keunggulan RBC jika dibandingkan dengan lumpur aktif yaitu prosesnya stabil dan mampu menampung beban organik yang tinggi dengan daya yang rendah, selain itu lumpur yang dihasilkan dari pengolahan sangat kecil. Kriteria desain RBC tersaji pada tabel 2.11 berikut.

Tabel 2. 11 Kriteria Desain *Rotating Biological Contactor*

No	Parameter	Removal BOD	Removal nitrifikasi dan BOD	Pemisahan Nitrifikasi	Satuan	Sumber
1	Beban Hidrolik	0.08-0.16	0.03-0.08	0.04-0.10	m ³ /m ² .hari	<i>Tchoban oglous et al., 2003</i>
2	Beban Organik	8-20	5-16	1-2	gr BOD/m ² .hari	
3	Maks. tahap pertama beban organik	24-30	24-30		gr BOD/m ² .hari	
4	Beban NH ₃		0.75-1.5		gr N/m ² .hari	
5	Waktu Detensi	0.7-1.5	1.5-4	1.2-3	Jam	
6	Effluent BOD	15-39	7-15	7-15	mg/L	
7	Effluent NH ₄ -N		<2	1-2	mg/L	

Sumber: Buku B Panduan Perencanaan SPALD-T, 2018

Beberapa kondisi yang perlu diperhatikan dalam menentukan kriteria desain RBC, seperti:

- 1) Ukuran cakram.

Ukuran cakram akan dilihat dari tipe cakram yang akan digunakan, salah satunya *low detensy* dengan luas piringan 9.300 m² per 8,23 m poros, adapun *medium density* dan *high density* dengan luas 11.000 hingga 16.700 m² per 8,23 poros.

2) Ukuran shaft

Shaft dengan luas cakram sekitar 9.300 m², dengan besaran volume tangki air limbah sebesar 45 m³, dengan estimasi waktu detensi 1,44 jam, laju beban hidrolik 0.08 m³/m².hari, dan kedalaman cakram akan tenggelam dalam tangki sekitar 40% dari keseluruhan sikma kedalaman.

Tahapan penghitungan unit pengolahan RBC dapat dilakukan dengan menggunakan metode sebagai berikut:

a. Konsentrasi sBOD

$$\text{Beban sBOD} = \text{sBOD (mg/L)} \times Q_{\text{desain (m}^3/\text{hari)}} \dots \text{rumus 2. 14}$$

b. Luas piringan RBC untuk tahap I dengan sBOD maksimum 12–15 g sBOD/m².hari

$$A_{\text{cakram}} = \frac{\text{beban sBOD } (\frac{\text{g}}{\text{hari}})}{\text{sBOD loading rate g/m}^2.\text{hari}} \dots \text{rumus 2. 15}$$

c. Jumlah shaft dengan menggunakan asumsi tipe cakram

$$n = \frac{A_{\text{cakram (m}^2)}}{\text{Luas per shaft } (\frac{\text{m}^2}{\text{shaft}})} \dots \text{rumus 2. 16}$$

d. Luas area tiap cakram

$$A_{\text{cakram}} = \pi \times \left[\frac{\text{diamter cakram (m)}}{2} \right]^2 \times 2 \dots \text{rumus 2. 17}$$

e. Jumlah cakram

$$n = \frac{\text{Luas per shaft (m}^2)}{\text{Luas area per cakram (m}^2)} \dots \text{rumus 2. 18}$$

f. Panjang shaft

$$L = \text{Jumlah cakram} \times \text{jarak antar cakram (m)} \dots \text{rumus 2. 19}$$

g. Pilih jumlah train untuk desain, debit per train, jumlah tahapan, dan luas cakram/shaft dalam setiap tahap (pada tahap dengan beban yang rendah dapat digunakan high density disk).

h. Debit tiap train

$$Q_t = \frac{Q_{\text{desain}} (m^3/hari)}{\text{Jumlah train}} \dots\dots\dots \text{rumus 2. 20}$$

i. Lebar tiap train

$$L_{\text{train}} = p_{\text{shaft}} + (2 \times \text{jarak cakram dengan train}) \dots\dots \text{rumus 2. 21}$$

j. Panjang train

$$P_{\text{train}} = d_{\text{cakram}} + (2 \times \text{jarak cakram}) \dots\dots\dots \text{rumus 2. 22}$$

(Buku B Panduan Perencanaan Teknik Terinci SPALD-T, 2018)

b. Biofilter Anaerob-Aerob

Biofilter anaerob-aerob yaitu reaktor pengolahan air limbah secara biologis dengan pertumbuhan *fixed-bed*. Prinsip biofilter yaitu air limbah domestik akan mengalir di dalam reaktor biofilter sehingga partikel koloid akan tersaring dan beban organik terdegradasi oleh mikroorganisme yang terdapat pada media filter. Kriteria desain biofilter anaerobik tersaji pada Tabel 2.12.

Tabel 2. 12 Kriteria Desain Biofilter Anaerob-Aerob

No	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
1	<i>Organic loading</i>	4-5	kg COD/m ³ .hari	
2	Ukuran media padat	2-6	cm	
3	Porositas rongga dalam media	70-95	%	
4	Luas permukaan media filter	90-300	m ² /m ³	Bimbingan Teknis Bidang Plp
5	Kedalaman media filter	90-150	cm	
6	Waktu tinggal hidrolis dalam	0.5-4	hari	

No	Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
	filter			Sektor Air Limbah- Perencanaan Teknis Rinci SPALD, PU
7	Beban organik	0.2-15	kg COD/m ³ .hari	
8	Efisiensi penyisihan BOD	70-90	%	
9	Tinggi air diatas media	20	cm	
10	Jarak plat penyangga media dengan dasar bak UAF	50-60	cm	
11	Plat penyangga media memiliki diameter lubang atau bukaan lebih kecil dari media UAF, jarak antar plat maksimum	10	cm	

Sumber: Buku B Panduan Perencanaan SPALD-T, 2018

Adapun penghitungan perencanaan unit pengolahan *anaerobic biofilter* dapat dilihat sebagai berikut:

1) Pengendap Awal

Kriteria perencanaan pengendap awal sebagai berikut

- a) Waktu tinggal, $t_d = 2-5$ jam.
- b) tinggi zona pengendap, $H = 1,5-4$ m
- c) Beban permukaan, $SLR = 30-50 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$ (Metcalf and Eddy, 2003)
- d) Rasio $P : L = 2-6$
- e) Kemiringan dasar:
 - Bak berbentuk persegi empat = 1–3%
 - Bak berbentuk bundar/tabung = 40–100 mm/m
- f) Tinggi Ruang Lumpur, $t = 1/3$ tinggi bak

Rumus perencanaan pengendap awal

- a) Waktu detensi limbah cair di zona pengendap,

$$T_d = \text{Vol}/Q \dots\dots\dots \text{rumus 2. 23}$$

$$= (PxLxH)/Q \dots\dots\dots \text{rumus 2. 24}$$

b) Beban permukaan atau *Surface Loading Rate*,

$$Ql = Q / A_{\text{Permukaan}} \dots\dots\dots \text{rumus 2. 25}$$

$$= Q / (L \times P) = m^3/m^2 \cdot \text{hari} \dots\dots\dots \text{rumus 2. 26}$$

Keterangan:

Td = waktu tinggal air limbah dalam ruang pengendapan

Vol = volume ruang pengendap = panjang x lebar x tinggi

Q = debit air limbah yang diolah

Ql = beban permukaan

A_{Permukaan} = luas bidang permukaan pengendap = panjang x lebar

2) Biofilter Anaerob

Kriteria desain pada biofilter anaerob sebagai berikut.

- a) Media filter berukuran 2–6 cm dan bersifat porous dengan *specific gravity* mendekati 1(satu);
- b) Porositas rongga dalam media, $\epsilon = 70\text{--}95\%$;
- c) Luas permukaan media filter dengan volume media = $90\text{--}300 \text{ m}^2/\text{m}^3$ media;
- d) Tinggi media dalam filter, $H = 90\text{--}150 \text{ cm}$;
- e) Waktu Tinggal Hidrolik dalam filter, $t_d = 0,5\text{--}4$ hari;
- f) Beban organik (Organic Loading Rate, OLR) = $0,2\text{--}15 \text{ kg COD}/\text{m}^3 \cdot \text{hari}$;
- g) Efisiensi penyisihan BOD sebesar $= 70\text{--}90\%$;
- h) Tinggi air di atas media, $h = 20 \text{ cm}$;
- i) Jarak plat penyangga media dengan dasar bak biofilter = $50\text{--}60 \text{ cm}$;
- j) Plat penyangga media memiliki diameter lubang atau bukaan lebih kecil dari media biofilter, jarak antar pelat maksimum 10 cm .

Rumus perencanaan biofilter anaerob sebagai berikut.

$$\text{a) Volume Ruang Biofiltrasi} = Q \times t_d \dots\dots\dots \text{rumus 2. 27}$$

$$\text{b) Volume media} = (Q \times \text{COD})/\text{beban organik} \dots\dots \text{rumus 2. 28}$$

3) Biofilter Aerob

Kriteria desain perencanaan dari biofilter aerob sebagai berikut.

- a) Waktu tinggal (retention time) rata-rata, t_d = 6–8 jam
- b) Tinggi ruang lumpur, hl = 0,5 m
- c) Tinggi bed media filter = 0,9–150 m
- d) Tinggi air di atas media filter = 20 cm
- e) Beban BOD per satuan permukaan media filter:
 - 5–30 g BOD/m².hari. (EBIE Kunio, Eisei Kougaku Enshu, Morikita shuppan kabushiki Kaisha, 1992).
 - 0,5–4 kgBOD/m³.hari media.(menurut Nusa Idaman Said, BPPT, 2002)

Rumus perencanaan pada unit biofilter aerob sebagai berikut

a) Volume ruang biofiltrasi

$$V_{\text{bak}} = Q \times t_d \dots\dots\dots \text{rumus 2. 29}$$

b) Volume media

$$V_{\text{media}} = (Q \times \text{COD}) / \text{Beban Organik} \dots\dots\dots \text{rumus 2. 30}$$

c) Kebutuhan Oksigen = Kebutuhan BOD dihilangkan

d) Kebutuhan udara untuk perencanaan blower = (Kebutuhan O₂/hari)
/ (berat jenis udara x n O₂ di udara x efisiensi transfer O₂)

4) Bak Pengendap Akhir

Kriteria perencanaan bak pengendap akhir dapat dilihat sebagai berikut.

- a) Waktu Tinggal, t_d = 1–5 jam
- b) Laju beban permukaan (surface loading rate) Q_l = 10 m³/m².hari
- c) Beban permukaan = 30–50 m³/m².hari (Metcalf and Eddy, 2003)

Rumus perencanaan untuk bak pengendap akhir sebagai berikut.

$$a) T_d = \text{Vol}/Q = (P \times L \times H)/Q$$

$$b) Q_l = Q/A \text{ permukaan} = Q/(L \times P) = \text{m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

Keterangan:

T_d = waktu tinggal air limbah dalam ruang pengendapan

Vol	= volume ruang pengendap = panjang x lebar x tinggi
Q	= debit air limbah yang diolah
Ql	= beban Permukaan
Apermukaan	= luas bidang permukaan pengendap = panjang x lebar
Berat jenis udara	= 1,1725 kg/m ³
Jumlah O ₂ diudara	= 0,322 O ₂ /g udara
Efisiensi transfer	= 5%

c. MBBR

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) suatu unit pengolahan air limbah yang sederhana dan tidak membutuhkan lahan yang besar. Proses pengolahan MBBR dengan memanfaatkan mikroorganisme yang tumbuh di media biofilm dengan memanfaatkan beribu media yang teraerasi secara terus-menerus. unit MBBR tidak perlu melakukan proses pengembalian lumpur, dikarenakan pada proses pengolahan karena terjadi proses degradasi kontaminan dalam media biofilm. Kelebihan lain dari unit MBBR yakni dapat mereduksi dengan baik permasalahan nitrifikasi. Kriteria desain unit MBBR tersaji pada tabel 2.13.

Tabel 2. 13 Kriteria Desain MBBR

No	Kriteria	Satuan	Keterangan
1	waktu detensi anoksik	Jam	0.5-2
2	waktu detensi aerobik	Jam	-4
3	Luas permukaan biofilm elemen pembawa	m ² /m ³	500-1.200
4	Biomassa per unit luas permukaan	g TS/m ²	5-25
5	laju beban BOD	g/m ² .hari	7.5-25
6	laju beban COD	g/m ² .hari	15-50
7	laju beban NH ₄ -N	g/m ² .hari	0.45-1

Sumber: Metcalf & Eddy, 2014

langkah perhitungan untuk unit MBBR dapat dilihat sebagai berikut:

1) BOD Flux yang diterapkan

$$\text{BOD Flux} = \frac{\text{BOD Removal Flux}}{(\% \text{ penyisihan } \frac{\text{BOD}}{100})} \quad \text{rumus 2. 31}$$

2) Luas Permukaan Media

$$\text{Luas media} = \frac{\text{Laju BOD}}{\text{BOD Flux}} \quad \text{rumus 2. 32}$$

Laju BOD bisa juga menghitung debit air limbah domestik yang dikalikan dengan konsentrasi BOD yang masuk.

3) Volume Media

$$\text{Volume media} = \frac{\text{Luas media (m}^2\text{)}}{\text{Luas permukaan spesifik (} \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}\text{)}} \quad \text{rumus 2. 33}$$

4) Persentase asumsi maksimum untuk volume media dengan volume tangki 70%. Contohnya 50%, sehingga volume reaktor:

$$\text{Volume reaktor} = \frac{\text{volume media (m}^3\text{)}}{(\% \text{ volume media terhadap vol } \frac{\text{tangki}}{100}) (\frac{\text{m}^2}{\text{m}^3})} \quad \text{rumus 2. 34}$$

Perhitungan waktu detensi dengan menggunakan persamaan berikut:

$$T_d = \frac{\text{volume media (m}^3\text{)}}{Q \text{ (m}^3\text{.hari)}} \quad \text{rumus 2. 35}$$

Dimensi reaktor dapat direncanakan dengan menyesuaikan rencana geometri tangki. Selain pengolahan yang telah disebutkan, berikut kriteria desain dari beberapa unit pengolahan tahap kedua dapat dilihat pada tabel 2.14

Tabel 2. 14 Kriteria Desain Pengolahan Sekunder

Parameter Desain	Tipe kolam					
	Aerobik (Low Rate)	Aerobik (Low Rate)	Maturasi	Fakultatif	Anaerob	Aerated Lagoon
Tipe Aliran (Flow Regime)	Campuran terputus/ intermittent	Campuran terputus (intermittent)	Campuran terputus/ intermittent	Campuran dipermukaan		Campuran Sempurna
Ukuran Kolam Acre	< 10	0,5 - 2	2 - 10	2 - 10	0,5 - 2	2 - 10
Operasi	seri/paralel	seri	seri/paralel	seri/paralel	seri	seri/paralel

Parameter Desain	Tipe kolam					
	Aerobik (Low Rate)	Aerobik (Low Rate)	Maturasi	Fakultatif	Anaerob	<i>Aerated Lagoon</i>
Waktu Tinggal	10 - 40	4 - 6	5 - 20	5 - 30	20 - 50	3 - 10
Kedalaman	3 - 4	1 - 15	3 - 5	4 - 8	8 - 16	6 - 20
pH	6,5 - 10,5	6,5 - 10,5	6,5 - 10,5	6,5 - 8,5	6,5 - 7,2	6,5 - 80
Temperature	0 - 30	5 - 30	0 - 30	5 - 30	6 - 30	0 - 30
Temperatur Optimum	20	20	20	20	20	20
Beban BOD	60 - 120	80 - 160	< 15	50 - 180	200 - 500	-
<i>Efisiensi Removal</i> BOD	80 - 95	80 - 95	80 - 95	80 - 95	50 - 85	80 - 95
<i>Principal Conversion</i>	Alga, CO ₂ , bakteri jaringan sel	Alga, CO ₂ , bakteri jaringan sel	Alga, CO ₂ , bakteri jaringan sel	Alga, CO ₂ , CH ₄ , bakteri jaringan sel	Alga, CO ₂ , CH ₄ , bakteri jaringan sel	CO ₂ , bakteri jaringan sel
Konsentrasi Alga	40 - 100	100 - 260	5 - 10	5	0 - 5	-
SS	80 - 140	150 - 300	10 - 30	40 - 60	80 - 160	80 - 250

Sumber: Daini & Silfi, 2016

2.6.4. Pengolahan Tahap Ketiga

Pengolahan tahap ketiga harus dipertimbangkan apabila dalam pengolahan air limbah, parameter didalamnya belum memenuhi baku mutu. Pengolahan ketiga berupa menghilangkan pathogen dan pengolahan lumpur lanjutan. Berikut beberapa unit pengolahan pada tahap ketiga:

a. *Solid Separation Chamber* (SSC)

Solid Separation Chamber atau sering disebut bak sedimentasi primer berfungsi untuk memisahkan padatan dengan air yang ada di lumpur tinja.

b. *Sludge Drying Bed* (SDB)

Sludge Drying Bed merupakan bak pengolahan lumpur selanjutnya. Lumpur yang sudah terpisah dengan air dikeringkan di bak SDB. Fungsi dari

proses tersebut agar air yang ada di lumpur menguap dan berkurang. Nantinya lumpur yang sudah kering akan dijadikan pupuk.

c. Desinfeksi

Desinfeksi adalah proses pengolahan air limbah berfungsi sebagai penghilang mikroorganisme atau bakteri yang masih ada didalam air limbah. Metode dalam menghilangkan mikroorganisme pathogen ada dua acara yaitu fisika dan kimia. Metode fisika dalam mengurangi jumlah pathogen dengan cara memanfaatkan panas dan radiasi seperti radiasi ultraviolet dan radiasi gamma. Sedangkan metode kimia pengurangan pathogen dengan menambahkan bahan kimia seperti klorin, bromin alkohol dan lain-lain.

Berikut ini merupakan contoh perhitungan desinfeksi dengan cara memberikan zat klor pada air limbah dengan menghitung jumlah klor yang dibutuhkan dan menghitung debit pompa yang digunakan mengacu pada Pt-T-28-2000-C tentang tata cara pembubuhan kaporit pada unit IPA dalam penelitian Utama, (2016). Persamaan yang digunakan dapat dilihat pada rumus berikut:

1) Kebutuhan klor

$$W = Q \times \text{dosis pembubuhan} \dots\dots\dots \text{rumus 2. 36}$$

2) Periode penggantian tabung dengan asumsi tabung gas klor 150 kg

$$W_{\text{klor}} = \frac{\text{berat tabung}}{\text{kebutuhan klor}} \dots\dots\dots \text{rumus 2. 37}$$

3) Debit pembubuhan desinfektan dengan *dosing pump*

$$Q_{\text{klor}} = \frac{\text{kebutuhan klor}}{\text{densitas Cl}_2} \times \frac{10^3 \text{ gram}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ hari}}{1.440 \text{ jam}} \text{ rumus 2. 38}$$

$$\text{Stroke} = \frac{Q_{\text{klor}}}{\text{debit pompa}} \dots\dots\dots \text{rumus 2. 39}$$

4) Laju alir desinfektan dengan diameter pipa 50 mm

$$V_{\text{pipa}} = \frac{4 \times Q_{\text{pipa}}}{\pi \times D^2} \dots \dots \dots \text{rumus 2. 40}$$

5) Headloss mayor pipa pembubuh dengan C=150

$$\Delta h_{\text{mayor}} = \left(\frac{151 \times Q}{C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times \left(\frac{L}{1000} \right) \dots \dots \dots \text{rumus 2. 41}$$

6) Headloss minor pipa pembubuh

$$k_{\text{total}} = [(\text{jumlah x bend } 90^\circ) + (\text{gate valve}) + (\text{check valve})] \text{ rumus 2. 42}$$

$$\Delta h_{\text{minor}} = k_{\text{total}} \left(\frac{v_{\text{pipa}}^2}{2 \times g} \right) \dots \dots \dots \text{rumus 2. 43}$$

Keterangan:

g = gravitasi (9,81 m/s²)

C = Koefisien pipa

D = diameter pipa

L = panjang pipa

d. Bak Kontrol

Bak Kontrol merupakan unit pengolahan air limbah yang digunakan sebagai penampung air limbah yang telah diolah. air limbah tersebut nantinya di uji kadar parameter untuk mengetahui apakah air limbah yang telah diolah tersebut layak untuk disalurkan ke sungai terdekat. Berikut merupakan kriteria desain dari bak kontrol yang tersaji pada tabel 2.15.

Tabel 2. 15 Kriteria Bak Kontrol

Kriteria Desain	Nilai	Satuan
Waktu detensi	1,5-2,5	jam
Beban pelimpah	<11	m ³ /m/jam
Beban permukaan	0,8-2,5	m ³ /m ² /jam
tinggi air	3-6	m

Sumber: Said, 2008

2.7. Integrasi Keilmuan dengan Perspektif Islam

Kerusakan alam yang terjadi disebabkan oleh manusia. Hal itu telah ditegaskan oleh Allah Subhanahu Wa Ta'ala dalam Al-Quran Surah Ar Rum ayat 41 sebagaimana berbunyi :

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya : *“Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”*.(QS. Ar Rum ayat 41)

Kandungan dari surah Ar Rum ayat 41 yakni, Allah SWT telah menciptakan langit dan bumi untuk dimanfaatkan oleh manusia demi kemakmuran dan kesejahteraan hidup. Selain itu Allah telah menjadikan manusia sebagai khalifah di bumi untuk menjaga kelestarian alam agar tidak terjadi kerusakan. Namun sebagian manusia memiliki sifat tamak dan serakah. Seperti menggali minyak dan menambang tanpa terkendali yang menyebabkan bencana alam (Anon 2017).

Pencemaran lingkungan, terlebih lagi pada air diakibatkan oleh manusia. Maka dari itu Allah memerintahkan manusia untuk tidak merusak alam dengan mengolah air seperti firman Allah SWT pada Al-A'Raf ayat 56 yang berbunyi :

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

Artinya : *“Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah (diciptakan) dengan baik. Berdo'alah kepadanya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat kebaikan”*. (QS. Al-A'Raf ayat 56)

Allah SWT melarang manusia berbuat kerusakan di bumi karena membahayakan tatanan kehidupan manusia itu sendiri, seperti terjadi bencana

alam. Untuk menghindari melakukan kegiatan tercela, Allah SWT memerintahkan manusia agar senantiasa berdo'a dan bersyukur atas karunia yang telah diberikan Allah kepada manusia. Selain itu Allah memerintahkan umat manusia agar menjaga lingkungan yang ada di bumi. Salah satu cara menjaga lingkungan dengan mengolah air limbah agar tidak mencemari air yang ada di bumi. (Anon, 2017)

2.8. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) komunal juga didasarkan pada penelitian-penelitian terdahulu. Adapun beberapa penelitian dahulu yang berkaitan dapat dilihat pada tabel 2.16 berikut.

Tabel 2. 16 Penelitian Terdahulu

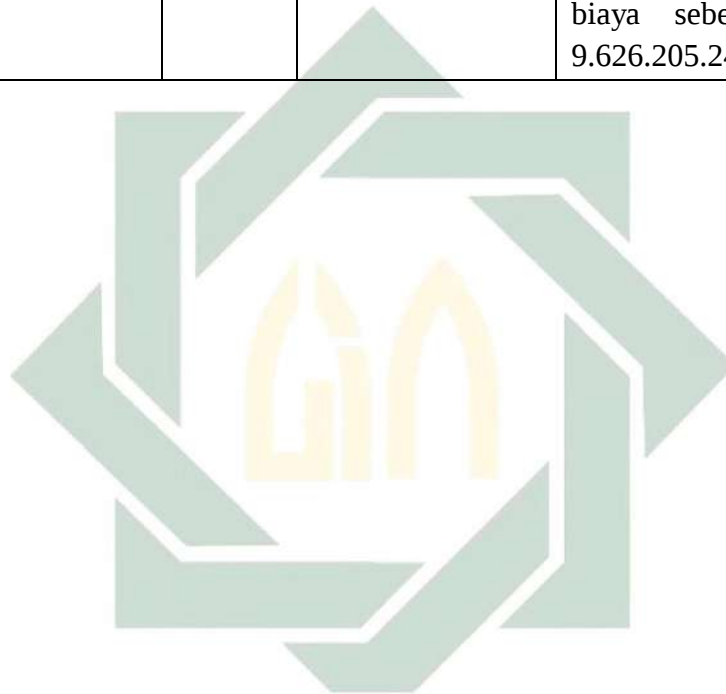
No	Nama	Tahun	Judul	Hasil
1.	Gagassage Nanaluih De Side, Lalu Auliya Aqraboelittaqwa	2021	<i>Communal Wastewater Treatment Plant Design with Upflow Anaerobic Filterprocessing Technology In Rumak Village, Kediri Sub-District, West Lombok</i>	Hasil perancangan didapatkan bahwa ukuran bangunan IPAL memiliki panjang 10,45 meter serta lebar 3,10 meter. Bangunan tersebut terdiri dari beberapa kompartemen termasuk bak masuk dengan ukuran panjang 0,75 m dan lebar 3,10 meter, tangki pengendap berukuran 5,00 x 3,10 meter, bak pemisah berukuran 0,75 x 3,25 meter. 12 tangki filter dengan panjang 0,8 meter dan lebar 0,8 meter dan tabung outlet berukuran 0,8 x 0,8

No	Nama	Tahun	Judul	Hasil
				meter. Dalam tabung filter, biofilter digunakan dalam bentuk botol plastik daur ulang dengan tujuan menumbuhkan bakteri anaerob sistem sekaligus mengurangi limbah dan menghemat biaya material.
2.	Alvianda Yuliotitan Cristianoro, Ratih Indri Hapsari, Utami Retno Pudjowati	2020	Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal pada Perumahan Bukit Shangrilla Asri Kabupaten Malang	Hasil perancangan yang didapat menggunakan dimensi bangunan IPAL komunal 2 buah, IPAL tipe BFVGD-35 MPD yang dapat melayani 197 rumah. Dengan kapasitas volume air limbah di Perumahan Shangrilla Asri sejumlah 63,04 m ³ /hari. Perhitungan biaya untuk membangun saluran IPAL dan bangunan IPAL membutuhkan biaya sebesar Rp.3.596.322.000
3.	Aviandini Galih Hanuranti	2020	Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik <i>Central Processing Plant</i> (CPP) Gundih	Hasil dari perencanaan menggunakan unit biofilter anaerob-aerob dengan debit maksimum 0,912 m ³ . Dalam rencana anggaran biaya (RAB) pembangunan IPAL

No	Nama	Tahun	Judul	Hasil
			PT. Pertamina EP Asset 4 Cepu Field	domestik membutuhkan dana sebesar Rp. 13.590.441,80.
4.	Fadilah Pratama, Ratih Indri Hapsari, Mohammad Zenurianto	2020	Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Komunal Pada Perumahan D'Park City Kabupaten Malang	Debit total air limbah sebesar 134,72 m ³ /hari. Sistem yang digunakan adalah media <i>cell ganda (joint treatment anaerob and aerob)</i> dan sistem pengendapan lumpur. IPAL fabrikasi dari PT. <i>Bioseven Fiberglass</i> Indonesia kapasitas 75 m ³ /hari sejumlah 2 unit.
5.	Fabiola E. Santo, Sudiyo Utomo, Tri M. W. Sir	2019	Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Sistem Komunal pada Perumahan Kodim 1605 Belu	Merencanakan bangunan IPAL untuk penggunaan 10 tahun dengan kapasitas desain 150 m ³ /hari. Teknologi yang digunakan berupa kombinasi anaerob dan aerob.
6.	Meylis Safriani dan Cut Suciatina Silvia	2018	Studi Perencanaan Bangunan IPAL di Desa Blang Beurandang, Kabupaten Aceh Barat	Rencana bangunan IPAL berupa instalasi yang memiliki inlet, bak <i>settler</i> , bak pembagi, bak filter dan bak <i>outlet</i> . Dengan dimensi panjang keseluruhan 11 m dan lebar 3,5 m.
7.	Meylis Safriani	2017	Desain IPAL	Hasil rancangan

No	Nama	Tahun	Judul	Hasil
	dan Cut Suciatina Silvia		Komunal Untuk Mengatasi Permasalahan Sanitasi di Desa Luengbaro, Kabupaten Nagan Raya, Aceh	bangunan dari penelitian tersebut menggunakan bak inlet, bak pengendap, unit <i>anaerobic baffled reactor</i> (ABR), unit <i>anaerobic filter</i> (AF), dan unit <i>outlet</i> . Memerlukan luas lahan sebesar 28,4 m ² .
8.	Dandy Prakoso	2016	Desain IPAL Komunal Limbah Domestik Perumahan Sukolilo Dian Regency dengan Teknologi <i>Constructed Wetland</i>	Hasil rancangan IPAL menggunakan bangunan bak ekualisasi, SSFCW, dan kolam indikator. Pembangunan instalasi memerlukan luas total 1.800 m ² . Rencana anggaran biaya untuk pembangunan tersebut sebesar Rp 5.926.417.781
9.	Fathul Mubin, Alex Binilang, Fuad Halim	2016	Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik di Kelurahan Istiqlal Kota Manado.	Rencana bangunan IPAL berupa instalasi yang menggunakan metode biofilter aerob-anaerob. Dimensi panjang keseluruhan 25 m dan lebar 4,5 m dengan debit direncanakan sebesar 231.240 L/hari.
10.	Arni Daini, Dhia, Darin Silfi	2016	Perencanaan dan Perancangan Bangunan Pengolahan Air Buangan RTL	Hasil dari perencanaan IPAL menggunakan unit <i>bar screen</i> , bak pengumpul, unit prasedimentasi, unit

No .	Nama	Tahun	Judul	Hasil
			4240	<i>rotating biological contactor</i> (RBC), unit sedimentasi, dan unit desinfeksi, serta unit pengolahan lumpur (<i>sludge drying bed</i>). Dan membutuhkan biaya sebesar Rp 9.626.205.243.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB 3

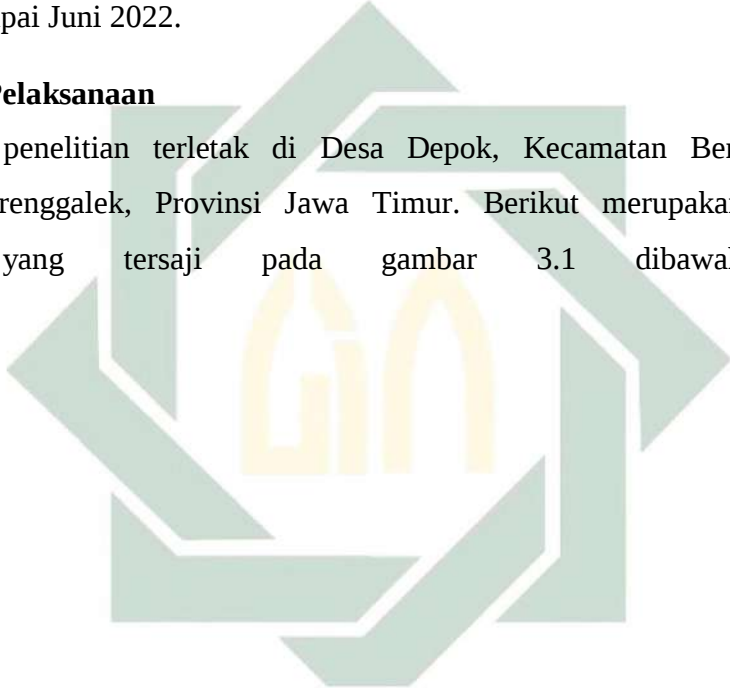
METODOLOGI PERENCANAAN

3.1. Waktu Pelaksanaan

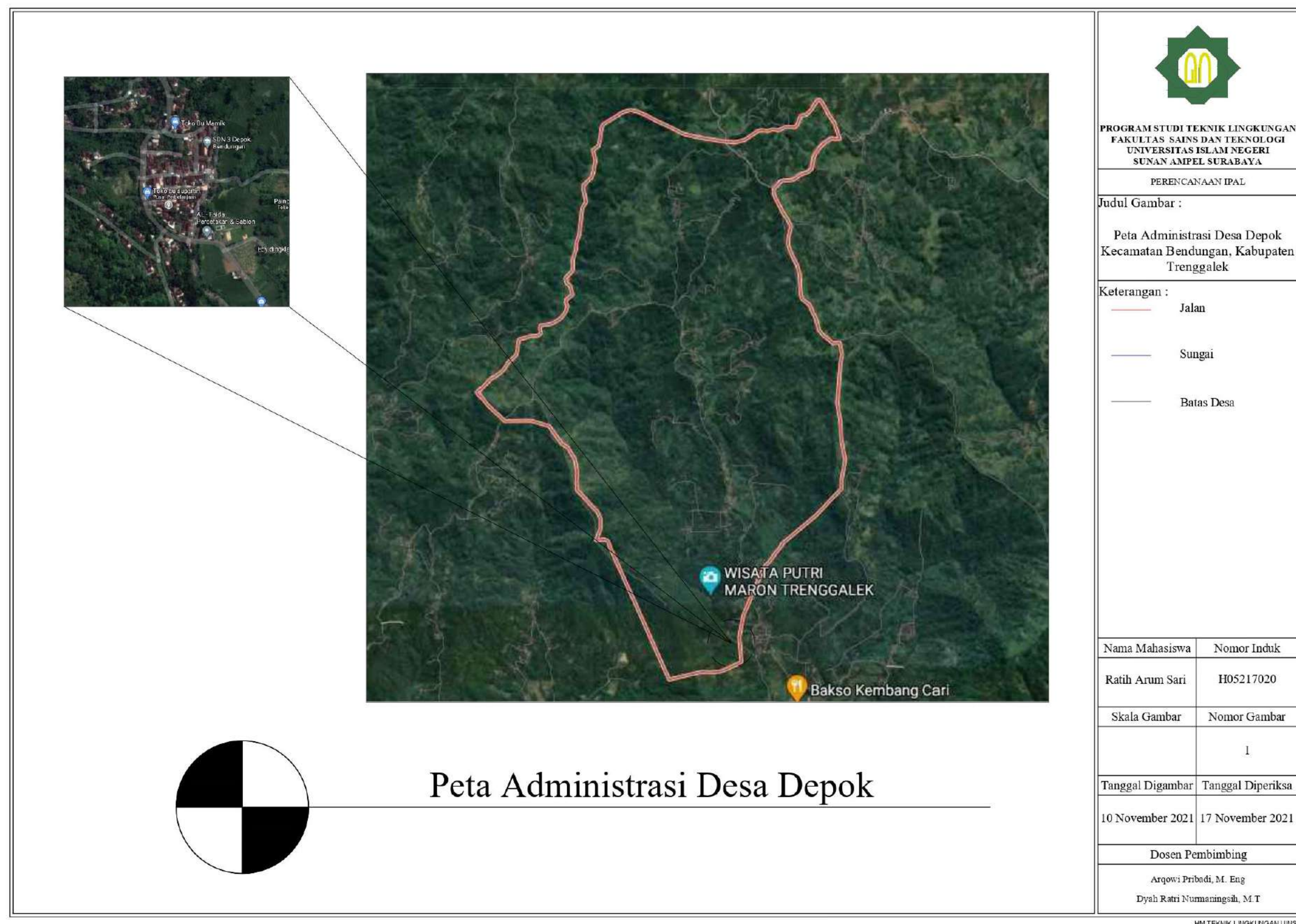
Waktu penelitian dilaksanakan pada 10 April 2021 sampai 20 Mei 2021. Pengujian di laboratorium dilaksanakan pada 10 April 2021 sampai 26 April 2021. Penyusunan laporan dan pelaksanaan seminar hasil dilaksanakan pada 01 Mei 2021 sampai Juni 2022.

3.2. Lokasi Pelaksanaan

Lokasi penelitian terletak di Desa Depok, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur. Berikut merupakan lokasi penelitian yang tersaji pada gambar 3.1 dibawah ini.



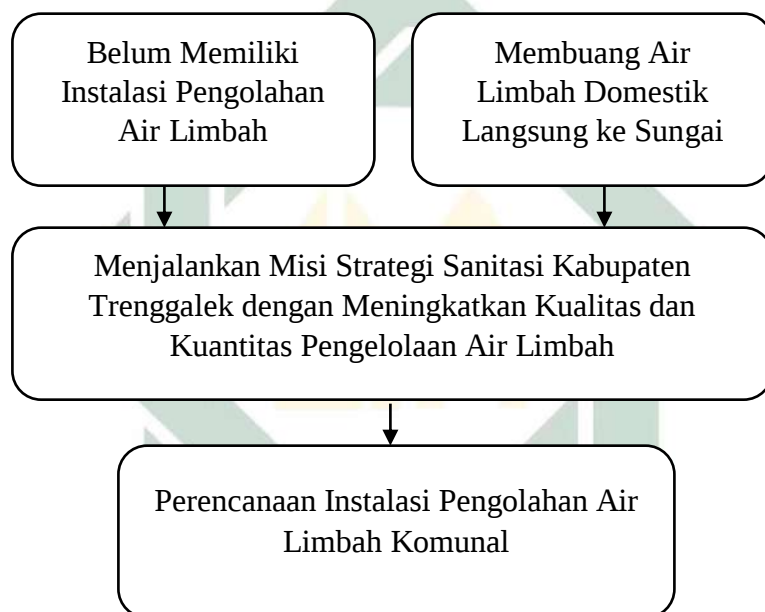
UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

3.3. Kerangka Pikir

Kerangka pikir dalam penelitian diawali karena tidak ada fasilitas instalasi pengolahan air limbah di Desa Depok. Sehingga masyarakat membuang air limbah domestik langsung ke badan air tanpa melalui proses pengolahan. Untuk mengatasi hal tersebut pemerintah Kabupaten Trenggalek memiliki misi agar meningkatkan kualitas dan kuantitas pengolahan air limbah. Perencanaan instalasi pengolahan air limbah dilakukan sebagai sarana mewujudkan misi peningkatan pengolahan air limbah. Kerangka pikir pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut:

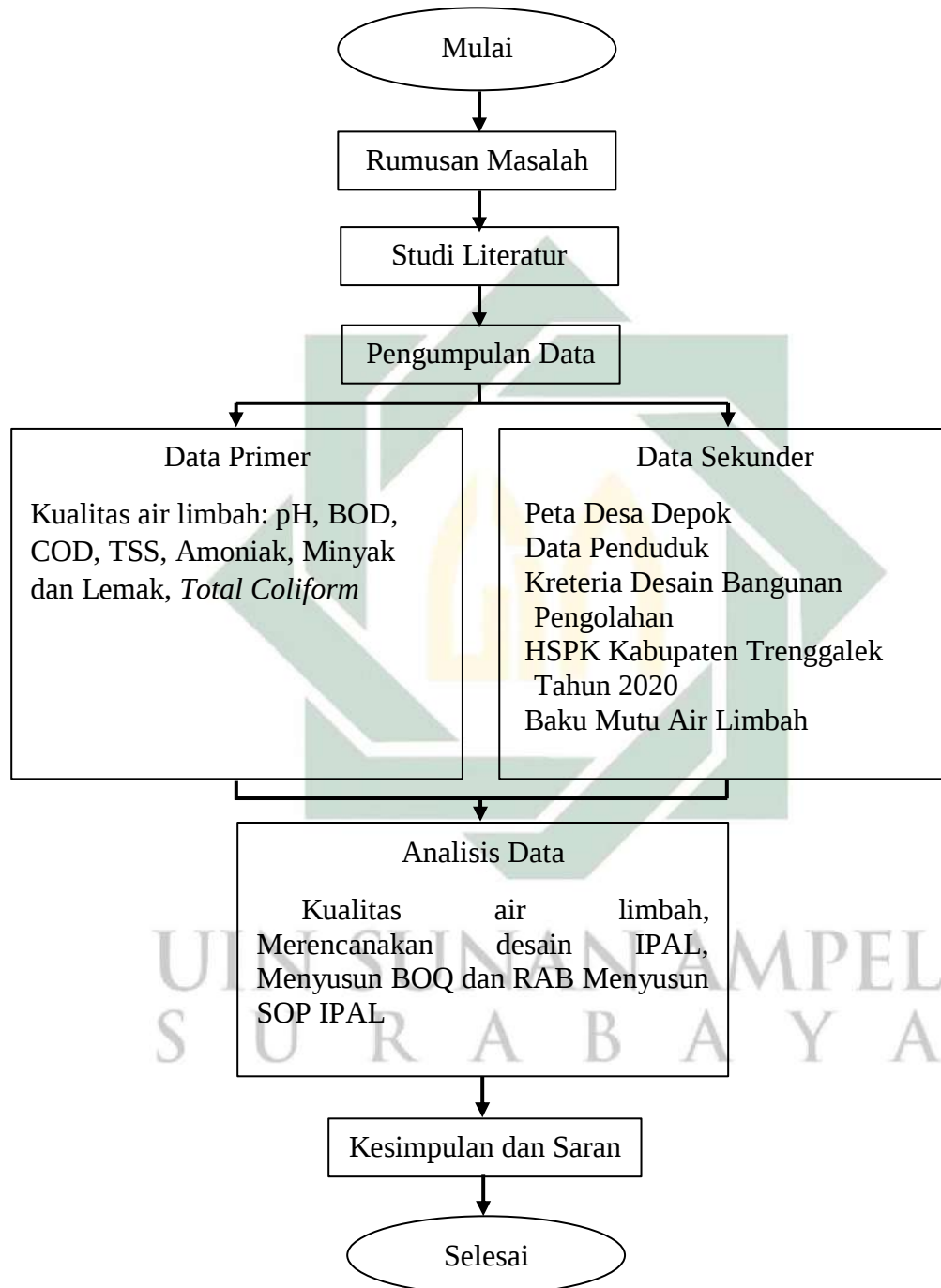


Gambar 3. 2 Kerangka Pikir

3.4. Tahapan dan Metode Pelaksanaan

Perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) komunal menggunakan metode kuantitatif dan metode kualitatif. Metode kuantitatif digunakan untuk membuat alternatif pengolahan dari data sekunder yang didapatkan. Sedangkan metode kualitatif digunakan untuk menentukan luas bangunan pengolahan yang didapatkan dari data survei lokasi perencanaan instalasi pengolahan air limbah komunal. Kegiatan yang sudah mendapat persetujuan dari pihak terkait. Kemudian

melaksanakan penelitian sesuai dengan judul. Tahapan penelitian dapat dilihat pada diagram alir yang tersaji pada gambar 3.3 berikut ini:



Gambar 3. 3 Tahap Penelitian

3.4.1. Tahap Persiapan

Tahapan persiapan dalam penelitian berupa melakukan studi literatur tentang penelitian yang akan dilakukan. Setelah itu menentukan lokasi penelitian dan menentukan judul penelitian. Konsultasi penelitian, kemudian mempersiapkan data administrasi dan izin melakukan penelitian.

3.4.2. Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan pengumpulan data berupa data primer dan data sekunder.

a. Data Primer

Data yang didapatkan secara langsung dari lapangan merupakan data primer. Data primer dan metode yang digunakan untuk mengumpulkan data disajikan pada tabel 3.1 dibawah ini:

Tabel 3. 1 Tabel Data Primer

No.	Karakteristik	Metode	Sumber
1	pH	Ph Meter	SNI 6989.11:2019
2	BOD	Winkler	SNI 6989.72:2009
3	COD	<i>Closed reflux</i>	SNI 6989.2:2009
4	Amoniak	Spektrofotometer	SNI 06-6989.30-2005
5	Minyak dan Lemak	Gravimetri	SNI 6989.10:2011
6	TSS	Gravimetri	SNI 06-6989.3-2004
7	Total Coliform	Filtrasi	SNI ISO 9308-1:2010

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung. Pengambilan data tersebut diperoleh dari sumber yang ada dan berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Data sekunder yang dibutuhkan tersaji pada tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Data Sekunder

No.	Data Sekunder	Sumber
1	Peta Desa Depok, Kecamatan bendungan, Kab. Trenggalek	<i>Inageoportal</i> , QGIS
2	Data Penduduk	Kecamatan Bendungan dalam Angka 2012-2021

No.	Data Sekunder	Sumber
3	Kriteria Desain - Sumur Pengumpul - Bak Pengendap Awal - Unit Biofilter Anaerob-Aerob - Bak Pengendap Akhir - Desinfektan - Bak Kontrol	- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No.4 Tahun 2017 - Utama, 2016 - Said, 2008
4	Harga Satuan Pokok Kegiatan Kabupaten Trenggalek Tahun 2020	Harga Satuan Pokok Kegiatan Kabupaten Trenggalek Tahun 2020
5	Baku Mutu Air limbah	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016

3.5.Tahapan Pengolahan data

3.5.1. Analisis Kualitas Air Limbah Domestik

Karakteristik air limbah yang diperoleh menjadi penentu alternatif pengolahan yang akan direncanakan, agar sesuai dengan baku mutu Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia nomor 68 tahun 2016. Air limbah mulanya diambil dari air limbah domestik sesuai SNI 6989-59-2008 tentang metoda pengambilan contoh air limbah di Desa Depok yakni *grey water* dan *black water*. Kemudian air tersebut diuji di laboratorium Mitralab. Hasil dari uji laboratorium tersebut digunakan sebagai acuan untuk menentukan alternatif pengolahan yang akan digunakan.

3.5.2. Proyeksi Penduduk

Perhitungan proyeksi penduduk dibutuhkan guna menyesuaikan pengolahan air limbah dengan rencana bangunan untuk instalasi pengolahan air limbah komunal. Proyeksi penduduk menggunakan data jumlah penduduk 10 tahun terakhir. Menentukan proyeksi penduduk dengan membandingkan metode aritmatik, geometrik dan eksponensial.

3.5.3. Perhitungan Debit Air Bersih

Menghitung rencana debit yang akan digunakan dari perhitungan jumlah dan proyeksi penduduk. Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat pada buku A Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Terpusat tahun 2018, perhitungan jumlah air limbah berdasarkan dari jumlah pemakaian air bersih. Volume air limbah sebesar 80% dari air bersih.

a. Penentuan total debit air bersih dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$Q_{domestik} = \text{Jumlah Penduduk} \times \text{Kebutuhan air} \left(\frac{\text{liter}}{\text{orang}} \right) \dots\dots\dots \text{rumus 3. 1}$$

Keterangan:

$Q_{domestik}$ = debit air bersih rumah tangga

b. Debit Air Bersih Non Domestik

Debit air limbah nondomestic menggunakan pendekatan nilai penduduk ekuivalen. Kondisi seperti kurangnya informasi detail mengenai jumlah populasi suatu area, maka dapat menggunakan pendekatan penduduk ekuivalen (PE). Perhitungan jumlah populasi yakni dengan mengalikan jumlah kegiatan yang ada dengan nilai PE yang telah ditentukan. Berikut merupakan rumus dan nilai PE yang tersaji pada tabel dibawah ini:

$$Q_{nondomestik} = \text{nilai PE} \times \text{kebutuhan air bersih} \dots\dots\dots \text{rumus 3. 2}$$

Keterangan:

$Q_{nondomestik}$ = debit air bersih selain rumah tangga

Tabel 3. 3 Nilai PE Setiap Kegiatan

No.	Kegiatan	Nilai PE	Referensi
1	Rumah Biasa	1	Study JICA 1990
2	Rumah Mewah	1.67	Sofyan M. Noerlambang
3	Apartemen	1.67	Sofyan M. Noerlambang
4	Rumah Susun	0.67	Sofyan M. Noerlambang
5	Puskesmas	0.02	Sofyan M. Noerlambang
6	Rumah Sakit Mewah	6.67	SNI 03 - 7065 - 2005
7	Rumah Sakit Menengah	5	SNI 03 - 7065 - 2005
8	Rumah Sakit Umum	2.83	SNI 03 - 7065 - 2006

No.	Kegiatan	Nilai PE	Referensi
9	SD	0.27	SNI 03 - 7065 - 2007
10	SLTP	0.33	SNI 03 - 7065 - 2008
11	SLTA	0.53	SNI 03 - 7065 - 2009
12	Perguruan Tinggi	0.53	SNI 03 - 7065 - 2010
13	Ruko	0.67	SNI 03 - 7065 - 2011
14	Kantor	0.33	SNI 03 - 7065 - 2012
15	Stasiun	0.02	SNI 03 - 7065 - 2013
16	Restoran	0.11	SNI 03 - 7065 - 2014
17	Tempat Ibadah	0.03	SNI 03 - 7065 - 2015

Sumber: Buku A Pedoman Perencanaan SPALD-T, 2018

c. Debit Total Air Bersih

Debit total air bersih didapatkan dari debit total air bersih domestik yang digunakan dan ditambahkan dengan debit non domestik. Berikut persamaan yang digunakan untuk menentukan debit total air bersih.

$$Q_{\text{total air bersih}} = Q_{\text{domestik}} + Q_{\text{nondomestik}} \dots \dots \dots \text{rumus 3. 3}$$

3.5.4. Perhitungan Debit Air Limbah

Debit air limbah domestik atau air buangan dapat ditentukan setelah mengetahui kebutuhan air bersih domestik. Panduan perhiungan mengacu pada Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat pada buku A Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengolahan Air Limbah Domesik Terpusat (2018a). Berikut langkah menentukan debit air limbah domestik.

a. Menghitung air limbah rata-rata

$$Q_{\text{abr}} = Q_{\text{total air bersih}} \times f_{\text{ab}} \dots \dots \dots \text{rumus 3. 4}$$

Keterangan :

$Q_{\text{total air bersih}}$ = debit jam puncak air bersih

F_{ab} = faktor air buangan (50% - 80%)

b. Debit puncak air limbah

Debit puncak air limbah dengan mengalikan debit air limbah dengan faktor puncak. Faktor puncak dihitung dengan metode Babbitt (1918) dengan persamaan berikut:

$$PF = \frac{5}{(P/1000)^{0.2}} \dots\dots\dots \text{rumus 3. 5}$$

Faktor yang telah ditentukan dengan metode tersebut dikalikan dengan debit air limbah seperti persamaan 3.6:

$$Q_{\text{puncak}} = Q_{\text{abr}} \times PF \dots\dots\dots \text{rumus 3. 6}$$

Keterangan:

P = jumlah populasi/penduduk

PF = *peak factor*/faktor puncak

Q_{puncak} = debit puncak air limbah

3.5.5. Penentuan Alternatif Pengolahan

Penentuan alternatif pengolahan air limbah dapat direncanakan setelah mendapat data kuantitas dan kualitas air limbah. Selain itu penentuan diambil dari presentasi efisiensi removal yang dihasilkan berikut merupakan persamaan untuk menentukan hasil efisiensi removal menurut Pinanggih (2020):

$$\text{Efisiensi removal TSS} = \text{Kadar pencemar} \times \text{persentase removal} \dots\dots \text{rumus 3. 7}$$

$$mBOD_{in} = BOD_{in} \times Q \dots\dots\dots \text{rumus 3. 8}$$

$$BOD_{eff} = BOD_{Loading\ in} \times (1 - \text{Removal BOD}) \dots\dots\dots \text{rumus 3. 9}$$

$$mBOD_{eff} = BOD_{Loading\ in} \times (100\% - \text{Removal BOD}) \dots\dots\dots \text{rumus 3. 10}$$

$$mCOD_{in} = COD_{in} \times Q \dots\dots\dots \text{rumus 3. 11}$$

$$COD_{eff} = COD_{Loading\ in} \times (1 - \text{Removal COD}) \dots\dots\dots \text{rumus 3. 12}$$

$$mCOD_{eff} = COD_{Loading\ in} \times (100\% - \text{Removal COD}) \dots\dots\dots \text{rumus 3. 13}$$

$$mTSS_{in} = TSS_{in} \times Q \dots\dots\dots \text{rumus 3. 14}$$

$$TSS_{eff} = TSS_{Loading\ in} \times (1 - \text{Removal TSS}) \dots\dots\dots \text{rumus 3. 15}$$

$$mTSS_{eff} = TSS_{Loading\ in} \times (100\% - \text{Removal TSS}) \dots\dots\dots \text{rumus 3. 16}$$

Keterangan:

$mBOD_{in}$ = beban BOD sebelum pengolahan

BOD_{eff} = kadar BOD setelah pengolahan

$mBOD_{eff}$ = beban BOD setelah pengolahan

$mCOD_{in}$ = kadar COD setelah pengolahan

COD eff	= beban COD sebelum pengolahan
mCOD eff	= beban COD setelah pengolahan
mTSS in	= beban TSS sebelum pengolahan
TSS eff	= kadar TSS setelah pengolahan
mTSS eff	= beban TSS setelah pengolahan

3.5.6. Pemilihan Kriteria Desain

Kriteria desain diperoleh dari studi literatur berupa jurnal, buku, skripsi, artikel dan Standar Nasional Indonesia. Kriteria desain dibuat setelah mengetahui karakteristik air limbah domestik di Desa Depok dan menyesuaikan desain yang akan digunakan untuk instalasi pengolahan air limbah komunal yang akan digunakan.

3.5.7. Perhitungan Dimensi Unit Pengolahan

Perhitungan ukuran bangunan dengan menghitung ukuran unit yang sesuai dengan kebutuhan pengolahan air limbah. Kebutuhan pengolahan air limbah berasal dari debit yang telah direncanakan dan menghitung ukuran bangunan sesuai dengan kriteria desain yang ditetapkan

3.5.8. Penggambaran DED

Penggambaran *detail engineering design* berupa penggambaran unit yang terpilih secara detail. Adapun gambar detail yang diperlukan yaitu:

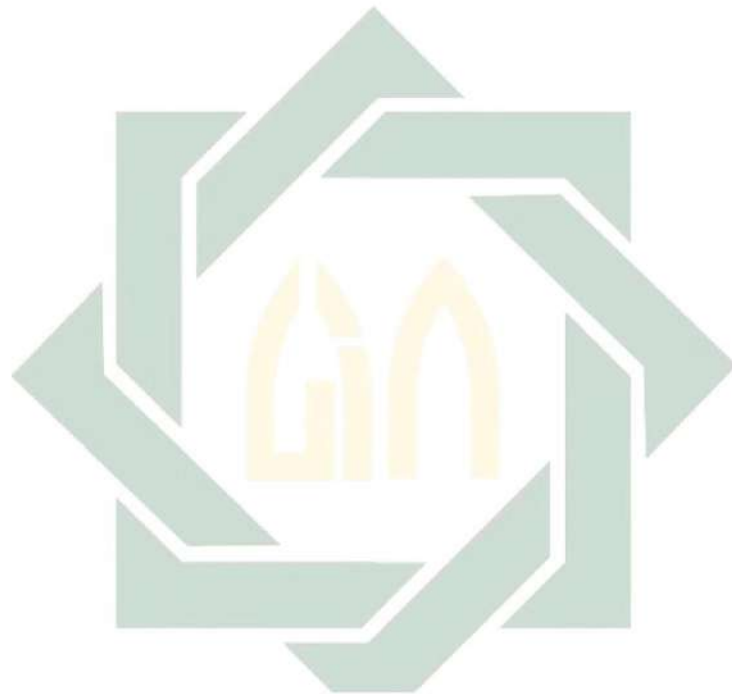
- Layout* instalasi pengolahan air limbah komunal.
- Denah unit
- Potongan memanjang dan potongan melintang unit.

3.5.9. Penyusunan *Bill of Quantity* dan Rencana Anggaran Biaya

Perhitungan rencana anggaran biaya (RAB) untuk pembangunan instalasi pengolahan air limbah domestik perlu menentukan koefisien dan satuan pekerja. Penetapan *bill of quantity* mengacu pada harga dasar Kabupaten Trenggalek tahun 2020. Sedangkan RAB merupakan hasil akhir pehiungan BOQ dengan koefisien yang mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 28 Tahun 2016 tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum.

3.5.10. Penyusunan SOP

Penyusunan SOP sebagai acuan untuk operasional dan pemeliharaan instalasi pengolahan air limbah komunal di Desa Depok. Agar proses pengolahan berjalan sesuai dengan perencanaan dan unit pengolahan tetap terjaga dengan baik. Penyusunan SOP berdasarkan pedoman standar operasional prosedur UPD pengelola air limbah domestik dan menyesuaikan dengan situasi dan kondisi yang ada di lapangan.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB 4

GAMBARAN UMUM WILAYAH PERENCANAAN

4.1. Letak Geografis

Desa Depok terletak di Kecamatan Bendungan Kabupaten Trenggalek provinsi Jawa Timur. Seperti daerah lain yang ada di Indonesia dan dilalui oleh garis khatulistiwa, di Desa Depok memiliki dua iklim yakni musim penghujan dan musim kemarau dengan suhu berkisar 22°C - 33°C.

Desa Depok terletak pada ketinggian ± 600 meter di atas permukaan air laut. Batas-batas administratif wilayah Desa Depok sebagai berikut:

Sebelah Utara	: Desa Dompjong
Sebelah Timur	: Desa Pagerwojo Kabupaten Tulungagung
Sebelah Selatan	: Desa Dawuhan Kecamatan Trenggalek
Sebelah Barat	: Desa Sumurup

Secara administratif di Desa Depok menempati wilayah sebesar 13,41 km² dengan jumlah penduduk pada bulan Maret 2021 mencapai 4205 jiwa dengan pembagian sebanyak 2.327 laki-laki dan sebanyak 2338 perempuan. Desa Depok tercatat memiliki 11 RW (rukun warga) dan sebanyak 30 RT (rukun tetangga) yang membawahi 1.654 KK (kepala keluarga). Topografi di desa Depok sebagian besar wilayahnya berupa dataran tinggi dengan ketinggian ± 600 meter diatas permukaan laut.

4.2. Kependudukan

Jumlah penduduk desa Depok mengalami perubahan dari tahun ke tahun. Berikut ini merupakan data jumlah penduduk desa depok dari Tahun 2011 sampai 2020 yang diambil dari data badan pusat statistik (BPS, 2021) Kabupaten Trenggalek pada buku Kecamatan Bendungan pada angka 2021 yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Jumlah Penduduk di Desa Depok

Tahun	Jumlah
2011	4594
2012	4927
2013	4606
2014	4998
2015	4188
2016	4195
2017	4198
2018	4203
2019	4631
2020	4205

Sumber: Badan Pusat Statistik, 2021

4.3. Fasilitas Umum

Pendidikan merupakan fasilitas yang digunakan untuk mengembangkan kualitas manusia. Selain itu untuk menunjang kesejahteraan masyarakat perlu adanya fasilitas yang memadai seperti tempat ibadah dan took. Berikut merupakan fasilitas umum yang ada di Desa Depok pada tahun 2021 yang tersaji pada tabel 4.2 dibawah ini.

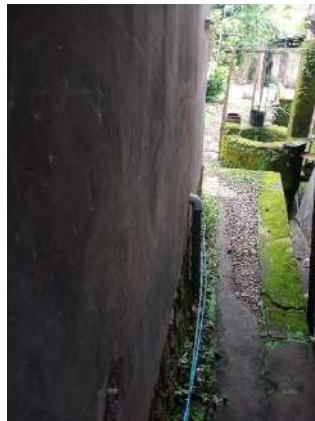
Tabel 4. 2 Jumlah Fasilitas Pendidikan di Desa Depok

Kegiatan	Bangunan
Playgroup	12
Tk	3
SD	4
SLTP	1
Puskesmas	1
Posyandu	7
Balai Kesehatan Ibu Dan Anak	3
Masjid	9
Musholah	24
Toko Obat	2

Sumber: Buku Profil Desa Depok, 2021

4.4. Kondisi Eksisting Air Limbah

Air limbah yang akan diolah di IPAL komunal ini berasal dari sisa hasil aktivitas pemakaian air bersih untuk keperluan rumah tangga yang sudah tidak terpakai lagi. Aktivitas rumah tangga seperti mencuci pakaian, mencuci alat makan, membersihkan rumah, mandi, dan kakus. Setelah melakukan survei langsung ditemukan bahwa penduduk yang tinggal di Desa Depok membuang air limbah cair (*grey water*) langsung ke drainase dan berakhir di sungai. Sedangkan untuk *black water* sebagian warga dibuang ke tangki septik. Sehingga ada dua tempat yang menjadi titik pengambilan sampel uji air limbah cair yang dihasilkan, yaitu langsung dari tangki septik warga dan saluran drainase yang langsung menuju ke sungai Maron dengan melalui saluran drainase kecil yang berada di tengah pemukiman. Pada prinsipnya air limbah yang dihasilkan dari dua titik tersebut belum dilakukan pengolahan sama sekali dan hanya ditampung di bak penampung untuk mengendapkan partikel diskrit yang mungkin terbawa oleh aliran air limbah kemudian dibuang secara langsung menuju ke badan air penerima yaitu sungai Maron. Berikut merupakan salah satu aliran drainase yang langsung menuju ke badan air tanpa pengolahan yang tersaji pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 dibawah ini:



Gambar 4. 1 Air Limbah Rumah Tangga masuk Ke Pipa

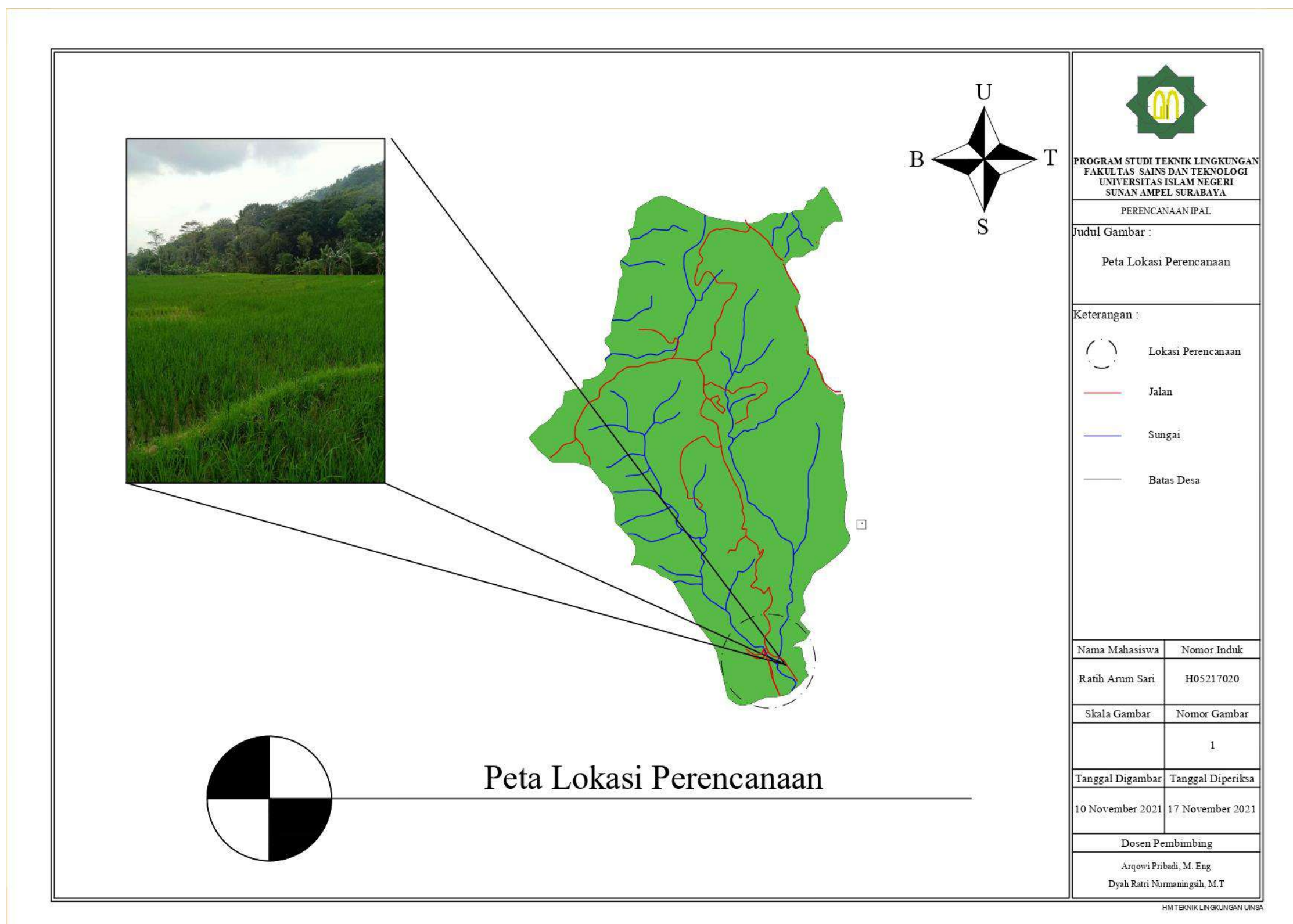


Gambar 4. 2 Air Didalam Pipa Langsung ke Badan Air

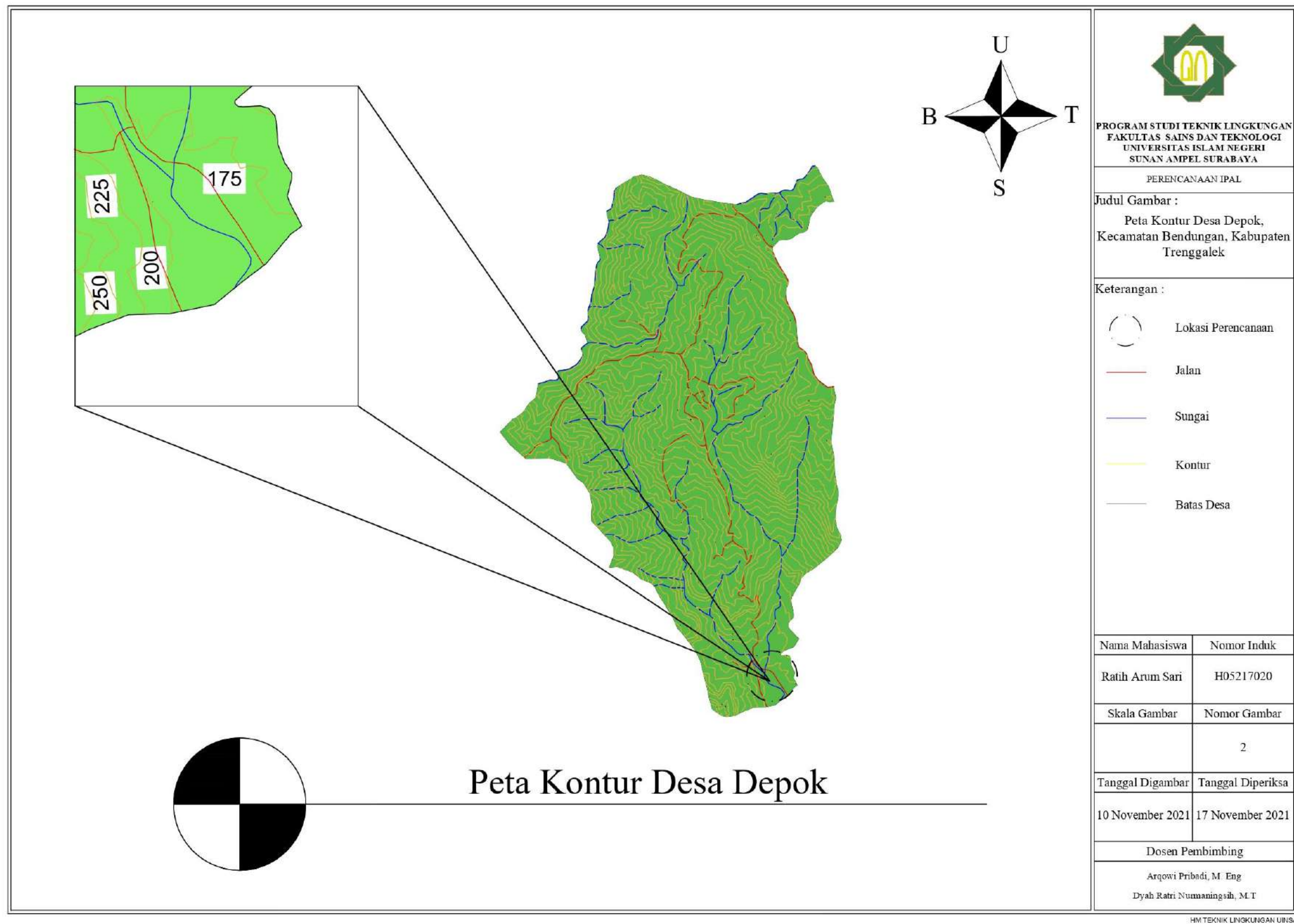
4.5.Lokasi Perencanaan

Lokasi perencanaan IPAL berada di selatan Desa Depok yang memiliki kontur tanah yang lebih stabil. Tanah tersebut merupakan tanah milik desa yang direncanakan untuk IPAL. Berikut gambaran lokasi perencanaan IPAL Komunal tersaji pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 dibawah ini:





Gambar 4. 3 Peta Lokasi Perencanaan



Gambar 4. 4 Peta Kontur Desa Depok

BAB 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Analisis Kualitas Dan Kuantitas Air Limbah Domestik

Air merupakan rangkaian dari lingkungan yang perlu kita jaga. Namun semakin bertambahnya jumlah penduduk kualitas air semakin menurun akibat dari aktivitas manusia yang menghasilkan limbah yang merusak kualitas dari air tersebut. Sebagaimana dijelaskan sebelumnya pada surah Ar-Rum ayat 41 yang berbunyi:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya : *“Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”*. (QS. Ar Rum ayat 41)

Ayat tersebut menjelaskan bahwa kerusakan yang ada di darat maupun di laut disebabkan oleh manusia dan Allah membeci perbuatan merusak lingkungan. Dijelaskan juga pada surah Al A’Raf ayat 56 yang berbunyi:

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

Artinya : *“Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah (diciptakan) dengan baik. Berdo’alah kepadanya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat kebaikan”*. (QS. Al-A’Raf ayat 56)

Ayat tersebut menjelaskan walaupun kerusakan yang terjadi di bumi sebagian besar disebabkan oleh manusia, Allah masih memberikan rahmat bagi manusia yang berbuat kebaikan dengan menjaga dan berupaya memperbaiki lingkungan sekitar terutama pada air sebagaimana firman Allah pada surah Al Baqarah ayat 11 yang berbunyi:

وَإِذَا قِيلَ لَهُمْ لَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ قَالُوا إِنَّمَا نَحْنُ مُصْلِحُونَ

Artinya: “Dan bila dikatakan kepada mereka: “Janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi”. Mereka menjawab: “Sesungguhnya kami orang-orang yang mengadakan perbaikan.”(QS. Al-Baqarah ayat 11)

Perbaikan tersebut salah satunya dengan mengolah air limbah domestik agar menghasilkan kualitas air limbah yang lebih baik sebelum air tersebut mencemari lingkungan disekitarnya.

5.1.1 Kualitas Air Limbah

Perencanaan instalasi pengolahan air limbah memerlukan kualitas air limbah yang ada di Desa Depok. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik menyebutkan beberapa parameter air limbah domestik yang menggambarkan kualitas dari suatu air limbah. Disebutkan untuk air limbah domestik terdapat 7 parameter yakni, pH, TSS, COD, BOD, minyak dan lemak, *total coliform*, serta amoniak.

Kualitas fisik diambil dari hasil *Total Suspended Solid* (TSS) menggambarkan tingkat kekeruhan air limbah. Kualitas kimia dapat dilihat dari nilai pH (tingkat keasaman), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan amoniak yang ada pada air limbah. Minyak dan lemak serta *total coliform* merupakan parameter untuk mengetahui kualitas biologi yang ada pada air limbah.

Nilai dari parameter tersebut diambil dari hasil uji sampling air limbah rumah tangga (*grey water*) dan tangki septik (*black water*) yang ada di Desa Depok. Setelah melakukan sampling air limbah dan dilakukan uji laboratorium di Mitralab, didapatkan hasil uji laboratorium di Desa Depok seperti tabel 5.1:

Tabel 5. 1 Hasil Uji Laboratorium

No	Parameter	Satuan	Hasil	Baku Mutu*	Selisih	Sesuai / Tidak Sesuai	Metode
1	pH	-	7,26	6-9	-	sesuai	SNI 6989. 11-2004
2	BOD	mg/L	22	≤ 30	-	sesuai	IKM/7.2.4.71/MBS (BOD Oxydirect)
3	COD	mg/L	73,4	≤ 100	-	sesuai	SNI 6989. 73-2009
4	TSS	mg/L	255,8	≤ 30	225,8	Tidak sesuai	APHA Section 2450 D 22 nd Edition, 2012
5	Amoniak	mg/L	17,9	≤ 10	7,9	Tidak sesuai	SNI 6989. 30-2005
6	Minyak & Lemak	mg/L	0,59	-	-	sesuai	SNI 6989. 10-2011
7	Total Koliform	Jumlah /100ml	11000	≤ 3000	8000	Tidak sesuai	IKM/7.2.4.87/MBS (MPN)

(Sumber: Hasil Laboratorium Mitralab, 2021)

*baku mutu menurut Peraturan Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik

Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa parameter TSS memiliki nilai 255.8 mg/L yang melebihi baku mutu sebesar 30 mg/L. Serta pada parameter amoniak di Desa Depok memiliki nilai sebesar 17,9 mg/L yang melebihi baku mutu sebesar 10 mg/L. Sehingga diperlukan pengolahan air limbah domestik untuk mengurangi kadar beban pencemar tersebut.

5.1.2 Analisis Kuantitas Air Limbah

Perencanaan instalasi pengolahan air limbah membutuhkan data kuantitas dan kualitas air limbah atau air buangan yang akan diolah. Kuantitas air limbah diperlukan untuk merencanakan dimensi dari bangunan pengolahan air limbah.

Analisis kuantitas air limbah pada perencanaan ini dengan metode asumsi proyeksi penduduk penggunaan air bersih per orang per hari dalam 20 tahun kedepan.

a. Proyeksi Penduduk

Pembangunan instalasi pengolahan air limbah tidak lepas dari proyeksi penduduk. Perencanaan proyeksi penduduk dapat menentukan kapasitas unit yang akan dibangun agar memenuhi kebutuhan. Proyeksi penduduk dapat diperoleh dengan menggunakan 3 metode, yakni metode aritmatik, metode geometrik dan metode eksponensial. Setelah menghitung dengan ketiga metode, dicari nilai hasil regresi (r) dan dibandingkan untuk menentukan metode proyeksi penduduk yang tepat. Untuk menghitung proyeksi penduduk dibutuhkan data jumlah penduduk 10 tahun terakhir di Desa Depok (Buku Pedoman Perhitungan Proyeksi Penduduk dan Angka Kerja, 2010).

Metode yang digunakan untuk proyeksi penduduk yakni metode yang hasil regresi atau koefisien korelasinya mendekati angka 1 (grafik linear). Metode yang memenuhi syarat tersebut akan digunakan salah satu untuk menentukan proyeksi penduduk. Data yang digunakan untuk proyeksi penduduk adalah data tahun 2011 hingga 2020 yang diambil dari buku Kecamatan Bendungan Dalam Angka Tahun 2021. Berikut analisis perhitungan proyeksi penduduk dengan beberapa metode.

1) Metode Aritmatika

Metode aritmatik didasarkan pada kenaikan rata-rata jumlah penduduk dengan menggunakan data terakhir dan rata-rata sebelumnya. Berikut merupakan perhitungan laju penduduk menggunakan metode aritmatik menggunakan rumus 2.2:

Diketahui :

P_t : 4205 jiwa (jumlah penduduk tahun 2020 pada tabel 4.1)

P_0 : 4594 jiwa (jumlah penduduk tahun 2011 pada tabel 4.1)

t : 10 (jumlah tahun yang digunakan untuk data dasar pada tabel 4.1)

sehingga,

$$\begin{aligned} r &= \frac{1}{t} \left(\frac{P_t}{P_0} - 1 \right) \\ &= \frac{1}{10} \left(\frac{4205}{4594} - 1 \right) \\ &= -0,008467566 \end{aligned}$$

Maka dari perhitungan tersebut didapatkan persentase laju penduduk dengan metode aritmatik sebesar -0.008467566.

2) Metode Geometri

Metode Geometrik yang digunakan untuk mengetahui pertumbuhan penduduk dihitung dengan menghitung ln dari jumlah penduduk pada tahun ke-n. Dari persamaan tersebut dapat diperoleh laju penduduk (r) dengan menggunakan metode geometrik. Berikut merupakan perhitungan laju penduduk menggunakan metode geometri dengan rumus 2.4:

Diketahui :

Pt : 4205 jiwa (jumlah penduduk tahun 2020 pada tabel 4.1)

P0 : 4594 jiwa (jumlah penduduk tahun 2011 pada tabel 4.1)

t : 10 (jumlah tahun yang digunakan untuk data dasar pada tabel 4.1)

sehingga,

$$\begin{aligned} r &= \left(\frac{P_t}{P_0} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \\ &= \left(\frac{4205}{4594} \right)^{\frac{1}{10}} - 1 \\ &= -0.008808656 \end{aligned}$$

Maka dari perhitungan tersebut didapatkan persentase laju penduduk dengan metode geometri sebesar -0.008808656

3) Metode Eksponensial

Metode eksponensial menggambarkan pertumbuhan penduduk yang akan terjadi secara sedikit demi sedikit sepanjang tahun. Berikut merupakan

perhitungan laju penduduk menggunakan metode eksponensial dengan rumus 2.6:

Diketahui :

P_t : 4205 jiwa (jumlah penduduk tahun 2020 pada tabel 4.1)

P_0 : 4594 jiwa (jumlah penduduk tahun 2011 pada tabel 4.1)

t : 10 (jumlah tahun yang digunakan untuk data dasar pada tabel 4.1)

e : 2,72 (bilangan pokok logaritma)

sehingga,

$$\begin{aligned} r &= \frac{1}{t} \ln \ln \left(\frac{P_t}{P_0} \right) \\ &= \frac{1}{10} \ln \ln \left(\frac{4205}{4594} \right) \\ &= -0.008847681 \end{aligned}$$

Maka dari perhitungan tersebut didapatkan persentase laju penduduk dengan metode geometri sebesar -0.008847681

Tabel perbandingan untuk melihat perbedaan hasil koefisien korelasi dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut:

Tabel 5. 2 Perbandingan Nilai Korelasi dari Ketiga Metode

Metode	Nilai r
Aritmatika	-0.0084676
Geometri	-0.0088087
Eksponensial	-0.0088477

Sumber: Analisis Perhitungan, 2021

Perhitungan koefisien korelasi pada ketiga metode tersebut menunjukkan untuk metode aritmatika didapatkan hasil sebesar -0.0084676, untuk metode geometri didapatkan hasil sebanyak - 0.0088087 dan metode eksponensial sebesar -0.0088477. Dari ketiga hasil tersebut, metode eksponensial menunjukkan hasil yang mendekati dengan angka -1 dari pada 1, sebagai acuan nilai korelasi yakni nilai mutlak 1 sampai -1, menurut Wibiwi dan Kurniawan (2020), angka -1 menandakan korelasi proyeksi penduduk dengan metode tersebut berhubungan negative dan mendekati nilai mutlak

-1 sehingga pemilihan metode proyeksi penduduk menggunakan metode eksponensial.

Proyeksi penduduk di Desa Depok untuk tahun 2021 hingga 2040 dengan menggunakan metode eksponensial dapat dilihat pada contoh perhitungan dengan menggunakan rumus 2.1 berikut ini:

$$\begin{aligned}
 P_t &= P_0 e^n \\
 P_{20} &= 4.205 \times \ln 20 \\
 P_{20} &= 4.205 \times 2,995 \\
 P_{20} &= 12.597
 \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut dilakukan pada proyeksi penduduk tahun 2021 sampai tahun 2040 yang tersaji pada Tabel 5.3 dibawah ini:

Tabel 5. 3 Proyeksi Pertumbuhan Penduduk (Tahun 2021-2040)

No.	Tahun	Proyeksi	No.	Tahun	Proyeksi
1	2021	0	11	2031	10.083
2	2022	2.915	12	2032	10.449
3	2023	4.620	13	2033	10.786
4	2024	5.829	14	2034	11.097
5	2025	6.768	15	2035	11.387
6	2026	7.534	16	2036	11.659
7	2027	8.183	17	2037	11.914
8	2028	8.744	18	2038	12.154
9	2029	9.239	19	2039	12.381
10	2030	9.682	20	2040	12.597

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

b. Perhitungan Debit Air Bersih

Penggunaan air bersih domestik sebesar 100 liter per orang per hari merujuk pada tabel 2.1 dengan penduduk sebanyak 12.597 termasuk dalam kategori Kota Kecamatan dengan penggunaan air bersih sebesar 100 liter/orang/hari. Berikut perhitungan jumlah air bersih

1) Debit Air Bersih Domestik (Q_{domestik})

$$Q_{\text{domestik}} = \text{Jumlah Penduduk} \times \text{Kebutuhan air (liter/orang/hari)}$$

$$Q_{\text{domestik}} = 12.597 \text{ orang} \times 100 \text{ liter/orang/hari}$$

$$Q_{\text{domestik}} = 1.259.700 \text{ liter/hari}$$

2) Debit Air Bersih Non-Domestik

Menentukan debit air bersih non domestik dengan menggunakan pendekatan penduduk ekuivalen, karena beberapa kondisi tidak diperoleh jumlah data yang detail. Nilai penduduk ekuivalen dapat dilihat pada tabel 3.3. Sehingga total nilai penduduk ekuivalen tersaji pada tabel 5.4 berikut:

Tabel 5. 4 Tabel Penduduk Ekuivalen Total

Kegiatan	Bangunan	Nilai PE	Jumlah
Playgroup	12	0,27	3,24
Tk	3	0,27	0,81
SD	4	0,27	1,08
SLTP	1	0,33	0,33
Puskesmas	1	0,02	0,02
Posyandu	7	0,02	0,14
Balai Kesehatan Ibu Dan Anak	3	0,02	0,06
Masjid	9	0,03	0,27
Musholah	24	0,03	0,72
Toko Obat	2	0,67	1,34
Total			8,01

(Sumber: Buku Desa Depok, 2021)

Dari tabel 5.4 diatas didapat total nilai Penduduk Ekuivalen sebesar 5.73 dan dibulatkan menjadi 8,01 Sehingga didapat perhitungan debit air limbah non-domestik sebagai berikut:

$$Q_{\text{non-domestik}} = \text{Nilai PE total} \times \text{Kebutuhan air (liter/orang/hari)}$$

$$Q_{\text{non-domestik}} = 8 \times 100 \text{ liter/orang/hari}$$

$$Q_{\text{non-domestik}} = 800 \text{ liter/hari}$$

3) Debit Air Bersih Total ($Q_{\text{airbersihtotal}}$)

$$Q_{\text{airbersihtotal}} = Q_{\text{domestik}} + Q_{\text{non-domestik}}$$

$$Q_{\text{airbersihtotal}} = 1.259.700 \text{ liter/hari} + 800 \text{ liter/hari}$$

$$Q_{\text{airbersihtotal}} = 1.260.500 \text{ liter/hari}$$

c. Perhitungan Debit Air Limbah

Debit air limbah ditentukan dengan besarnya air bersih yang digunakan kemudian dikalikan dengan faktor air buangan rata-rata. Berikut perhitungan air limbah:

1) Debit Air Limbah Rata-Rata (Q_{abr})

Air limbah atau air buangan memiliki faktor rata – rata sebesar 60% - 80% (sesuai dengan sub bab 3.5.4 poin a). Dalam perencanaan ini faktor air limbah yang digunakan sebesar 80% penggunaan nilai tersebut mengacu pada Buku 3 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik – Terpusat Skala Permukiman (IUWASH, 2016), dengan menggunakan faktor rata-rata air buangan sebesar 80%.

$$\text{Debit air bersih total} = 1.260.500 \text{ liter/hari}$$

$$\text{Faktor air limbah rata-rata (} f_{\text{abr}} \text{)} = 80\%$$

$$Q_{\text{abr}} = Q_{\text{airbersihtotal}} \times f_{\text{abr}}$$

$$Q_{\text{abr}} = 1.260.500 \text{ l/hari} \times 80\%$$

$$Q_{\text{abr}} = 1.008.400 \text{ l/hari}$$

2) Debit Puncak Harian (Q_{puncak})

Faktor minimum air limbah sebesar 60% sesuai dengan subbab 3.5.4 pada poin b, sehingga perhitungan debit minimum air limbah dapat direncanakan sebagai berikut:

$$\text{Debit air limbah rata-rata (Q}_{abr}\text{)} = 1.008.400 \text{ l/hari}$$

$$\text{Jumlah penduduk total} = 12605 \text{ orang}$$

Sehingga didapat faktor peak sebagai berikut:

$$PF = \frac{5}{(P/1.000)^{0,2}}$$

$$PF = \frac{5}{\left(\frac{3501}{1000}\right)^{0,2}}$$

$$PF = 3,01$$

Maka debit puncak harian air limbah dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_{puncak} = Q_{abr} \times PF$$

$$Q_{puncak} = 1.008.400 \text{ l/hari} \times 3.01$$

$$Q_{puncak} = 3.037.346 \text{ l/hari}$$

Sehingga debit yang digunakan untuk menentukan dimensi setiap unit digunakan debit sebesar 3.037.346 l/hari atau setara dengan 3037,35 m³/hari

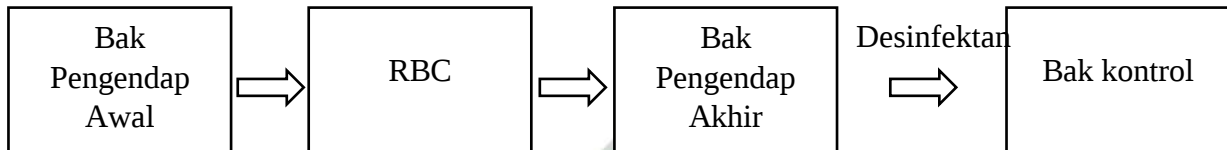
5.1.3 Pemilihan Alternatif Pengolahan

Penentuan alternatif pengolahan untuk limbah domestik memerlukan beberapa pertimbangan seperti efisiensi pengurangan beban pencemar, agar air limbah yang telah diolah memiliki beban pencemar yang sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Sehubungan dengan pertimbangan tersebut, kemudian dipilih alternatif pengolahan yang sesuai dengan kondisi di Desa Depok. Selain mempertimbangkan efisiensi pengolahan, kelebihan dan kekurangan dari unit pengolahan perlu diperhatikan serta diagram alir proses pengolahannya agar sesuai dan mendapatkan

alternatif yang tepat. Berikut merupakan beberapa alternatif pengolahan yang dapat diterapkan di Desa Depok.

a. Alternatif Pengolahan dengan *Rotating Biological Contactor*

Rotating Biological Contactor (RBC) merupakan pengolahan yang membutuhkan pengolahan primer seperti *grit chamber*, bak pengendap awal dan



sebagainya untuk mengurangi kadar solid yang akan masuk ke reactor. RBC merupakan unit pengolahan yang memanfaatkan biomassa yang menempel pada permukaan piringan. RBC juga memanfaatkan proses aerobik dengan memutar piringan agar biomassa dapat kontak dengan air limbah atau zat organik untuk menyerap oksigen. Berikut merupakan diagram alir pengolahan *Rotating Biological Contactor* yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini:

Gambar 5. 1 Diagram Alir Pengolahan Rotating Biological Contactor

(Sumber: Praditya, 2016)

Pengolahan menggunakan *rotating biological contactor* memiliki kelebihan dan kekurangan dalam proses pengolahannya. Berikut kelebihan dari RBC :

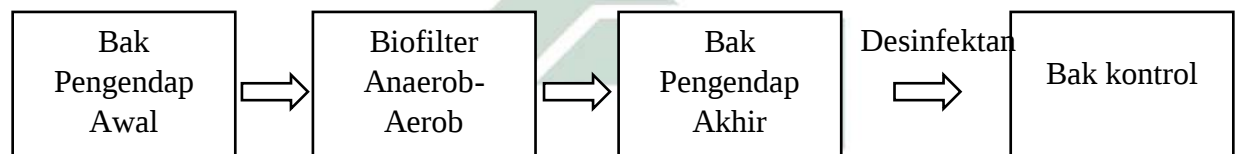
- Konsumsi energi rendah memerlukan aerasi.
- Produksi lumpur kecil.
- Kebutuhan lahan sedang.
- Biaya investasi tidak terlalu mahal.

Sedangkan kekurangan dari RBC sebagai berikut:

- Jika DO rendah dan terdapat sulfida dalam air limbah, dapat memicu pertumbuhan bakteri pengganggu yang akan tumbuh di media RBC
- Bahan sulit didapat di pasar lokal.

B. Alternatif Pengolahan dengan Biofilter Aerob-Anaerob

Biofilter aerob-anaerob merupakan pengolahan air limbah dengan memanfaatkan proses aerasi dan anaerob. Pada proses aerasi dengan memasukan oksigen kedalam air limbah, sedangkan untuk anaerob memanfaatkan bakteri pada kompartemen yang kedap udara. Pemilihan alternatif pengolahan menggunakan *biofilter aerob-anaerob*. Berikut merupakan gambar diagram alir dari pengolahan air limbah menggunakan *biofilter aerob-anaerob* yang dapat dilihat pada gambar 5.2 berikut :



Gambar 5. 2 Diagram Alir Pengolahan Biofilter Aerob-Anaerob

(Sumber: Said, 2008)

Pengolahan menggunakan *Biofilter aerob-anaerob* memiliki kelebihan dan kekurangan dalam proses pengolahannya. Berikut kelebihan dari Biofilter aerob-anaerob:

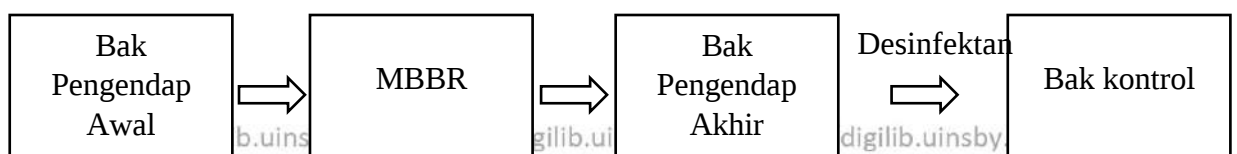
- Mengurangi zat organik, amoniak, deterjen, fosfat, TSS dan lain-lain.
- Biaya investasi murah.
- Mudah dioperasikan.
- Kebutuhan lahan kecil.

Kekurangan dari biofilter aerob-anaerob yaitu:

- Membutuhkan pencucian media secara berkala.
- Membutuhkan energi tinggi untuk aerasi.

C. Alternatif Pengolahan dengan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) merupakan proses pengolahan yang sederhana dan membutuhkan luas lahan yang lebih sedikit, yang teknologinya



menggunakan beribu biofilm dari polyethylene yang tercampur di dalam suatu reaktor dengan aerasi terus menerus. Berikut merupakan diagram alir pengolahan air limbah dengan menggunakan bak MBBR dapat dilihat pada gambar 5.3 Berikut:

Gambar 5. 3 Diagram Alir Pengolahan Moving Bed Biofilm Reactor

Pengolahan menggunakan MBBR memiliki kelebihan dan kekurangan dalam proses pengolahannya. Berikut Kelebihan dari MBBR:

- Efektif dalam mereduksi BOD, nitrifikasi, dan menghilangkan nitrogen.
- Tidak membutuhkan pengembalian lumpur.
- Mudah dioperasikan
- Biaya investasi murah
- Biaya operasional dan pemeliharaan tidak terlalu mahal

Kekurangan MBBR sebagai berikut:

- Perlu melakukan penggantian media yang telah jenuh secara rutin.
- Membutuhkan energi tinggi untuk menggerakkan media.
- Biaya operasional dan pemeliharaan.

D. Efisiensi Removal Alternatif Pengolahan

Efisiensi removal atau ketepatan pengurangan beban pencemar perlu diperhatikan setelah menentukan alternatif pengolahan yang sesuai untuk mengolah air limbah. Perhitungan efisiensi tiap unit berpengaruh dalam kinerja dan efektivitas dari instalasi pengolahan. Karena setiap alternatif unit pengolahan memiliki efisiensi removal yang berbeda-beda. Dengan merujuk pada penelitian terdahulu sebagai pertimbangan dalam merencanakan IPAL untuk mengetahui tingkat efisiensi pengurangan beban pencemar guna mengetahui efisiensi removal dalam proses pengolahan maupun efluen yang dihasilkan. Berikut merupakan ringkasan dari beberapa sumber mengenai efisiensi removal dapat dilihat pada tabel 5.5 berikut:

Tabel 5. 5 Efisiensi Removal

Unit	Efisiensi Removal
------	-------------------

	TSS	Amonia	Patogen
Bar Screen	0	0	0
Bak Pengendap Awal	^[1] 60		
RBC	^{[1][2]} 34-84	^[2] 43-66	
Biofilter aerob-anaerob	^[1] 87	^[1] 97	
MBBR	^[3] 90-94	^[4] 89	
Maturasi			^[5] 99
Bak Kontrol	0	0	0

Sumber:

^[1]Said, 2008

^[2]Sayekti, dkk., 2011

^[3]Said dan Santoso, 2015

^[4]Said dan Sya'bani 2014

^[5]Buku A Panduan Perencanaan IPLT, 2013

Mengetahui besaran kadar removal dengan mengalikan kadar pencemar dengan persentase removal unitnya. Semakin besar persentase removal dari suatu unit maka semakin naik efluen air limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan. Berikut merupakan contoh perhitungan efisiensi removal TSS menggunakan rumus 3.7 pada alternatif pengolahan dengan *biofilter aerob-anaerob* pada unit pengendap awal:

Diketahui:

Kadar pencemar = 255,8 mg.L (tabel 5.1)

Persentase removal = 60% (tabel 5.10)

Efisiensi removal TSS = Kadar pencemar x persentase removal

= 255,8 mg/L x 60%

= 102,32 mg/L

Perhitungan diatas menunjukan bahwa hasil efisiensi removal TSS sebesar 102,32 mg/L. Sehingga kadar pencemar air limbah yang akan masuk ke unit selanjutnya sebesar 102,32 mg/L. Perhitungan parameter pencemar dan unit

bangunan pengolah lainnya dalam perencanaan unit IPAL dapat dilakukan seperti contoh perhitungan diatas. Untuk perhitungan lebih rinci efisiensi removal pada unit bangunan IPAL lainnya dapat dilihat pada tabel 5.6 sampai tabel 5.8 sebagai berikut



Tabel 5. 6 Efisiensi Removal pada Alternatif Pengolahan Biofilter Aerob-Anaerob

No	Bangunan Pengolahan	TSS (mg/L)		Amonia (mg/L)		Total koliform (MPN/100ml)	
		Efisiensi	Kadar	Efisiensi	Kadar	Efisiensi	Kadar
		Tabel 5.5	Tabel 5.1	Tabel 5.5	Tabel 5.1	Tabel 5.5	Tabel 5.1
1	<i>Bar Screen</i>		255,80		17,90		11.000
		0%	0,00	0%	0,00	0%	0
2	Bak Pengendap Awal		255,80		17,90		11.000
		60%	153,48	0%	0,00	0%	0
3	Biofilter Aerob-Anaerob		102,32		17,90		11.000
		87%	89,02	97%	17,36	0%	0
4	Desinfektan (klorin)		13,30		0,54		11.000
		0%	0,00	0%	0,00	99%	10.890
5	Bak kontrol		13.30		0,54		110
		0%	0,00	0%	0,00	0%	0
6	Badan Air						
			13,30		0,54		110

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

Tabel 5. 7 Efisiensi Removal pada Alternatif Pengolahan *Moving Bed Biofilm Reactor*

No	Bangunan Pengolahan	TSS (mg/L)		Amonia (mg/L)		Total koliform (MPN/100ml)	
		Efisiensi	Kadar	Efisiensi	Kadar	Efisiensi	Kadar
		Tabel 5.5	Tabel 5.1	Tabel 5.5	Tabel 5.1	Tabel 5.5	Tabel 5.1
1	<i>Bar Screen</i>		255,80		17,90		11.000

No	Bangunan Pengolahan	TSS (mg/L)		Amonia (mg/L)		Total koliform (MPN/100ml)	
		Efisiensi	Kadar	Efisiensi	Kadar	Efisiensi	Kadar
		Tabel 5.5	Tabel 5.1	Tabel 5.5	Tabel 5.1	Tabel 5.5	Tabel 5.1
		0%	0,00	0%	0,00	0%	0
2	Bak Pengendap Awal		255,80		17,90		11.000
		60%	153,48	0%	0,00	0%	0
3	MBBR		102,32		17,90		11.000
		94%	96,18	89%	15,93	0%	0
4	Desinfektan (klorin)		6,14		1,97		11.000
		0%	0,00	0%	0,00	99%	10.890
5	Bak kontrol		6,14		1,97		110
		0%	0,00	0%	0,00	0%	0
6	Badan Air						
			6,14		1,97		110

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

Setelah melakukan perhitungan efisiensi pengurangan kadar parameter pada setiap alternatif pengolahan, maka didapatkan unit bangunan yang memiliki efektifitas pengolahan yang relatif paling tinggi untuk mengurangi kadar pencemar pada air limbah domestik berdasarkan dari hasil air limbah yang telah diolah. Hasil pengolahan dapat dilihat pada bak kontrol disetiap alternatif pengolahan. Berikut merupakan ringkasan hasil kadar pencemar dari setiap alternatif pengolahan yang dapat dilihat pada tabel 5.9 di bawah ini:

Tabel 5. 8 Hasil Efisiensi Removal Tiap Alternatif

Jenis Alternatif	TSS (mg/L)	Amonia (mg/L)	Total koliform (MPN/100ml)
<i>Rotating Biological Contactor (RBC)</i>	16.37	6.27	110
<i>Biofilter Anaerob -Aerob</i>	13.30	0.54	110
<i>Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)</i>	6.14	1.97	110
Baku Mutu	30	10	3000

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

Berdasarkan tabel diatas, hasil dari semua alternatif pengolahan sesuai dengan buku mutu air limbah domestik. Sehingga untuk penentuan alternatif pengolahan perlu dilakukan pembobotan atau penilaian. Penilaian dilakukan dengan membandingkan antara biaya investasi, biaya pengolahan, efisiensi penurunan kadar pencemar serta kelebihan dan kelemahan setiap alternatif. Berikut tabel penilaian setiap unit yang dapat dilihat pada tabel 5.10 :

Tabel 5. 9 Pembobotan terhadap teknologi Pengolahan

No.	Kriteria Pemilihan	Bobot Penilaian		
		RBC	Biofilter Aerob-Anaerob	MBBR
1	Biaya Investasi	1	3	3
2	Efisiensi Pengolahan	2	3	3
2	Kebutuhan Lahan	2	3	3

No.	Kriteria Pemilihan	Bobot Penilaian		
		RBC	Biofilter Aerob-Anaerob	MBBR
4	Pengoperasian dan Pemeliharaan	2	3	3
5	Biaya Operasional dan Pemeliharaan	2	3	2
total		9	15	14

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

Keterangan: 1 = mahal/sulit/besar, 2 = sedang/relatif, 3 = murah/mudah.kecil

Tabel 5.10 menunjukkan biofilter anaerob - aerob memiliki nilai paling tinggi diantara pengolahan yang lain yaitu sebesar 15. Nilai tersebut menunjukkan bahwa teknologi biofilter anaerob - aerob memiliki biaya investasi dan operasional pemeliharaan yang murah, tidak memerlukan lahan yang besar serta memiliki beberapa kelebihan lain. Sehingga untuk IPAL komunal di Desa Depok menggunakan alternatif pengolahan dengan teknologi biofilter anaerob - aerob.

Langkah selanjutnya menghitung efisiensi berdasarkan baku mutu yang telah ditetapkan. Perhitungan persentase efisiensi removal pada alternatif IPAL biofilter anaerob-aerob ditentukan dengan membandingkan kadar pencemar pada air limbah dengan standar baku mutu yang telah ditetapkan, contoh perhitungan sebagai berikut:

Diketahui:

Kadar TSS = 255,8 mg/l (tabel 5.1)

Baku mutu TSS = ≤ 30 mg/l (tabel 5.1)

Kadar Amonia = 17,9 mg/l (tabel 5.1)

Baku mutu Amonia = 10 mg/l (tabel 5.1)

Kadar Total Koliform = 11000 MPN/100ml (tabel 5.1)

Baku mutu total koliform = 3000 MPN/100ml

$$\begin{aligned}
 \text{Removal TSS} &= \frac{\text{Kadar TSS} - \text{baku mutu}}{\text{kadar TSS}} \times 100\% \\
 &= \frac{255.8 \text{ mg/L} - 30 \text{ mg/L}}{255.8 \text{ mg/L}} \times 100\% \\
 &= 88,27 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Removal Amonia} &= \frac{\text{Kadar amonia}-\text{baku mutu}}{\text{kadar amonia}} \times 100\% \\
 &= \frac{17,9 \text{ mg/L}-10 \text{ mg/L}}{17,9 \text{ mg/L}} \times 100\% \\
 &= 44 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Removal total koliform} &= \frac{\text{Kadar t.koliform}-\text{baku mutu}}{\text{kadar t.koliform}} \times 100\% \\
 &= \frac{11000 \text{ MPN}/100\text{ml}-3000 \text{ MPN}/100\text{ml}}{11000 \text{ MPN}/100\text{ml}} \times 100\% \\
 &= 72,7 \%
 \end{aligned}$$

Sehingga dapat diringkas seperti tabel dibawah ini:

Tabel 5. 10 Removal Yang Dibutuhkan Unit Biofilter Anaerob-Aerob

Parameter	Kadar	Baku Mutu	Satuan	Removal yang dibutuhkan
TSS	59,3	30	mg/L	88,27 %
Amonia	17,9	10	mg/L	44 %
Total Koliform	11.000	≤ 3.000	MPN/100ml	72,7%

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

Perhitungan persentase removal yang dibutuhkan oleh unit IPAL dimaksudkan untuk mengetahui besaran kadar pencemar yang harus di *removal* agar memenuhi standar baku mutu minimum. Sehingga memudahkan dalam menghitung beban pencemar yang harus dihilangkan mulai dari unit bangunan awal ketika influen air limbah masuk hingga effluen air limbah keluar dan tidak mencemari lingkungan ketika dibuang ke badan air penerima. Berikut contoh perhitungan *removal* pada unit pengendap awal menggunakan rumus 3.7 sampai rumus 3.16:

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 \text{Debit, Q} &= 3.037.346 \text{ l/hari} && (\text{subbab 5.2.3}) \\
 &= 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{Removal TSS} &= 60\% && (\text{tabel 5.5}) \\
 \text{Removal amonia} &= 0\% && (\text{tabel 5.5}) \\
 \text{Removal total koliform} &= 0\% && (\text{tabel 5.5})
 \end{aligned}$$

TSS in = 255,8 mg/l (tabel 5.1)
 = 0,256 kg/m³
 mTSS in = TSS in x Q
 = 0,256 kg/m³ x 3037,35 m³/hari
 = 278,69 kg/hari
 TSS eff = TSS in x (1 – Removal TSS)
 = 255.8 mg/l x (1 – 60%)
 = 102,32 mg/l
 mTSS eff = TSS in x (100% – Removal TSS)
 = 278,69 kg/hari x (100% – 60%)
 = 111,47 kg/hari
 Amonia in = 17,9 mg/l (tabel 5.1)
 = 0,018 kg/m³
 mAmonia in = Amonia in x Q
 = 0,073 kg/m³ x 3037,35 m³/hari
 = 19,5 kg/hari
 Amonia eff = Amonia in x (1 – Removal Amonia)
 = 17,9 mg/l x (1 – 0%)
 = 17,9 mg/l
 mAmonia eff = Amonia in x (100% – Removal Amonia)
 = 19,5 kg/hari x (100% – 0%)
 = 17,9 kg/hari
 Total koliform in = 11000 mg/l (tabel 5.1)
 = 11 kg/m³
 mTotal koliform in = total koliform in x Q
 = 11 kg/m³ x 3037,35 m³/hari
 = 11.984,17 kg/hari
 Total koliform eff = total koliform in x (1 – Removal total koliform)
 = 225,8 mg/l x (1 – 0%)

$$= 22,58 \text{ mg/l}$$

$$m_{\text{Total koliform eff}} = \text{TSS in} \times (100\% - \text{Removal total koliform})$$

$$= 11.984,17 \text{ kg/hari} \times (100\% - 0\%)$$

$$= 11.984,17 \text{ kg/hari}$$

Perhitungan beban TSS pada air limbah diatas menjelaskan bahwa kadar influen TSS sebesar 255,8 mg/l yang masuk ke dalam IPAL dengan debit air limbah (Qpeak) sebesar 1089.47 m³/hari memiliki masa BOD sebesar 278,69 kg/hari. Namun setelah melewati unit pengendap awal terjadi penghilangan kadar pencemar sebesar 60%, sehingga terjadi penurunan kadar pencemar yang masuk ke unit pengolahan selanjutnya yaitu unit biofilter aerob-anaerob dengan beban TSS masuk sebesar 102,32 mg/l begitu seterusnya pada parameter lain dan unit pengolah lainnya. Untuk perhitungan lebih rinci mengenai efisiensi removal pada unit bangunan lainnya dapat dilihat di tabel berikut:

Tabel 5. 11 Tabel Efisiensi *Removal Barscreen*

Bar Screen				
Influent	Uraian		Kadar	Satuan
	TSS Loading	=	255,80	mg/L
		=	0,2558	kg/m3
		=	776,95	kg/hari
	Amonia Loading	=	17,90	mg/L
		=	0,018	kg/m3
		=	54,4	kg/hari
	Total Coliform Loading	=	11000	mg/L
		=	11	kg/m3
		=	33410,8	kg/hari
Effluent	Uraian	E R	Kadar	Satuan
	TSS Loading	= 0%	255,8	mg/L
		=	776,9531137	kg/hari
	Amonia Loading	= 0%	17,9	mg/L
		=	54,36849388	kg/hari
	Total Coliform Loading	= 0%	11000	mg/L
		=	33410,8063	kg/hari

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

Tabel 5. 12 Efisiensi Removal Pengendap Awal

Bak Pengendap Awal				
Influent	Uraian		Kadar	Satuan
	TSS Loading	=	255,80	mg/L
		=	0,2558	kg/m3
		=	776,95	kg/hari
	Amonia Loading	=	17,90	mg/L
		=	0,018	kg/m3
		=	54,4	kg/hari
	Total Coliform Loading	=	11000	mg/L
		=	11	kg/m3
		=	33410,8	kg/hari
Effluent	Uraian	E R	Kadar	Satuan
	TSS Loading	= 60%	102,32	mg/L
		=	310,7812455	kg/hari
	Amonia Loading	= 0%	17,9	mg/L
		=	54,36849388	kg/hari
	Total Coliform Loading	= 0%	11000	mg/L
		=	33410,8063	kg/hari

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

Tabel 5. 13 Efisiensi Removal Biofilter Aerob-Anaerob

Biofilter Aerob-Anaerob				
Influent	Uraian		Kadar	Satuan
	TSS Loading	=	102,32	mg/L
		=	0,10232	kg/m3
		=	310,78	kg/hari
	Amonia Loading	=	17,90	mg/L
		=	0,018	kg/m3
		=	54,4	kg/hari
	Total Coliform Loading	=	11000	mg/L
		=	11	kg/m3
		=	33410,8	kg/hari
Effluent	Uraian	E R	Kadar	Satuan
	TSS Loading	= 87%	13,3016	mg/L
		=	40,40156191	kg/hari
	Amonia Loading	= 97%	0,537	mg/L

Biofilter Aerob-Anaerob					
		=		1,631054816	kg/hari
	Total Coliform Loading	=	0%	11000	mg/L
		=		33410,8063	kg/hari

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

Tabel 5. 14 Efisiensi Removal Desinfeksi

Desinfeksi				
Influent	Uraian		Kadar	Satuan
	TSS Loading	=	5,32	mg/L
		=	0,00532064	kg/m3
		=	16,16	kg/hari
	Amonia Loading	=	0,54	mg/L
		=	0,001	kg/m3
		=	1,6	kg/hari
	Total Coliform Loading	=	11000	mg/L
		=	11	kg/m3
		=	33410,8	kg/hari
Effluent	Uraian	E R	Kadar	Satuan
	TSS Loading	= 0%	5,32064	mg/L
		=	5,796675918	kg/hari
	Amonia Loading	= 0%	0,537	mg/L
		=	0,585045214	kg/hari
	Total Coliform Loading	= 99%	110	mg/L
		=	334,108063	kg/hari

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

Tabel 5. 15 Efisiensi Removal Bak Kontrol

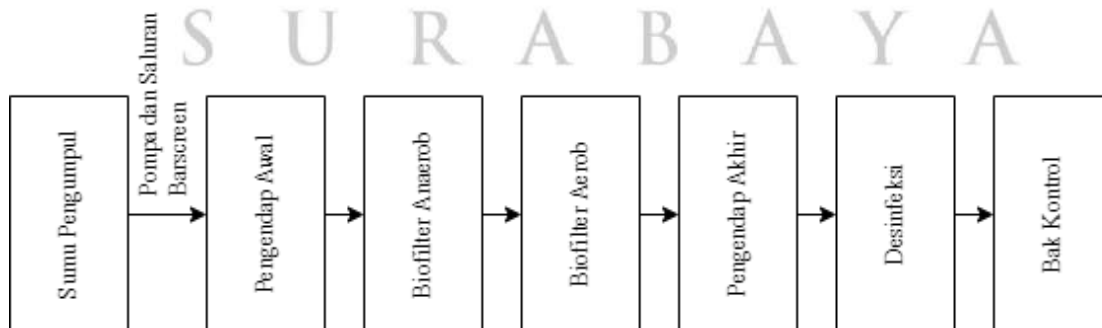
Bak Kontrol				
Influent	Uraian		Kadar	Satuan
	TSS Loading	=	5,32	mg/L
		=	0,00532064	kg/m3
		=	5,80	kg/hari
	Amonia Loading	=	0,54	mg/L
		=	0,001	kg/m3
		=	0,6	kg/hari

Bak Kontrol					
	Total Coliform Loading	=	110	mg/L	
		=	0,11	kg/m3	
		=	334,1	kg/hari	
Effluent	Uraian	E R	Kadar	Satuan	
	TSS Loading	=	0%	5,32064	mg/L
		=		16,16062476	kg/hari
	Amonia Loading	=	0%	0,537	mg/L
		=		0,585045214	kg/hari
	Total Coliform Loading	=	0%	110	mg/L
		=		334,108063	kg/hari

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

5.2. Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah

Berdasarkan perhitungan pemilihan alternatif desain serta efisiensi pengurangan beban pencemar, alternatif pengolahan yang dipilih untuk perencanaan IPAL Desa Depok adalah alternatif pengolahan air limbah dengan menggunakan unit biofilter anaerob-aerob. Alternatif pengolahan ini dipilih karena memiliki tingkat efisiensi removal yang baik. Unit biofilter anaerob-aerob ini dapat mereduksi kadar pencemar TSS sebesar 7,67 mg/L, BOD sebesar 0,59 mg/L, COD sebesar 1,65 mg/L, serta amoniak sebesar 2,70 mg/L yang dapat dilihat pada tabel 5.14. Selain itu, *operational* dan *maintenance* unit biofilter anaerob-aerob lebih mudah sehingga sesuai untuk penggunaan skala desa. Berikut diagram alir dapat dilihat pada gambar 5.4 dan perhitungan dimensi tiap unit pengolahan sebagai berikut:



Gambar 6. 1 Diagram Alir Pengolahan Biofilter Anaerob-Aerob

Sumber: Said, 2008

5.2.1 Desain Unit Sumur Pengumpul

Sumur pengumpul merupakan unit pengolahan pendahuluan sebelum air limbah yang akan diolah masuk ke pengolahan pertama atau awal. Kriteria desain unit sumur pengumpul mengacu pada subbab 2.6.1 poin 1. Sehingga dapat direncanakan perhitungan sumur pengumpul sebagai berikut:

- a. Kapasitas Pengolahan/debit, $Q = 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari}$ (Subbab 5.2.3)
 $= 2,1 \text{ m}^3/\text{menit}$
- b. Waktu tinggal, $t_d = 6 \text{ menit}$ (Subbab 2.6.1)
- c. Rasio panjang, lebar $= 2:1$ (Subbab 2.6.1)
- d. tinggi, $h = 2,5 \text{ m}$ (Subbab 2.6.1)
- e. Tinggi total $= 7 \text{ m}$ (kedalaman spab)
- f. *Freeboard*, $fb = 0,3 \text{ m}$ (Subbab 2.6.1)
- g. Ketebalan dinding $= 0,2 \text{ m}$ (Subbab 2.6.1)

Berikut perhitungan dimensi sumur pengumpul yang direncanakan sesuai dengan kriteria desain :

- a. Volume sumur (V)

$$\begin{aligned} V &= Q / t_d \\ &= 2,1 \text{ m}^3/\text{menit} \times 6 \text{ menit} \\ &= 12,66 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- b. Luas Sumur (A)

$$\begin{aligned} A &= V/h \\ &= \frac{12,66 \text{ m}^3}{2,5 \text{ m}} \\ &= 5,1 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- c. Rasio Panjang Lebar dan Tinggi

Jika rasio yang direncanakan $P:L = 2:1$ dengan tinggi efektif (h) = 2,5 m, maka:

$$\text{Lebar (L)} = (A / 2)^{0,5}$$

$$\begin{aligned}
 &= (5,1 \text{ m}^2 / 2)^{0,5} \\
 &= 1,59 \text{ m} \\
 &= 1,6 \text{ m} \\
 \text{Panjang (P)} &= L \times 2 \\
 &= 1,6 \text{ m} \times 2 \\
 &= 3,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan Panjang (P) 3,2 m, lebar (L) 1,6 m dan tinggi bak 2,5 m. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka dapat diketahui volume efektif (V_{ef}) dan luas efektif (A_{ef}) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{d. } A_{ef} &= P \times L \\
 &= 3,2 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} \\
 &= 5,12 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{e. } V_{ef} &= A_{ef} \times h \\
 &= 5,12 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ m} \\
 &= 12,8 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

f. Cek Waktu Tinggal (HRT_{cek})

$$\begin{aligned}
 HRT_{cek} &= \frac{V_{ef}}{Q} \\
 &= \frac{12,8 \text{ m}^3}{2,1 \text{ m}^3/\text{menit}}
 \end{aligned}$$

= 6,5 menit (sesuai dengan peraturan menteri pekerjaan

umum dan perumahan rakyat no. 4 tahun 2017)

g. Ketinggian total (H_{total})

$$\begin{aligned}
 H_{total} &= H_{air} + F_b \\
 7 \text{ m} &= 2,5 \text{ m} + F_b \\
 F_b &= 7 \text{ m} - 2,5 \text{ m} \\
 &= 4,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, dimensi unit sumur pengumpul yang direncanakan sebagai berikut:

- Panjang bak = 2 m

- Lebar bak = 1 m
- Tinggi bak = 2,5 m
- Tinggi total bak = 7 m

5.2.2 Desain Pompa

Pompa digunakan untuk memindahkan air dan pencemar yang dibawa ke pengolahan selanjutnya. Pompa diperlukan dikarenakan elevasi saluran pembawa air limbah lebih rendah dari pada pengolahan selanjutnya. Berikut merupakan kriteria dari pompa:

- Debit air limbah, $Q = 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari}$ (Subbab 5.2.3)
 $= 0,035 \text{ m}^3/\text{detik}$
- Tinggi, $h = 7 \text{ m}$
- Koefisien pipa besi, $C = 150$ (*hazen-william*)
- Head statis, $h_s = 7 \text{ m}$
- Kecepatan dalam pipa, $V_p = 1 \text{ m}^3/\text{detik}$
- Gravitasi, $g = 9,81$

Berikut perhitungan pompa berdasarkan dari kriteria yang telah direncanakan yang mengacu pada buku D pedoman perencanaan teknik terinci sistem pengelolaan air limbah domestik terpusat SPALD-T tahun 2018:

- Luas Pipa (A)

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$1 \text{ m}^3/\text{detik} = \frac{0,035 \frac{\text{m}^3}{\text{detik}}}{A}$$

$$A = 0,035 \text{ m}$$

- Diameter (D)

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$0,035 \text{ m}^3/\text{detik} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$D = 0,211 \text{ m}$$

- Head pipa/head mayor (Δh_{mayor})

$$\begin{aligned}\Delta h_{\text{mayor}} &= \left(\frac{151 \times Q}{C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \\ &= \left(\frac{151 \times 0,035 \text{ m}^3/\text{s}}{150 \times (0,13 \text{ m})^{2,63}} \right)^{1,85} \\ &= 0,049 \text{ meter}\end{aligned}$$

d. *Head valve/fitting/head minor* (Δh_{minor})

$$\begin{aligned}\Delta h_{\text{minor}} &= n \left[k \times \left(\frac{v^2}{2 \times g} \right) \right] \\ &= 2 \left[0,33 \times \left(\frac{1^2}{2 \times 9,81} \right) \right] \\ &= 0,033 \text{ meter}\end{aligned}$$

e. *Head total pipa* (H_{pump})

$$\begin{aligned}H_{\text{pump}} &= h_s + \Delta h_{\text{mayor}} + \Delta h_{\text{minor}} \\ &= 7 \text{ m} + 0,049 \text{ m} + 0,033 \text{ m} \\ &= 7,0525 \text{ meter}\end{aligned}$$

Sehingga didapatkan spesifikasi pompa screw dipasaran sebagai berikut:

- Spesifikasi merk pompa = *Hebei Yuandong G105-2 R107*
- Tipe kapasitas pompa = 50 m³/jam
- Headloss = 12 bar
- Power (Output listrik) = 30 kw
- Pipa outlet = 5 inchi

5.2.3 Desain Unit Saluran Bar Screen

Kriteria *bar screen* diambil dari tabel 2.4 Sehingga direncanakan kriteria untuk unit *bar screen* sebagai berikut:

- a. Kapasitas Pengolahan/debit, Q = 3037,35 m³/hari (Subbab 5.2.3)
= 126,55 m³/jam
= 0,035 m³/detik
- b. Kecepatan aliran bukaan, h_v = 0,6 m/detik (tabel 2.4)
- c. Jarak bukaan, b = 0,05 m (tabel 2.4)
- d. Lebar batang = 0,04 m (tabel 2.4)
- e. Kemiringan, θ = 60° (tabel 2.4)
- f. Gravitasi, g = 9,82 m/s² (tabel 2.4)

- g. Koefisien kekasaran, n = 0,015 (tabel 2.4)
- h. Lebar saluran, l = 1 m (sama dengan sumur pengumpul)
- i. Panjang Saluran = 2 m (sama dengan sumur pengumpul)
- j. Ketinggian air, h = 0,5 m

Berikut perhitungan unit bak *bar screen* berdasarkan dari kriteria yang telah direncanakan mengacu pada persamaan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No.4 tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik.

- a. Luas area (A_{cross})

$$\begin{aligned}
 A_{\text{cross}} &= \text{lebar saluran} \times \text{tinggi} \\
 &= l \times h \\
 &= 1\text{m} \times 0,5\text{m} \\
 &= 0,5 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- b. Jumlah celah saluran (N_c)

$$\begin{aligned}
 N_c &= \frac{l}{b+w} \\
 &= \frac{1 \text{ m}}{0,05\text{m}+0,005 \text{ m}} \\
 &= 19
 \end{aligned}$$

- c. Jumlah batang (N)

$$\begin{aligned}
 N &= N_c - 1 \\
 &= 19 - 1 \\
 &= 18 \text{ batang}
 \end{aligned}$$

- d. Lebar celah total (L_{ct})

$$\begin{aligned}
 L_{\text{ct}} &= n \times b \\
 &= 18 \times 0,05 \text{ m} \\
 &= 0,9 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- e. Panjang kisi yang terendam air (K_t)

$$\begin{aligned}
 K_t &= h / \sin 60^\circ \\
 &= \frac{0,5 \text{ m}}{\sin 60^\circ}
 \end{aligned}$$

$$= 0,577 \text{ m}$$

f. Luas penampang (A)

$$\begin{aligned} A &= \text{lebar saluran} \times \text{tinggi air} \\ &= 0,9 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \\ &= 0,45 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

g. Panjang Penampang (P)

$$\begin{aligned} P &= \text{lebar celah total} + (2 \times \text{tinggi air}) \\ &= 0,9 \text{ m} + (2 \times 0,5 \text{ m}) \\ &= 1,9 \text{ m} \end{aligned}$$

h. Rerata radius hidraulik (R)

$$\begin{aligned} R &= \frac{A}{P} \\ &= \frac{0,45 \text{ m}^2}{1,9 \text{ m}} \\ &= 0,23 \text{ m} \end{aligned}$$

i. Kemiringan energi (S)

$$\begin{aligned} S &= \frac{(Q \times n)^2}{A^2 R^{\frac{4}{3}}} \\ &= \frac{\left(\frac{0,035 \text{ m}^3}{\text{detik}} \times 0,015\right)^2}{(0,45 \text{ m}^2)^2 (0,23 \text{ m})^{\frac{4}{3}}} \\ &= 9,371 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

j. Kecepatan setelah melalui saringan (V_2)

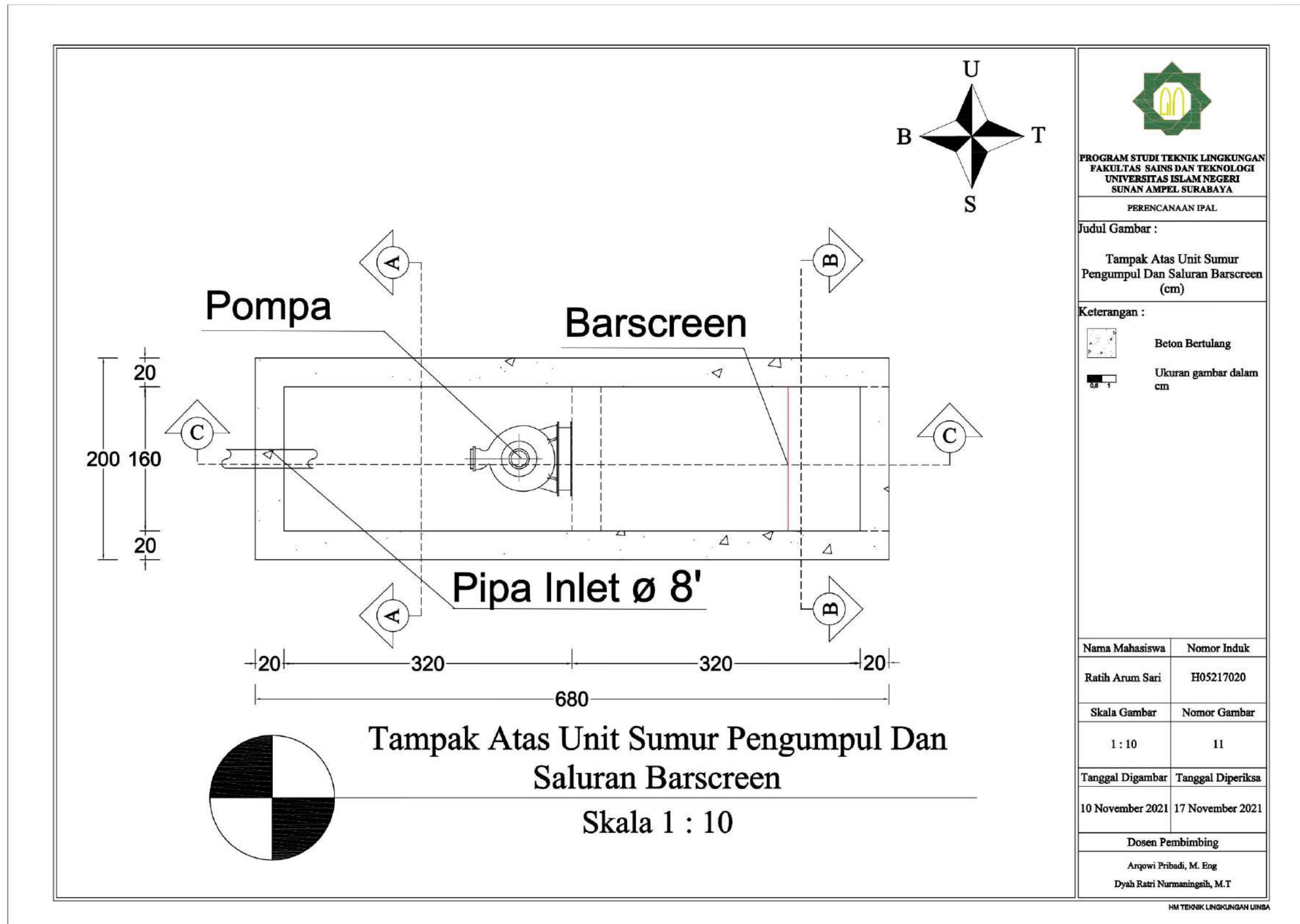
$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{1}{0,015} \times 0,23 \text{ m}^{\frac{2}{3}} \times (9,378 \times 10^{-6})^{\frac{1}{2}} \\ &= 0,078 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

k. Head loss (hl)

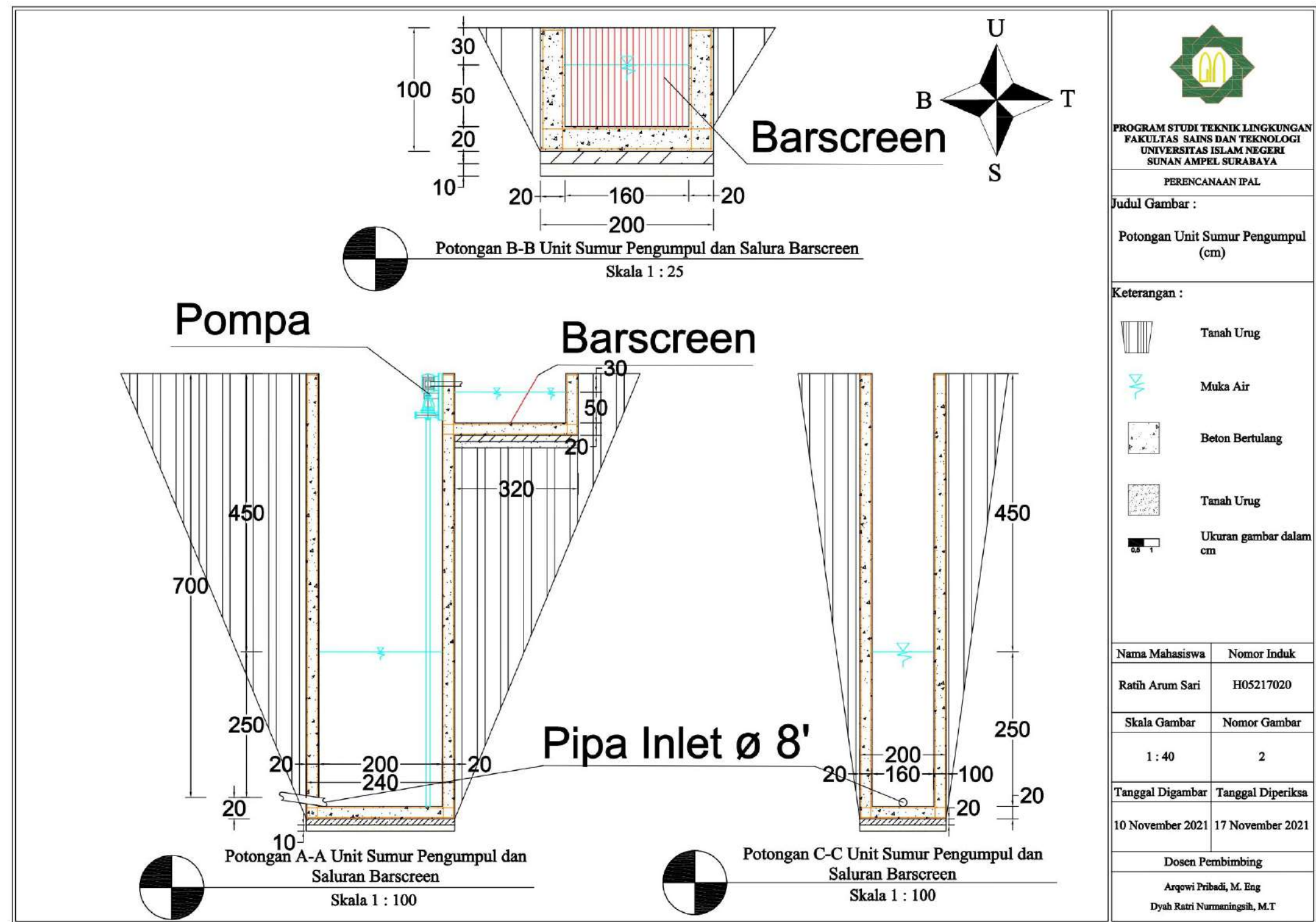
$$\begin{aligned} Hl &= \beta \times \left(\frac{w}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \times hv \times \sin 60^\circ \\ &= 2,42 \left(\frac{0,005 \text{ m}}{0,05}\right)^{\frac{4}{3}} \times \left(\frac{(0,6 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}\right) \times \sin 60^\circ \\ &= 0,0017 \end{aligned}$$

Berikut merupakan merupakan rencana dari unit sumur pengumpul dan saluran bar screen yang dapat dilihat pada gambar 5.4 dan gambar 5.5 dibawah ini.





Gambar 5. 4 Tampak Atas Unit Sumur Pengumpul



Gambar 5. 5 Potongan Unit Sumur Pengumpul

5.2.4 Desain Unit Pengendap Awal

Bak pengendap awal sebagai unit pertama yang menampung air limbah yang akan diolah pada pengolahan selanjutnya. Kriteria desain unit bak pengendap awal dilihat dari tabel 2.7 sehingga dapat direncanakan perhitungan bak pengendap awal sebagai berikut:

- a. Kapasitas Pengolahan/debit, $Q = 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari}$ (Subbab 5.2.3)
 $= 126,55 \text{ m}^3/\text{jam}$
- b. Waktu tinggal, $t_d = 2 \text{ jam}$ (tabel 2.7)
- c. *Overflow Rate*, $OR = 70 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$ (tabel 2.7)
- d. tinggi, $h = 4 \text{ m}$ (tabel 2.7)
- e. *Freeboard*, $fb = 0,3 \text{ m}$ (tabel 2.7)
- f. Ketebalan dinding $= 0,2 \text{ m}$ (tabel 2.7)

Berikut perhitungan dimensi bak pengendap awal yang direncanakan sesuai dengan kriteria desain :

- a. Volume bak (V)

$$\begin{aligned} V &= Q / t_d \\ &= 126,44 \text{ m}^3/\text{jam} \times 2 \text{ jam} \\ &= 253,11 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- b. Luas Area (A)

$$\begin{aligned} A &= V/h \\ &= \frac{253,11 \text{ m}^3}{4 \text{ m}} \\ &= 63,28 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- c. Rasio Panjang Lebar dan Tinggi

Jika rasio yang direncanakan $P:L = 4:1$ dengan tinggi efektif (h) = 3 m, maka:

$$\begin{aligned} \text{Lebar (L)} &= (A / 4)^{0,5} \\ &= (63,28 \text{ m}^2 / 4)^{0,5} \\ &= 3,9 \text{ m} \\ &= 4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang (P)} &= L \times 4 \\
 &= 4 \text{ m} \times 4 \\
 &= 16 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan Panjang (P) 16 m, lebar (L) 4 m dan tinggi bak 4 m. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka dapat diketahui volume efektif (V_{ef}) dan luas efektif (A_{ef}) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 A_{ef} &= P \times L \\
 &= 16 \text{ m} \times 4 \text{ m} \\
 &= 64 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ef} &= A_{ef} \times h \\
 &= 64 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m} \\
 &= 192 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

d. Cek Waktu Tinggal (HRT_{cek})

$$\begin{aligned}
 HRT_{cek} &= \frac{V_{ef}}{Q} \\
 &= \frac{192 \text{ m}^3}{126,55 \text{ m}^3/\text{jam}} \\
 &= 1,5 \text{ jam (sesuai dengan metcalf&eddy, 2003 pada tabel}
 \end{aligned}$$

2.7)

e. Laju Beban Organik (ORL_{cek})

$$\begin{aligned}
 ORL_{cek} &= \frac{Q}{A_{ef}} \\
 &= \frac{3037,35 \text{ m}^3/\text{hari}}{64 \text{ m}^2} \\
 &= 47,46 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}
 \end{aligned}$$

f. Ketinggian Total (h_{total})

$$\begin{aligned}
 h_{total} &= h + fb \\
 &= 4 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\
 &= 4,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

g. Jumlah Timbulan Lumpur Per Hari

$$\begin{aligned}
 m_{Lumpur} &= \text{konsentrasi TSS lumpur} \times Q \times \text{efisiensi removal TSS} \\
 &= 255,8 \text{ g/m}^3 \times 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari} \times 60\%
 \end{aligned}$$

$$= 466,17 \text{ kg/hari}$$

h. Volume Produksi Lumpur (Vlumpur)

$$\begin{aligned} \text{Vlumpur} &= \frac{m_{\text{Lumpur}}}{\text{berat jenis lumpur persentase kandungan solid}} \\ &= \frac{466,17 \text{ kg/hari}}{1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 5\%} \\ &= 9,05 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

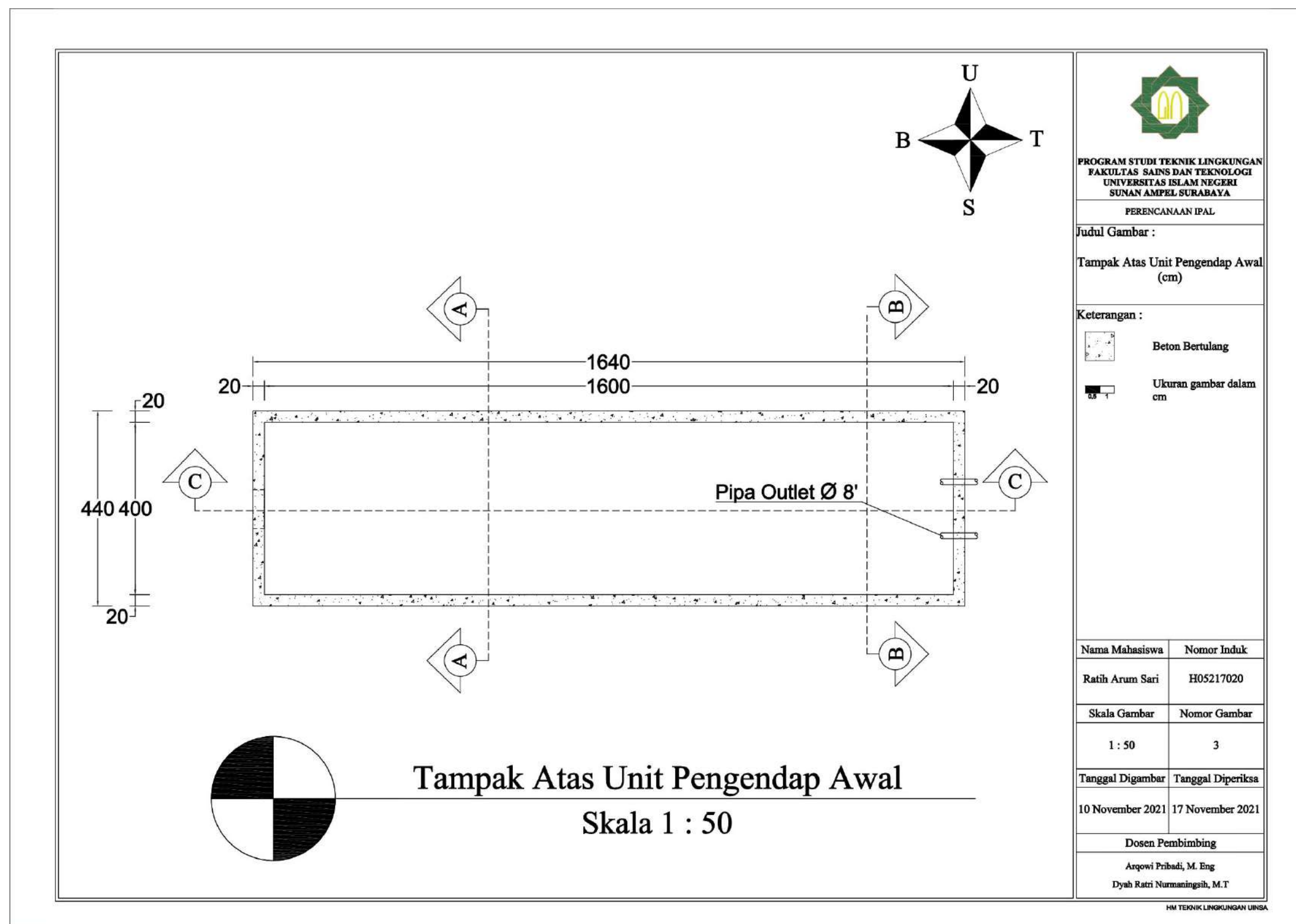
Berdasarkan perhitungan tersebut, didapatkan dimensi unit pengendap awal yang direncanakan sebagai berikut:

- Panjang bak = 16 m
- Lebar bak = 4 m
- Tinggi bak = tinggi bak + tinggi sludge hopper
= 4 m + 1,3 m
= 5,3 m
- Tinggi total bak = 5,6 m
- Luas area = 64 m

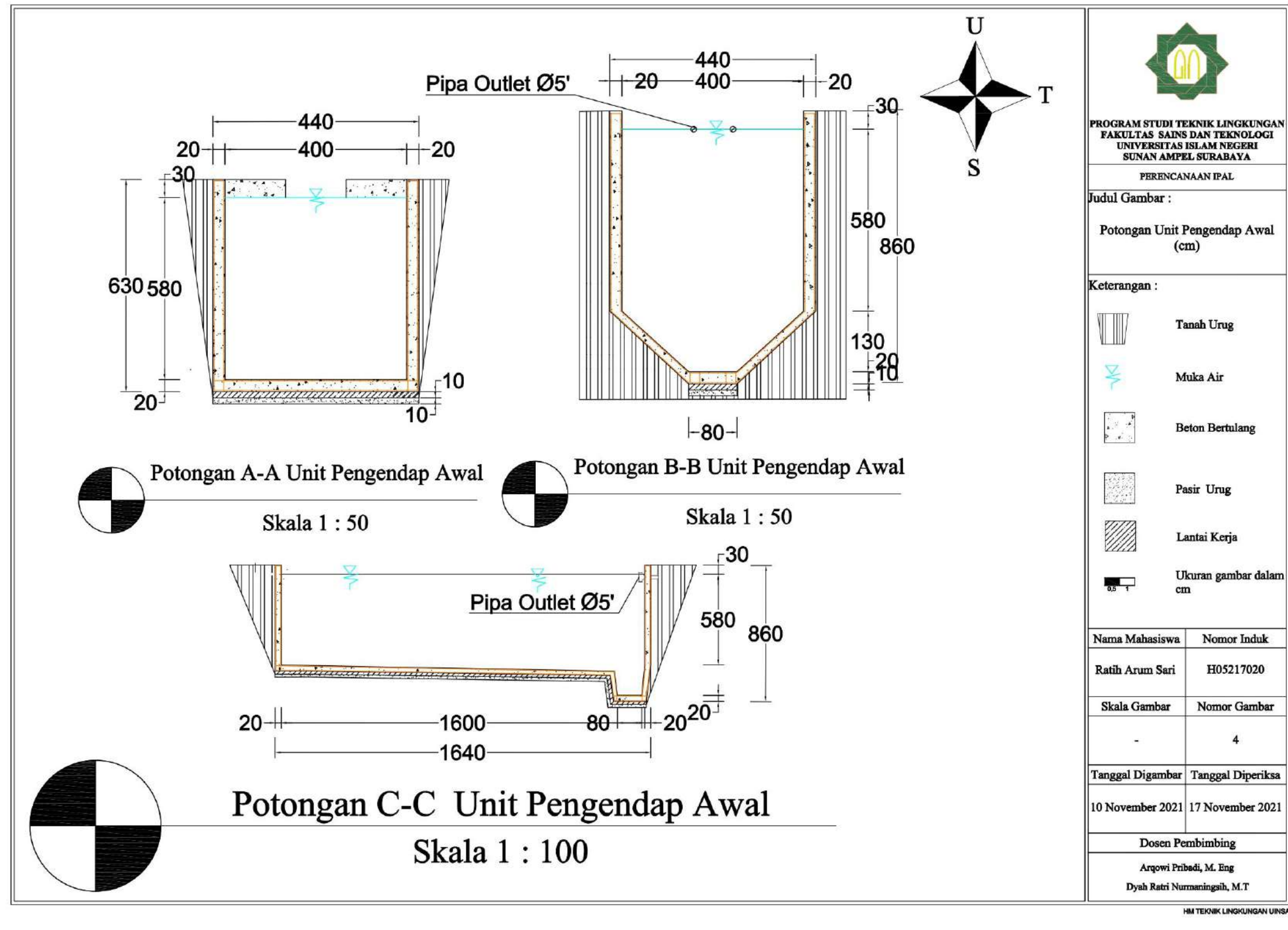
Langkah selanjutnya menghitung dimensi pengumpul lumpur (*sludge hopper/sludge zone*) yang ada pada bak pengendap awal. Berikut asumsi yang digunakan:

- Lebar atas, L_{atas} = 1,3 m ($\frac{1}{3}$ lebar bak) (subbab 2.6.3)
- Lebar bawah, L_{bawah} = 0,8 m (subbab 2.6.3)
- Panjang, P = 16 m (sama dengan Panjang bak)
- Tinggi, h = $\frac{1}{3} \times$ tinggi bak
= $\frac{1}{3} \times 4 \text{ m}$
= 1,3 m
- Volume = $\frac{1}{2} \times h \times (l_{\text{atas}} + l_{\text{bawah}}) \times p$
= $\frac{1}{2} \times 1,3 \text{ m} \times (1,3 \text{ m} + 0,8 \text{ m}) \times 16 \text{ m}$
= 22,75 m²

Berikut merupakan gambar DED dari bak pengendap awal yang dapat dilihat pada gambar 5.4 dan gambar 5.5



Gambar 5. 6 Tampak Atas Unit Pengendap Awal



Gambar 5. 7 Potongan Unit Pengendap Awal

5.2.5 Desain Unit Biofilter Anaerob

Kriteria desain dari unit biofilter anaerob dapat dilihat pada tabel 2.12, berdasarkan kriteria desain tersebut maka dapat direncanakan kriteria untuk unit biofilter anaerob sebagai berikut:

- a. Kapasitas pengolahan/debit, $Q = 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari}$ (Subbab 5.2.3)
 $= 126,55 \text{ m}^3/\text{jam}$
 $= 0,035 \text{ m}^3/\text{detik}$
- b. COD $= 73,4 \text{ g/m}^3$ (tabel 2.12)
- c. Beban organik $= 0,5 \text{ kg COD/m}^3.\text{hari}$ (tabel 2.12)
- d. Waktu tinggal, $t_d = 0,5 \text{ hari}$ (tabel 2.12)
- e. Tinggi bak, $h = 2,5 \text{ m}$ (tabel 2.12)
- f. Jarak plat ke dasar bak $= 0,5$ (tabel 2.12)
- g. *Freeboard* $= 0,3 \text{ m}$ (tabel 2.12)
- h. Jumlah bak $= 2 \text{ buah}$

Berikut perhitungan unit bak biofilter anaerob berdasarkan dari kriteria yang telah direncanakan mengacu pada persamaan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No.4 tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik.

- a. Volume ruang biofilter (V_{bak})

$$\begin{aligned}
 V &= Q \times t_d \\
 &= 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,5 \text{ hari} \\
 &= 1518,7 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Direncanakan ruang biofilter memiliki 2 bak sehingga untuk mengetahui volume masing-masing bak dengan cara:

$$\begin{aligned}
 V \text{ masing masing bak} &= V_{\text{bak}} / 2 \\
 &= 1518,7 \text{ m}^3 / 2 \\
 &= 759,34 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga volume masing masing bak biofilter adalah $759,34 \text{ m}^3$.

b. Luas (A)

$$\begin{aligned} A &= V/h \\ &= 759,34 \text{ m}^3 / 2,5 \text{ m} \\ &= 303,73 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

c. Lebar dan panjang bak

$$\begin{aligned} \text{Rasio P:L} &= 2:1 && (\text{subbab 2.6.3}) \\ (2L)(L) &= 303,73 \text{ m}^2 \\ 2L^2 &= 303,73 \text{ m}^2 \\ L^2 &= 151,87 \text{ m}^2 \\ L &= \sqrt{151,87 \text{ m}^2} \\ L &= 12,4 \text{ m} \\ P &= 2 \times L \\ &= 2 \times 12,4 \text{ m} \\ &= 24,8 \text{ m} \\ &= 25 \text{ m} \end{aligned}$$

Panjang dan lebar dari perhitungan diatas dibulatkan sehingga panjang bak sebesar 25 m dan lebar bak 12,4 m.

d. Luas Bak (A_{bak})

$$\begin{aligned} A_{\text{bak}} &= P_{\text{bak}} \times l_{\text{bak}} \\ &= 25 \text{ m} \times 12,4 \text{ m} \\ &= 310 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

e. Volume efektif ruang biofilter (V_{ef})

Setelah dilakukan pembulatan angka maka dilakukan perhitungan ulang untuk volume efektif ruang biofilter sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{\text{ef}} &= A_{\text{bak}} \times h \\ &= 310 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ m} \\ &= 775 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Biofilter anaerob memiliki 2 bak sehingga untuk mengetahui volume total ruang biofilter yaitu dengan cara

$$\begin{aligned}
 V_{\text{total}} &= V_{\text{ef}} \times 2 \\
 &= 775 \text{ m}^3 \times 2 \\
 &= 1550 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Didapatkan volume total biofiter adalah 1550 m^3

f. Cek *Hydraulic Retention Time* (HRT)

$$\begin{aligned}
 \text{HRT} &= \frac{V_{\text{ol}_{\text{kom}}}}{Q} \\
 &= \frac{1550 \text{ m}^3}{3037,35 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}} \\
 &= 0,5 \text{ hari (sesuai dengan kriteria desain pada tabel 2.12)}
 \end{aligned}$$

g. Volume media (V_{media})

$$\begin{aligned}
 V_{\text{media}} &= (Q \times \text{COD}) / \text{beban organik} \\
 &= \frac{\left(3037,35 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times \frac{73,4 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}{1000 \text{ kg}} \right)}{0,5 \text{ kg} \frac{\text{COD}}{\text{m}^3} \cdot \text{hari}} \\
 &= 445 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

h. Tinggi media biofilter (h_{media})

$$\begin{aligned}
 h_{\text{media}} &= \text{tinggi ruang biofilter} - \frac{(V_{\text{kom}} - V_{\text{media}})}{A_{\text{kom}}} \\
 &= 2,5 \text{ m} - \frac{775 \text{ m}^3 - 445 \text{ m}^3}{310 \text{ m}^2} \\
 &= 1,5 \text{ (sesuai dengan kriteria desain pada tabel 2.12)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka didapat dimensi unit biofilter per bak sebagai berikut:

- Panjang bak = 25 m
- Lebar bak = 12,4 m
- Tinggi bak = 2,5 m
- Tinggi media = 1,5 m
- Jarak plat ke dasar = 0,6 m
- Tinggi media diatas air = 0,4 m
- Freeboard = 0,3 m

- Tinggi total bak = tinggi bak + *freeboard*
= 2,5 m + 0,3 m
= 2,8 m

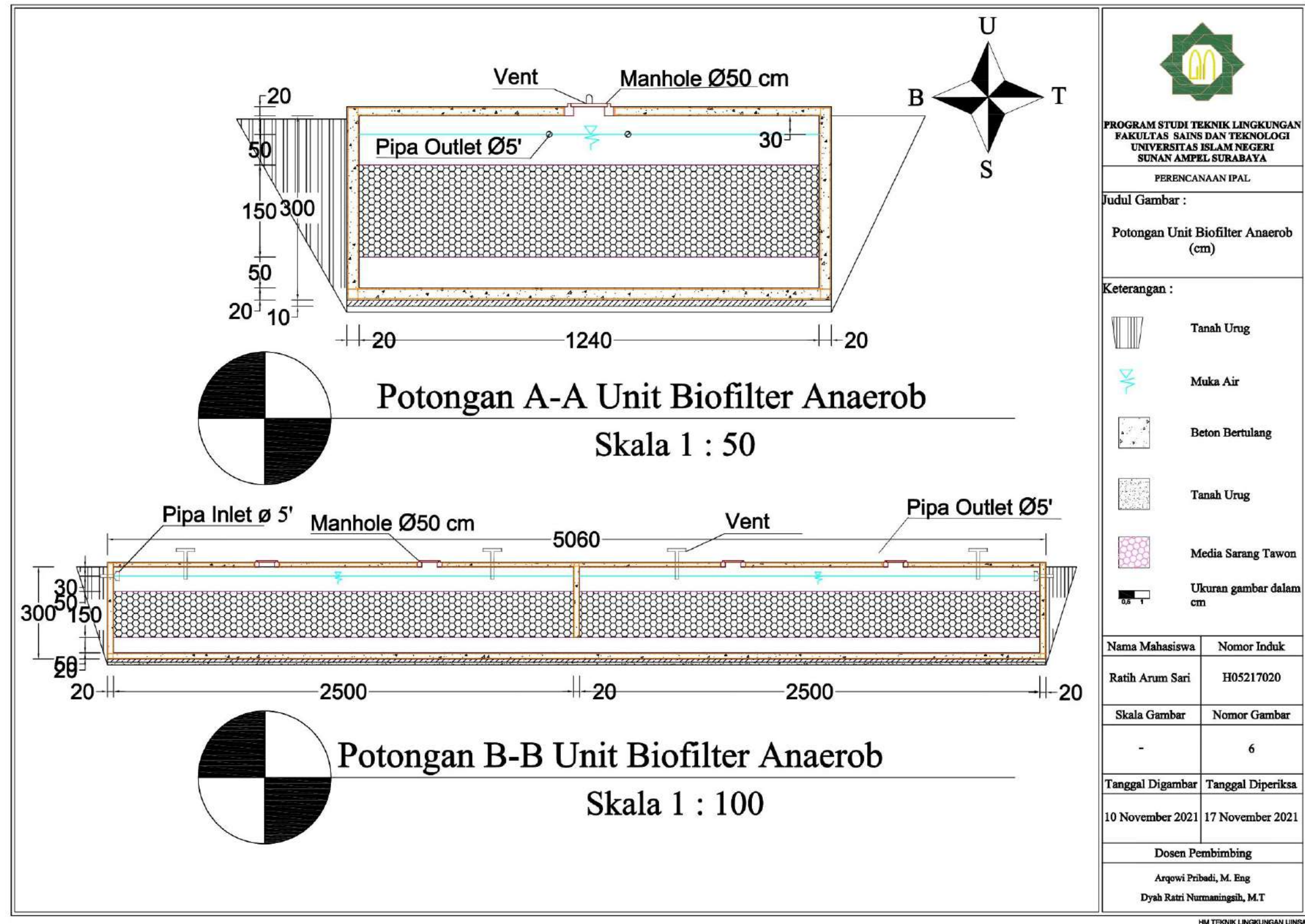
Spesifikasi jenis media yang akan digunakan dalam perencanaan biofiler anaerob pengolahan air limbah ini adalah:

- Jenis media digunakan = Tipe sarang tawon Material
- bahan = PVC Sheet
- Ketebalan = 0,15 - 0,23 mm
- Ukuran modul = 30 x 25 x 30 cm
- Luas & berat spesifik = 150 m² /m³ / 20-35 kg/m³
- Diameter lubang = 3x 3 cm
- Warna = Bening transparan
- Porositas rongga = 0,98
- Jumlah total media = 4,54 m³

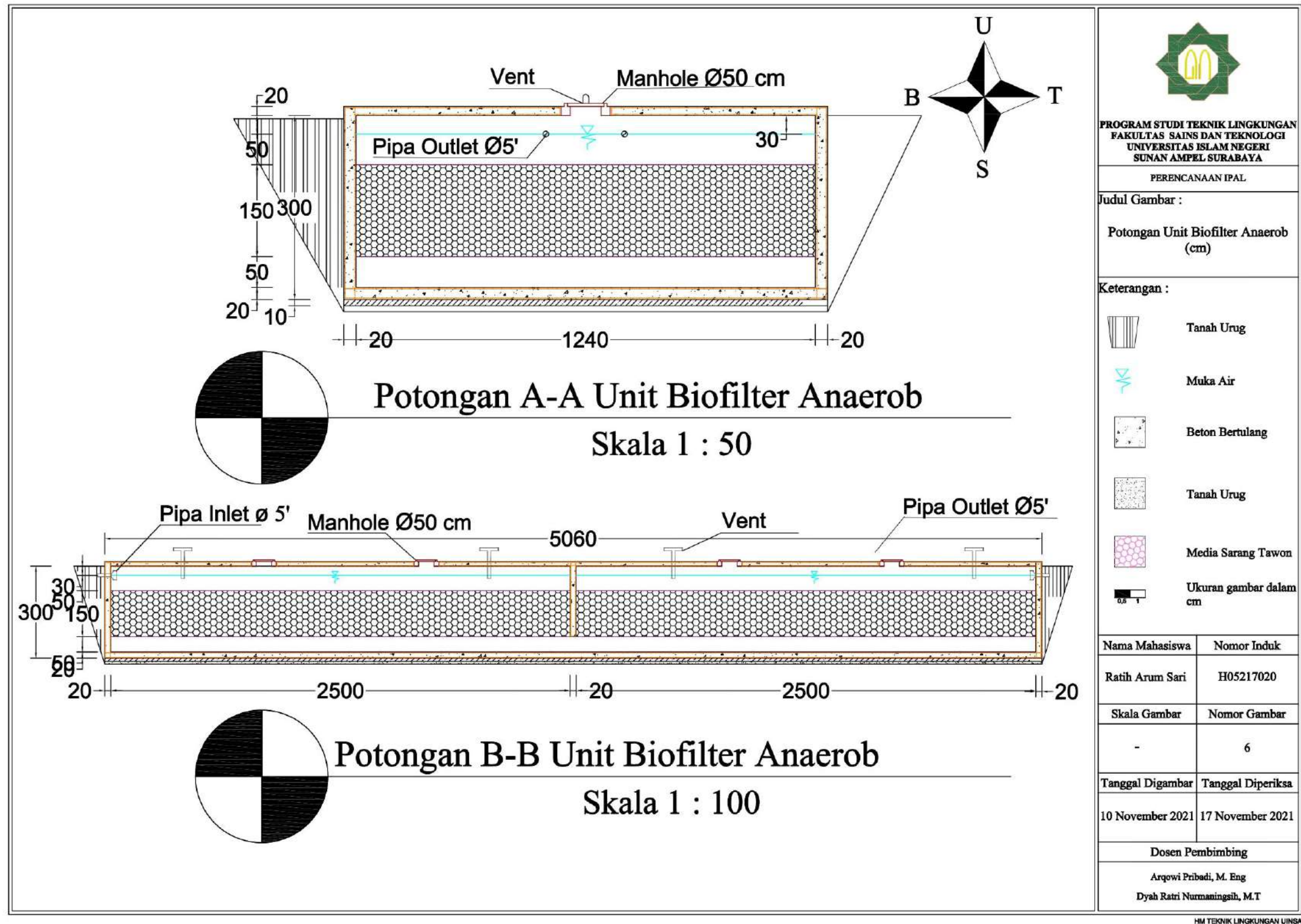
Media sarang tawon dipilih dikarenakan menurut buku B perencanaan media sarang tawon merupakan media terbaik sebagai media filtrasi. Gambar DED dari unit biofilter anaerob yang telah direncanakan dapat dilihat pada gambar 5.6 dan gambar 5.7

berikut:

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A



Gambar 5. 8 Tampak Atas Unit Biofilter Anaerob



Gambar 5. 9 Potongan Unit Biofilter Anaerob

5.2.6 Desain Unit Biofilter Aerob

Kriteria unit biofilter aerob dapat dilihat pada Subbab 2.6.3 pada poin 2 sehingga didapatkan kriteria desain yang direncanakan untuk unit biofilter aerob sebagai berikut

- a. Kapasitas pengolahan/debit, $Q = 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari}$ (Subbab 5.2.3)
 $= 126,55 \text{ m}^3/\text{jam}$
 $= 0,035 \text{ m}^3/\text{detik}$
- b. Waktu tinggal, $t_d = 6 \text{ jam}$ (Subbab 2.6.3)
- c. Tinggi, $h = 2,5 \text{ m}$ (Subbab 2.6.3)
- d. Tinggi media, $h_{\text{media}} = 1,5 \text{ m}$ (Subbab 2.6.3)
- e. Tinggi ruang lumpur, $h_{\text{lumpur}} = 0,6 \text{ m}$ (Subbab 2.6.3)
- f. *Freeboard* $= 0,3 \text{ m}$ (Subbab 2.6.3)
- g. Percepatan gravitasi, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (Subbab 2.6.3)
- h. Beban BOD masuk, $BOD_{\text{in}} = 22 \text{ g/m}^3$ (Subbab 2.6.3)
- i. Beban COD masuk, $COD_{\text{in}} = 73,4 \text{ g/m}^3$ (Subbab 2.6.3)
- j. Suhu, $T = 26^\circ$ (Subbab 2.6.3)

Berikut perhitungan unit biofilter aerob berdasarkan dari kriteria yang telah direncanakan mengacu pada persamaan dari Buku A Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat tahun 2013 tentang Panduan Perencanaan Teknik Terinci Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja.

- a. Volume ruang biofilter (V_{bak})

$$\begin{aligned} V &= Q \times t_d \\ &= 126,55 \text{ m}^3/\text{jam} \times 6 \text{ jam} \\ &= 759,33 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- b. Luas (A)

$$\begin{aligned} A &= V/h \\ &= 759,33 \text{ m}^3 / 2,5 \text{ m} \\ &= 303,73 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- c. Lebar dan panjang bak

$$\text{Rasio P:L} = 2:1$$

(Subbab 2.6.3)

$$(2L)(L) = 303,73 \text{ m}^2$$

$$2L^2 = 151,87 \text{ m}^2$$

$$L^2 = 151,87 \text{ m}^2$$

$$L = \sqrt{151,87 \text{ m}^2}$$

$$L = 12,4 \text{ m}$$

$$P = 2 \times l$$

$$= 2 \times 12,4 \text{ m}$$

$$= 24,6 \text{ m}$$

$$= 25 \text{ m}$$

Panjang dan lebar dari perhitungan diatas dibulatkan sehingga Panjang bak sebesar 25 m dan lebar bak 12,4 m.

d. Luas Bak (A_{bak})

$$\begin{aligned} A_{\text{bak}} &= P_{\text{bak}} \times L_{\text{bak}} \\ &= 25 \text{ m} \times 12,4 \text{ m} \\ &= 310 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

e. Volume efektif ruang biofilter (V_{ef})

$$\begin{aligned} V_{\text{ef}} &= A_{\text{bak}} \times h \\ &= 310 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ m} \\ &= 775 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

f. Tinggi air diatas media (H_{ab})

$$\begin{aligned} H_{\text{ab}} &= h - h_{\text{media}} - h_{\text{lumpur}} \\ &= 2,5 \text{ m} - 1,5 \text{ m} - 0,6 \text{ m} \\ &= 0,4 \text{ m} \end{aligned}$$

g. Cek Hydraulic Retention Time (HRT)

$$\begin{aligned} \text{HRT} &= \frac{Vol_{\text{kom}}}{Q} \\ &= \frac{775 \text{ m}^3}{126,55 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}} \\ &= 6,12 \text{ jam (sesuai dengan kriteria desain pada subbab 2.6.3)} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka didapat dimensi unit biofilter aerob sebagai berikut:

- Panjang bak = 25 m
- Lebar bak = 12,4 m
- Tinggi bak = 2,5 m
- Tinggi total bak = tinggi bak + *freeboard*
 $= 2,5 \text{ m} + 0,3 \text{ m}$
 $= 2,8 \text{ m}$

Spesifikasi jenis media yang akan digunakan dalam perencanaan aerob pengolahan air limbah ini adalah:

- Jenis media digunakan = Tipe sarang tawon Material
- bahan = PVC Sheet
- Ketebalan = 0,15 - 0,23 mm
- Ukuran modul = 30 x 25 x 30 cm
- Luas & berat spesifik = 150 m² /m³ / 20-35 kg/m³
- Diameter lubang = 3x 3 cm
- Warna = Bening transparan
- Porositas rongga = 0,98
- Jumlah total media = 4,54 m³

Berdasarkan perhitungan dimensi tersebut kebutuhan diffuser oksigen dan jenis blower yang tepat dapat ditentukan dengan mengetahui jumlah BOD yang dihilangkan. Langkah perhitungan kebutuhan oksigen sebagai berikut:

h. Beban BOD di dalam air (mBOD)

$$\begin{aligned}
 \text{mBOD} &= Q \times \text{BOD} \\
 &= 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari} \times 22 \text{ g/m}^3 \\
 &= 66.821,61 \text{ g/hari} \\
 &= 66,82 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

i. Jumlah BOD yang dihilangkan

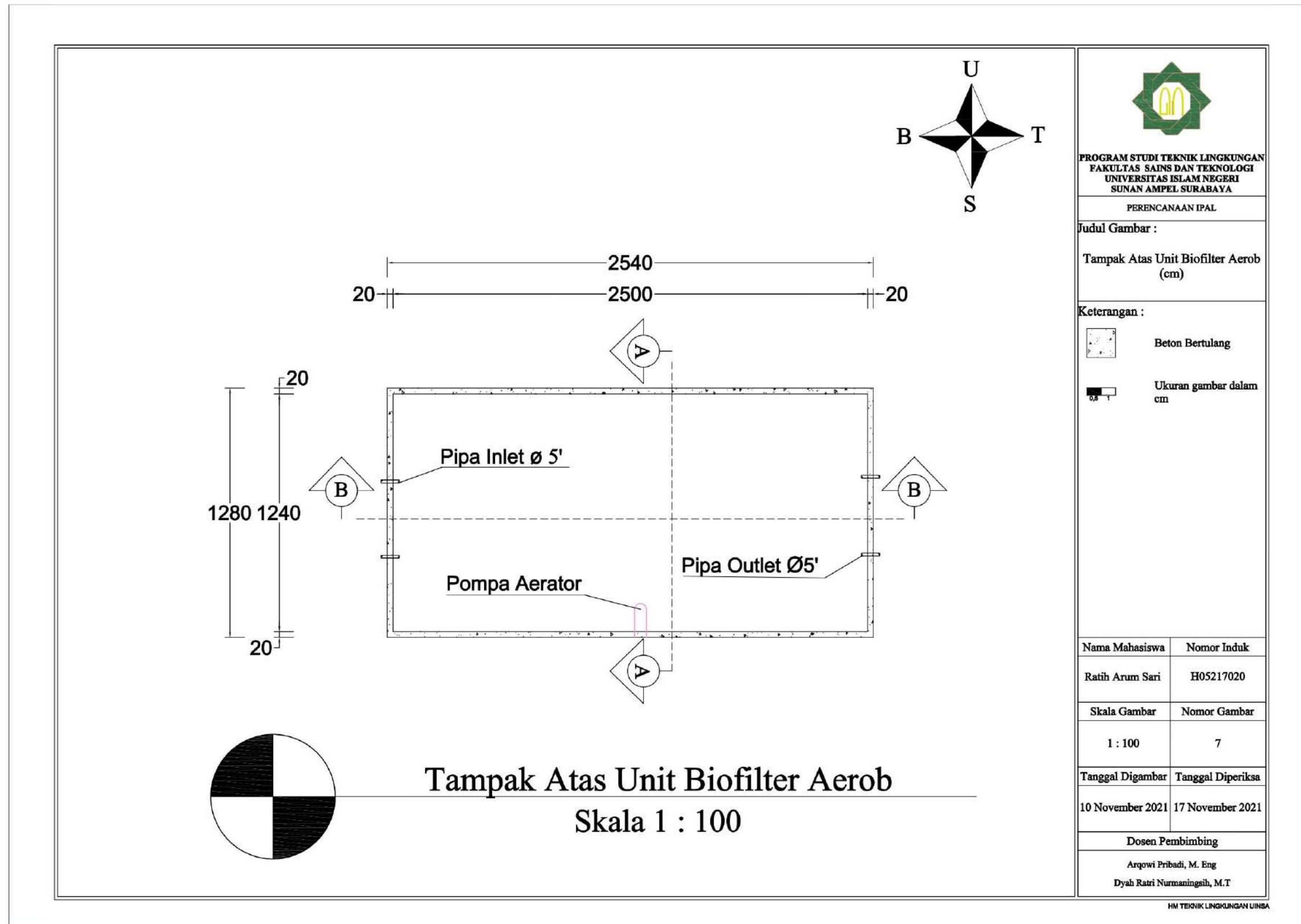
- BOD removal = efisiensi removal x mBOD
 = 80% x 66,82 kg/hari
 = 53,45 kg/hari
- j. Kebutuhan oksigen (O₂) pada reaktor aerob
 Kebutuhan O₂ = 53,45 kg/hari
- k. Faktor keamanan yang diterapkan untuk suplai oksigen (O₂)
 Fk = F x kebutuhan O₂
 = 2 x 53,45 kg/hari
 = 106,9 kg/hari
- l. Kebutuhan udara
 Kebutuhan udara = $\frac{\text{kebutuhan } O^2}{m \text{ udara} \times n \text{ oksigen}}$
 = $\frac{106,9 \text{ kg/hari}}{1,1725 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,322 \frac{O_2}{\text{g udara}}}$
 = 393 kg/m³
- m. Efisiensi diffuser = 5%
- n. Kebutuhan udara aktual
 Kebutuhan udara aktual = $\frac{\text{jumlah kebutuhan udara}}{\text{efisiensi diffuser}}$
 = $\frac{393 \text{ kg/m}^3}{5\%}$
 = 7860,78 m³/hari
 = 5,4 m³/menit
 = 5458,88 l/menit

Berdasarkan hasil perhitungan diatas jenis blower udara yang disarankan untuk perencanaan ini yaitu:

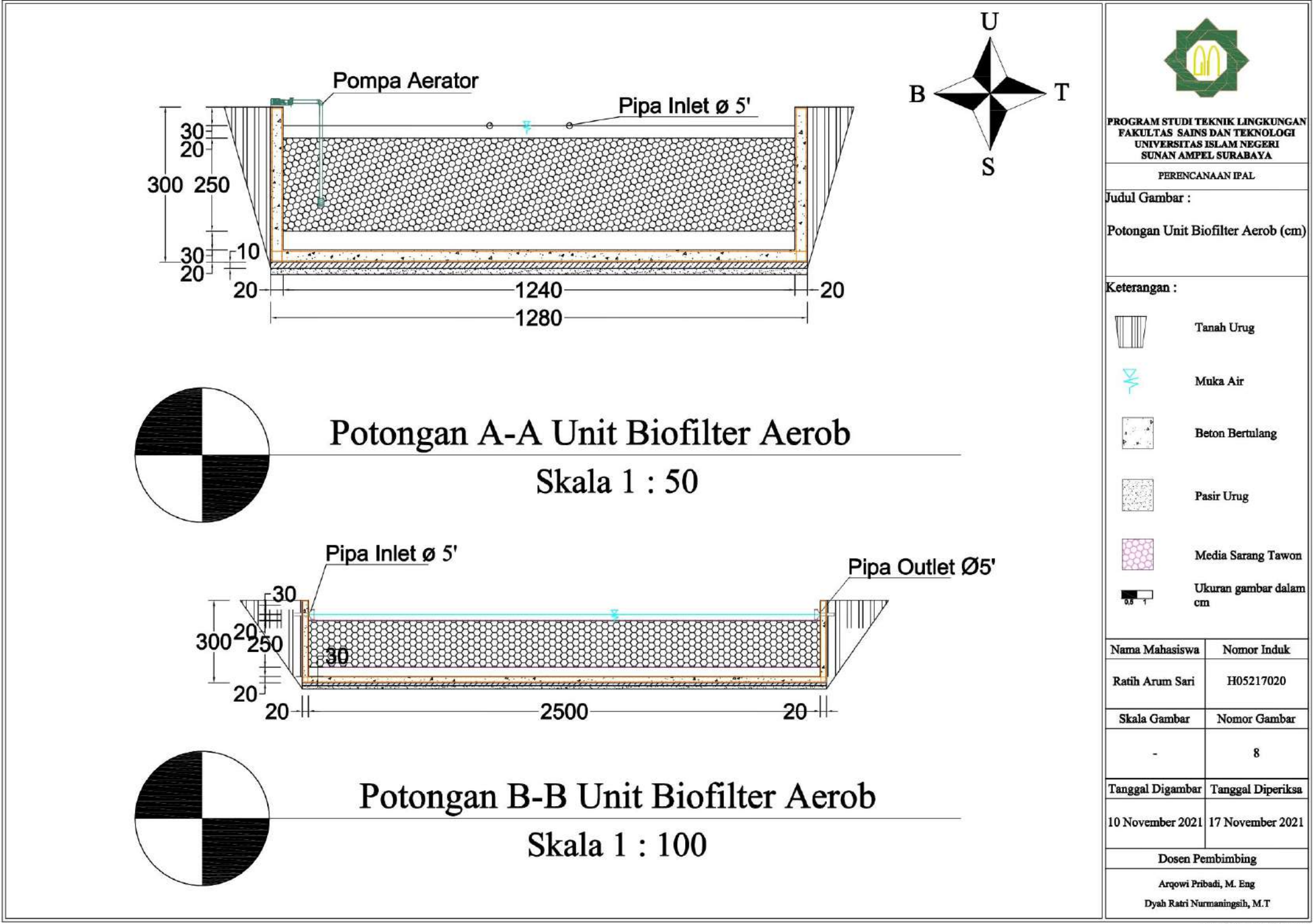
- Spesifikasi merk blower = *While Charging Aerator*
- Tipe kapasitas blower = 6000 L/menit (5458,88 L/menit)
- Power (Output listrik) = 1100 watt
- Pipa outlet = ½ inchi
- Kelistrikan = 1 fase
- Tipe diffuser = *perforated pipe diffuser* atau merk setara.

Gambar DED dari unit biofilter aerob yang telah direncanakan dapat dilihat pada gambar 5.8 dan gambar 5.9 berikut.





Gambar 5. 10 Tampak Atas Unit Biofilter Aerob



Gambar 5. 11 Potongan Biofilter Aerob

5.2.7 Desain Unit Pengendap Akhir

Bak pengendap akhir sebagai unit pengendap yang mengendapkan padatan maupun mikroorganisme seperti alga yang terbawa dari pengokohan utama yaitu biofilter. Kriteria desain unit bak pengendap akhir dilihat dari tabel 2.7 sehingga dapat direncanakan perhitungan bak pengendap akhir sebagai berikut:

- g. Kapasitas Pengolahan/debit, $Q = 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari}$ (Subbab 5.2.3)
 $= 126,55 \text{ m}^3/\text{jam}$
- h. Waktu tinggal, $t_d = 2 \text{ jam}$ (tabel 2.7)
- i. *Overflow Rate*, $OR = 70 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$ (tabel 2.7)
- j. tinggi, $h = 4 \text{ m}$ (tabel 2.7)
- k. *Freeboard*, $fb = 0,3 \text{ m}$ (tabel 2.7)
- l. Ketebalan dinding $= 0,2 \text{ m}$ (tabel 2.7)

Berikut perhitungan dimensi bak pengendap akhir yang direncanakan sesuai dengan kriteria desain :

- i. Volume bak (V)

$$\begin{aligned} V &= Q / t_d \\ &= 126,44 \text{ m}^3/\text{jam} \times 2 \text{ jam} \\ &= 253,11 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- j. Luas Area (A)

$$\begin{aligned} A &= V/h \\ &= \frac{253,11 \text{ m}^3}{4 \text{ m}} \\ &= 63,28 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- k. Rasio Panjang Lebar dan Tinggi

Jika rasio yang direncanakan $P:L = 4:1$ dengan tinggi efektif (h) = 3 m, maka:

$$\begin{aligned} \text{Lebar (L)} &= (A / 4)^{0,5} \\ &= (63,28 \text{ m}^2 / 4)^{0,5} \\ &= 3,9 \text{ m} \\ &= 4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang (P)} &= L \times 4 \\
 &= 4 \text{ m} \times 4 \\
 &= 16 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan Panjang (P) 16 m, lebar (L) 4 m dan tinggi bak 4 m. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka dapat diketahui volume efektif (V_{ef}) dan luas efektif (A_{ef}) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 A_{ef} &= P \times L \\
 &= 16 \text{ m} \times 4 \text{ m} \\
 &= 64 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ef} &= A_{ef} \times h \\
 &= 64 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m} \\
 &= 192 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

l. Cek Waktu Tinggal (HRT_{cek})

$$\begin{aligned}
 HRT_{cek} &= \frac{V_{ef}}{Q} \\
 &= \frac{192 \text{ m}^3}{126,55 \text{ m}^3/\text{jam}} \\
 &= 1,5 \text{ jam (sesuai dengan metcalf&eddy, 2003 pada tabel}
 \end{aligned}$$

2.7)

m. Laju Beban Organik (ORL_{cek})

$$\begin{aligned}
 ORL_{cek} &= \frac{Q}{A_{ef}} \\
 &= \frac{3037,35 \text{ m}^3/\text{hari}}{64 \text{ m}^2} \\
 &= 47,46 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}
 \end{aligned}$$

n. Ketinggian Total (h_{total})

$$\begin{aligned}
 h_{total} &= h + fb \\
 &= 4 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\
 &= 4,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

o. Jumlah Timbunan Lumpur Per Hari

$$\begin{aligned}
 m_{Lumpur} &= \text{konsentrasi TSS lumpur} \times Q \times \text{efisiensi removal TSS} \\
 &= 255,8 \text{ g/m}^3 \times 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari} \times 60\%
 \end{aligned}$$

$$= 466,17 \text{ kg/hari}$$

p. Volume Produksi Lumpur (Vlumpur)

$$\begin{aligned} \text{Vlumpur} &= \frac{m_{\text{Lumpur}}}{\text{berat jenis lumpur persentase kandungan solid}} \\ &= \frac{466,17 \text{ kg/hari}}{1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 5\%} \\ &= 9,05 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

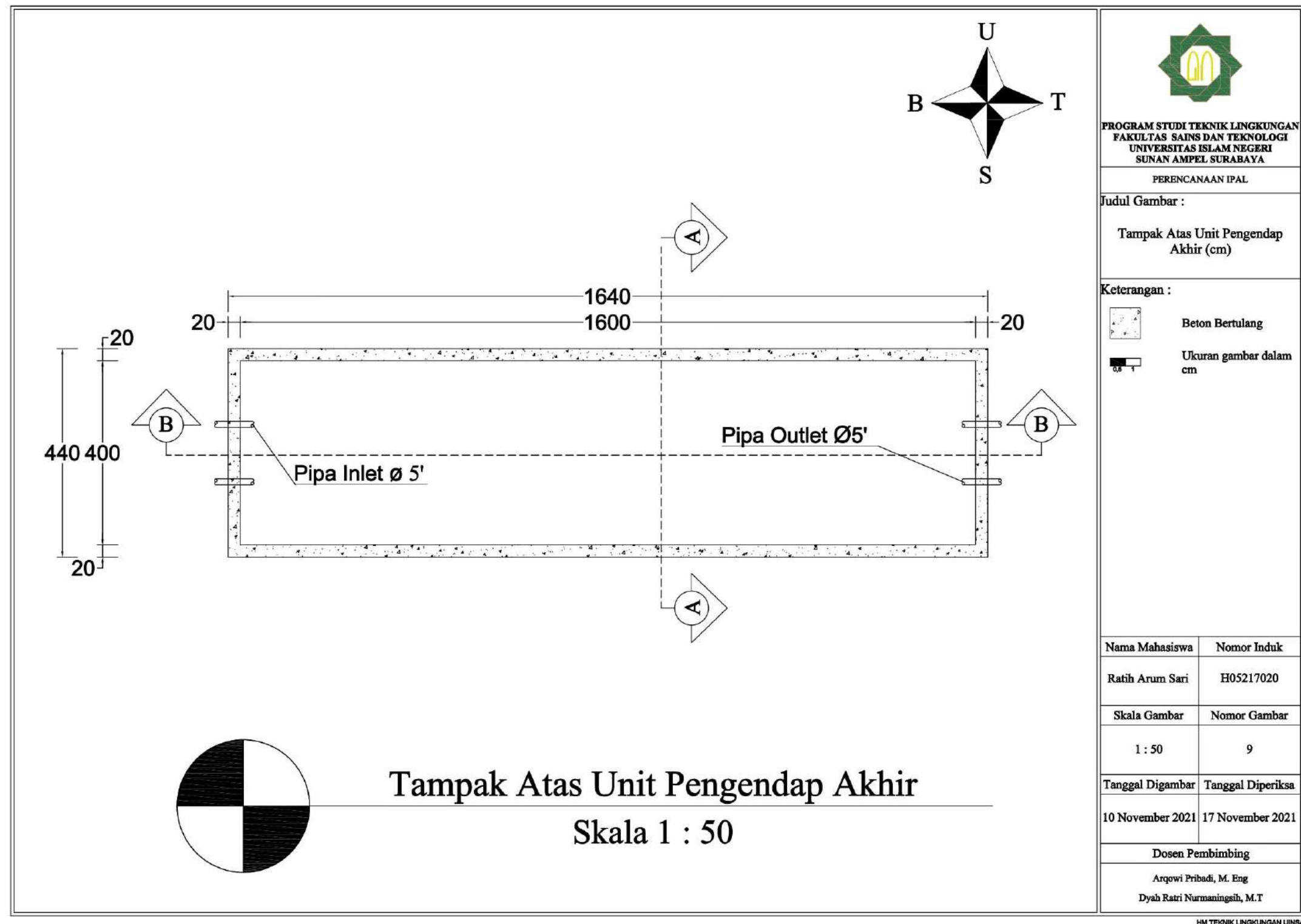
Berdasarkan perhitungan tersebut, didapatkan dimensi unit pengendap akhir yang direncanakan sebagai berikut:

- Panjang bak = 16 m
- Lebar bak = 4 m
- Tinggi bak = tinggi bak + tinggi sludge hopper
= 4 m + 1,3 m
= 5,3 m
- Tinggi total bak = 5,6 m
- Luas area = 64 m

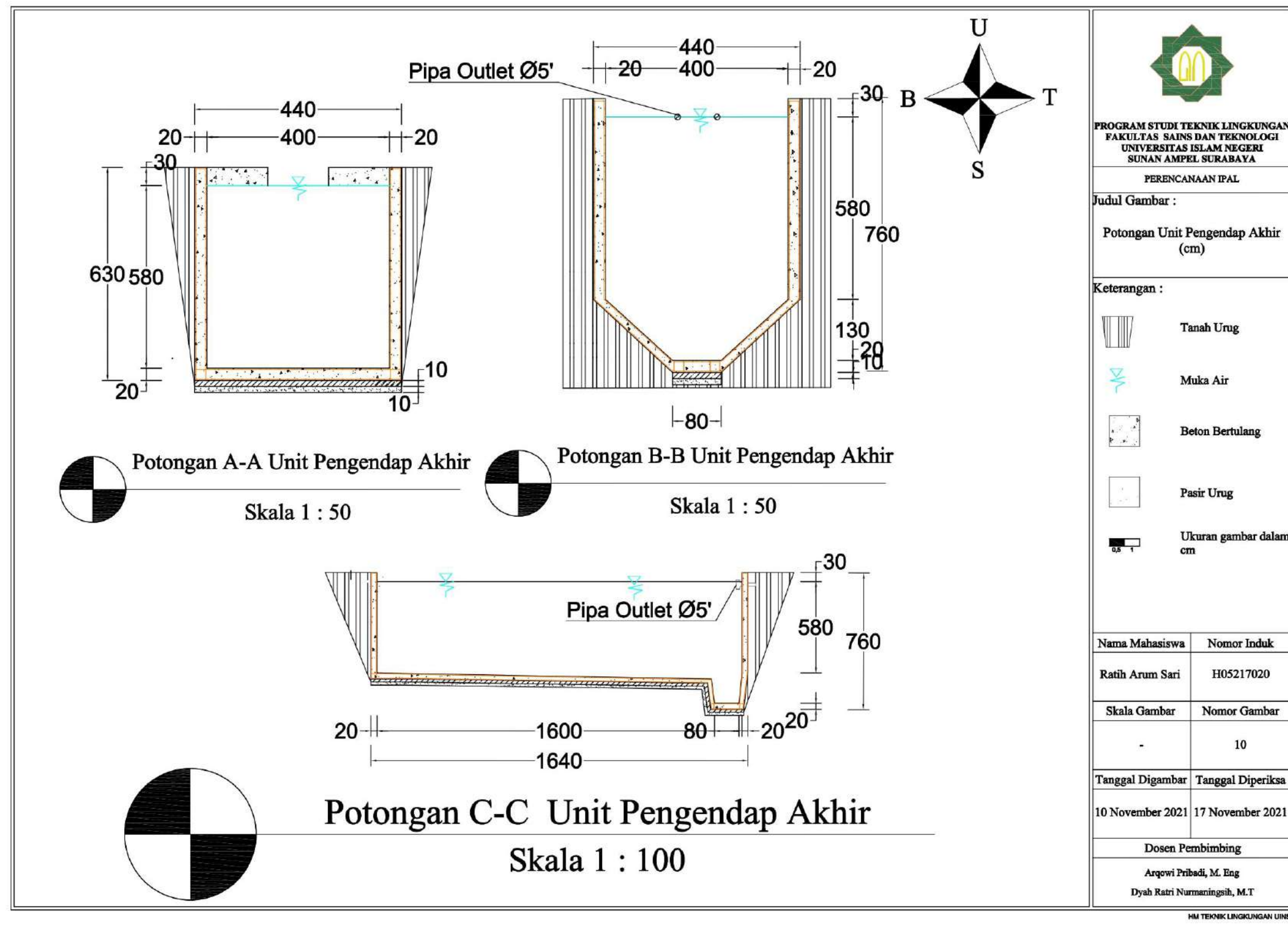
Langkah selanjutnya menghitung dimensi pengumpul lumpur (*sludge hopper/sludge zone*) yang ada pada bak pengendap akhir. Berikut asumsi yang digunakan:

- Lebar atas, L_{atas} = 1,3 m ($\frac{1}{3}$ lebar bak) (subbab 2.6.3)
- Lebar bawah, L_{bawah} = 0,8 m (subbab 2.6.3)
- Panjang, P = 16 m (sama dengan Panjang bak)
- Tinggi, h = $\frac{1}{3} \times$ tinggi bak
= $\frac{1}{3} \times 4 \text{ m}$
= 1,3 m
- Volume = $\frac{1}{2} \times h \times (l_{\text{atas}} + l_{\text{bawah}}) \times p$
= $\frac{1}{2} \times 1,3 \text{ m} \times (1,3 \text{ m} + 0,8 \text{ m}) \times 16 \text{ m}$
= 22,75 m²

Berikut merupakan gambar DED dari bak pengendap akhir yang dapat dilihat pada gambar 5.12 dan gambar 5.13



Gambar 5. 12 Tampak Atas Bak Pengendap Akhir



Gambar 5. 13 Potongan Bak Pengendap Akhir

5.2.8 Desain Pompa Dan Bak Desinfektan

Berdasarkan kriteria desain dari tabel sub bab 2.6.4 poin 3 maka dapat direncanakan kriteria untuk unit pompa desinfektan sebagai berikut

- a. Debit air limbah, Q = 3037,35 m³/hari (Subbab 5.2.3)
= 3.037.346,03 liter/hari
- b. Panjang, L = 10 m
- c. Dosis pembubuhan = 5 mg/l = 5 x 10⁻⁶ kg/liter
- d. Sisa klor pada bak = 0,2 mg/l
- e. Larutan klor = 1%
= 0,01
- f. Koefisien pipa besi tuang = 150 (*hazen-william*)
- g. Densitas Cl₂ = 1,72 g/l
- h. Debit pompa = 12 l/jam = 0,01 m³/s

Berikut perhitungan untuk pompa desinfektan yang direncanakan sesuai kriteria yang telah disebutkan

- a. Kebutuhan klor

$$\begin{aligned} W &= Q \times \text{dosis pembubuhan} \\ &= 3.037.346,03 \text{ liter/hari} \times 5 \times 10^{-6} \text{ kg/liter} \\ &= 15,18 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

- b. Periode penggantian tabung gas klor 150 kg

$$\begin{aligned} W_{\text{klor}} &= \frac{\text{berat tabung}}{\text{kebutuhan klor}} \\ &= \frac{150 \text{ kg}}{15,18 \text{ kg/hari}} \end{aligned}$$

$$= 9 \text{ hari} \sim 237 \text{ jam}$$

- c. Debit pembubuhan desinfektan dengan *dosing pump*

$$\begin{aligned} Q_{\text{klor}} &= \frac{\text{kebutuhan klor}}{\text{densitas Cl}_2} \times \frac{10^3 \text{ gram}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ hari}}{1.440 \text{ jam}} \\ &= \frac{15,18 \text{ kg/hari}}{1,72 \text{ g/l}} \times \frac{10^3 \text{ gram}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ hari}}{1.440 \text{ jam}} \\ &= 6 \text{ liter/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Stroke} &= \frac{Q_{\text{klor}}}{\text{debit pompa}} \\
 &= \frac{15,18 \text{ liter/jam}}{12 \text{ liter/jam}} \times 100\% \\
 &= 51 \%
 \end{aligned}$$

- d. Laju alir desinfektan dengan diameter pipa 50 mm

$$\begin{aligned}
 V_{\text{pipa}} &= \frac{4 \times Q_{\text{pipa}}}{\pi \times D^2} \\
 &= \frac{4 \times 6,13 \text{ liter/jam}}{\pi \times (0,025 \text{ m})^2} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ liter}} \times \frac{1 \text{ jam}}{3.600 \text{ detik}} \\
 &= 0,00347 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

- e. Headloss mayor pipa pembubuh dengan C=150

$$\begin{aligned}
 \Delta h_{\text{mayor}} &= \left(\frac{151 \times Q}{C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times \left(\frac{L}{1000} \right) \\
 &= \left(\frac{151 \times 0,01 \text{ m}^3/\text{s}}{150 \times (0,025 \text{ m})^{2,63}} \right)^{1,85} \times \left(\frac{10}{1000} \right) \\
 &= 0,03283 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

- f. Headloss minor pipa pembubuh

$$\begin{aligned}
 k_{\text{total}} &= [(4 \times \text{bend } 90^\circ) + (\text{gate valve}) + (\text{check valve})] \\
 &= [(4 \times 0,34) + 98 + 2,5] \\
 &= 101,82
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta h_{\text{minor}} &= k_{\text{total}} \left(\frac{v_{\text{pipa}}^2}{2 \times g} \right) \\
 &= 101,82 \left(\frac{(0,0012457 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}} \right) \\
 &= 0,00000625 \text{ meter (sangat kecil sehingga diabaikan)}
 \end{aligned}$$

- g. Besar head pompa dengan beda elevasi dari titik pembubuh = 2,5 m

$$\begin{aligned}
 H_{\text{pump}} &= \Delta E_l + \Delta h_{\text{mayor}} + \Delta h_{\text{minor}} \\
 &= 2,5 \text{ m} + 0,0328 \text{ m} \\
 &= 2,5328 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- h. Besar head pompa jika gas klor cair mempunyai tekanan minimal 6,66 bar

$$\begin{aligned}
 \text{i. Elevasi akhir} &= 2,5 \text{ m} - 2,5328 \text{ m} \\
 &= 2,467 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas jenis blower udara yang disarankan untuk perencanaan ini yaitu (*Grundfos*, 2021) :

- Spesifikasi merk blower = *Grundfos DME 12-6*
- Tipe kapasitas blower = 12 l/jam (2,2 L/jam)
- Headloss = 6 bar
- Power (Output listrik) = 200 V, 55 Hz
- Pipa outlet = ½ inchi
- Kelistrikan = 1 fase

Setelah menentukan kebutuhan klor, Langkah selanjutnya menentukan desain bak desinfeksi, Berikut merupakan kriteria desain bak desinfeksi:

Diketahui:

- Kapasitas Pengolahan/debit, Q = 1089,47 m³/hari (Subbab 5.2.3)
= 0,757 m³/menit
- Debit klor, Q_{klor} = 6 /liter/menit
= 0,006 m³/menit
- Waktu detensi, t_d = 30 menit
- Tinggi bak, h = 2,5 m
- Freeboard, fb = 0,3 m

Langkah selanjutnya menghiung desain bak desinfeksi, beriku merupakan perhiungan desain desinfeksi:

a. Volume bak (V)

$$\begin{aligned}
 V &= Q / t_d \\
 &= 2,1 \text{ m}^3/\text{menit} \times 30 \text{ menit} \\
 &= 63,46 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

b. Luas Area (A)

$$\begin{aligned}
 A &= V/h \\
 &= \frac{63,46 \text{ m}^3}{2,5 \text{ m}} \\
 &= 25,38 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

c. Panjang dan lebar bak desinfeksi

Bak desinfeksi direncanakan berbeuk persegi dengan keinggian 2,5 m, maka perhiungan setiap sisi bak dapa diliha pada perhiungan dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{d. Sisi bak} &= \sqrt{A} \\ &= \sqrt{25,38 \text{ m}} \\ &= 5,03 \text{ m} \\ &= 5,1 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan setiap sisi bak sebesar 5,1 m dengan inggi 5,1 m. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka dapat diketahui volume efektif (V_{ef}) dan luas efektif (A_{ef}) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A_{ef} &= \text{sisa} \times \text{sisi} \\ &= 5,1 \text{ m} \times 5,1 \text{ m} \\ &= 26,1 \text{ m}^2 \\ V_{ef} &= A_{ef} \times h \\ &= 26,01 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ m} \\ &= 65,025 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

e. HRT Cek (HRT_{cek})

$$\begin{aligned} HRT_{cek} &= \frac{V_{ef}}{Q} \\ &= \frac{65,025 \text{ m}^3}{(2,1+0,006) \text{ m}^3/\text{menit}} \\ &= 30,73 \text{ menit (sesuai dengan kriteria desain pada subbab} \end{aligned}$$

2.6.3)

f. Ketinggian Total (h_{total})

$$\begin{aligned} h_{total} &= h + fb + \text{terjunan} \\ &= 2,5 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 1,5 \text{ m} \\ &= 4,3 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, didapatkan dimensi unit bak ekualisasi yang direncanakan sebagai berikut:

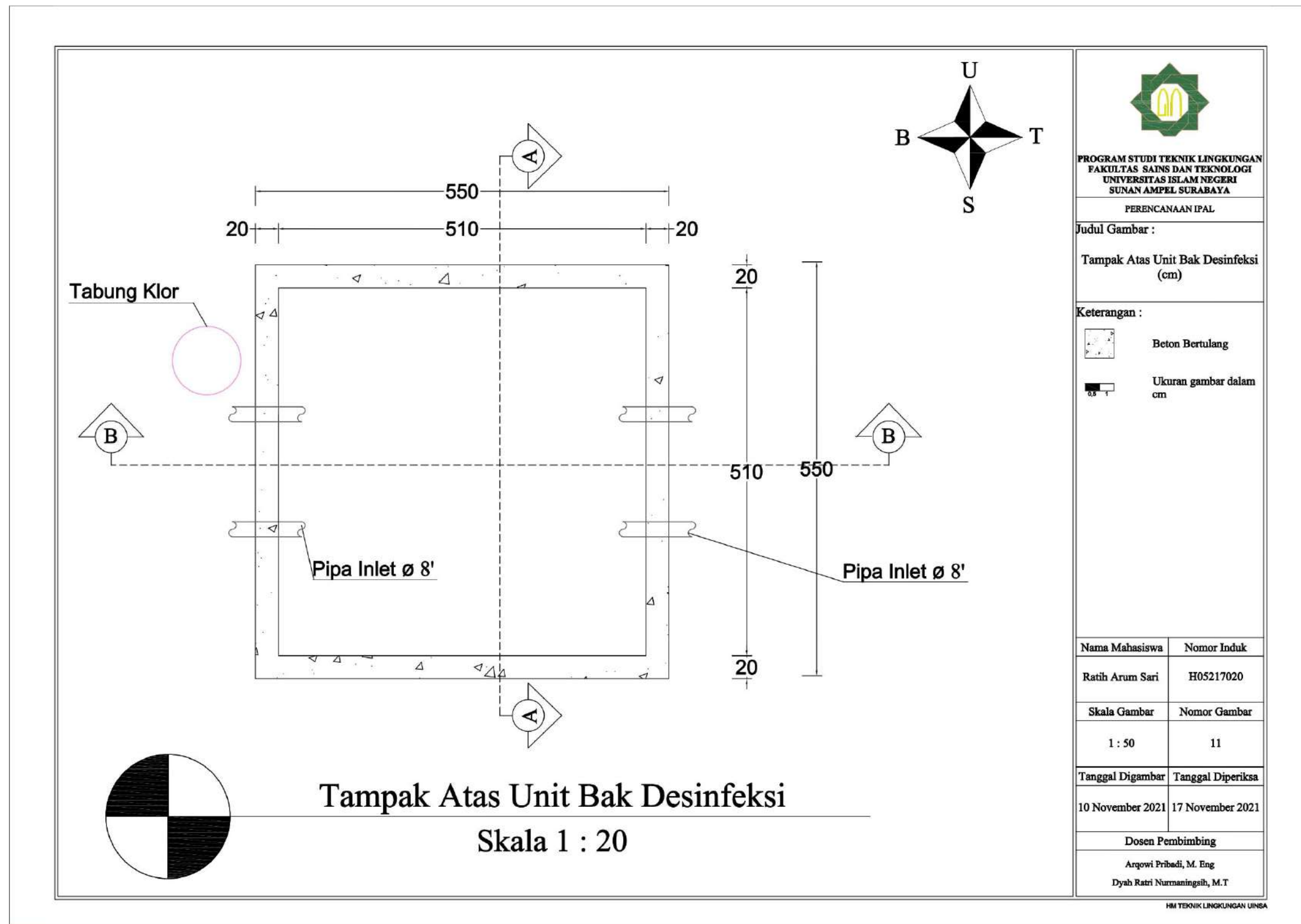
- Panjang bak = 5,1 m
- Lebar bak = 5,1 m

- Tinggi bak = 2,5 m
- Tinggi total bak = 4,3 m
- Luas area = 26,01 m²

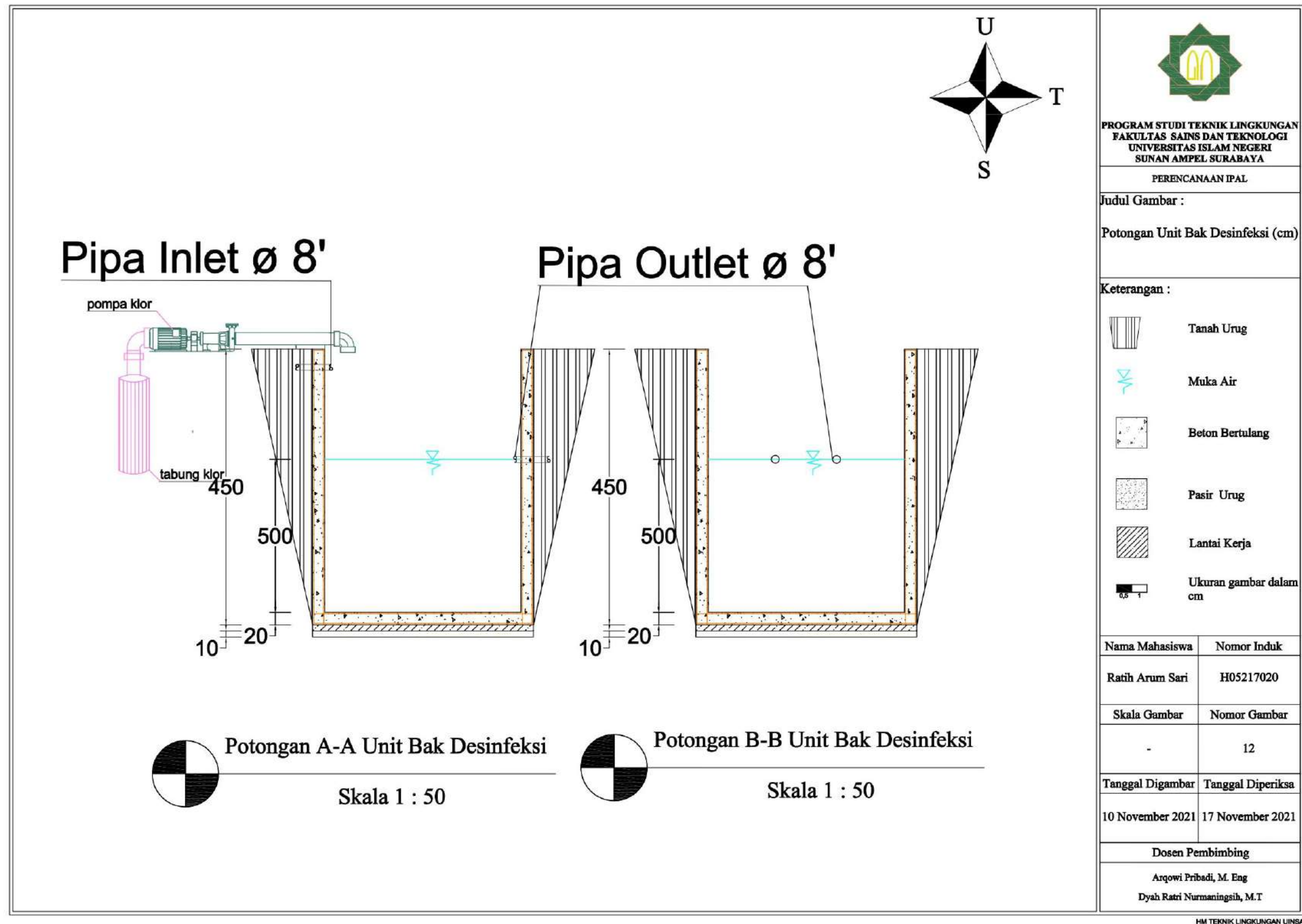
Gambar DED dari unit biofilter aerob yang telah direncanakan dapat dilihat pada gambar 5.14 dan gambar 5.15 berikut.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A



Gambar 5. 14 Tampak Atas Bak Desinfeksi



Gambar 5. 15 Potongan Unit Bak Desinfeksi

5.2.9 Desain Unit Bak Kontrol

Bak kontrol merupakan bak tambahan dalam unit proses pengolahan air limbah yang berfungsi untuk menampung eksisting air hasil olahan agar dapat digunakan kembali sesuai dengan peruntukannya. Bak kontrol berbentuk persegi panjang dengan bagian akhir dilengkapi dengan pipa outlet air limbah. Kriteria desain bak kontrol akhir yang direncanakan dapat dilihat pada Subbab 2.6.3 pada poin 4. Berdasarkan kriteria desain tersebut, perhitungan rencana desain bak kontrol mengacu pada Said, 2008 pada buku Pengolahan Air Limbah Domestik di DKI Jakarta. Berikut kriteria desain yang direncanakan pada unit bak kontrol:

- a. Kapasitas pengolahan/debit, $Q = 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari}$ (Subbab 5.2.3)
 $= 126,55 \text{ m}^3/\text{jam}$
 $= 2,1 \text{ m}^3/\text{detik}$
- b. Waktu tinggal (T_d) $= 2 \text{ jam}$ (Subbab 2.6.3)
- c. Tinggi efektif (H_{air}) $= 2 \text{ m}$ (Subbab 2.6.3)
- d. *Overflow Rate* (OFR) $= 1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$ (Subbab 2.6.3)
- e. Rasio P:L $= 2:1$ (Subbab 2.6.3)

Berikut perhitungan dimensi bak penampung akhir yang direncanakan sesuai dengan kriteria desain di atas:

- a. Volume bak yang dibutuhkan (V_{bak})

$$\begin{aligned} V_{bak} &= Q \times T_d \\ &= 126,55 \text{ m}^3/\text{jam} \times 2 \text{ jam} \\ &= 253,112 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- b. Luas area bak yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{Q}{OFR} \\ &= \frac{126,55 \text{ m}^3/\text{jam}}{1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}} \\ &= 84,37 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- c. Rasio Panjang, Lebar dan Tinggi

Rasio perbandingan Panjang dan lebar bak kontrol P:L = 2:1

$$\begin{aligned}
 L &= ((Q/h)/2)^{0,5} \\
 &= ((126,5 \text{ m}^3 / 3 \text{ m})/2)^{0,5} \\
 &= 6,5 \text{ m} \\
 P &= 2 \times L \\
 &= 2 \times 6,5 \text{ m} \\
 &= 13 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Panjang dan lebar dari hasil perhitungan di atas dibulatkan sehingga didapatkan lebar bak 6,5 m dan panjang bak 13 m.

d. Luas efektif (A')

$$\begin{aligned}
 A' &= L \times P \\
 &= 6,5 \text{ m} \times 13 \text{ m} \\
 &= 84,5 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

e. Volume efektif bak (V')

$$\begin{aligned}
 V' &= A' \times h \\
 &= 84,5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \\
 &= 253,5 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

f. Cek OFR

$$\begin{aligned}
 \text{OFR} &= Q/A_s \\
 &= \frac{126,55 \text{ m}^3/\text{jam}}{84,5 \text{ m}^2} \\
 &= 1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}
 \end{aligned}$$

g. Cek waktu tinggal

$$\begin{aligned}
 \text{HRT} &= V'/Q \\
 &= \frac{235,5 \text{ m}^3}{126,55 \text{ m}^3/\text{jam}} \\
 &= 2 \text{ jam (sesuai)}
 \end{aligned}$$

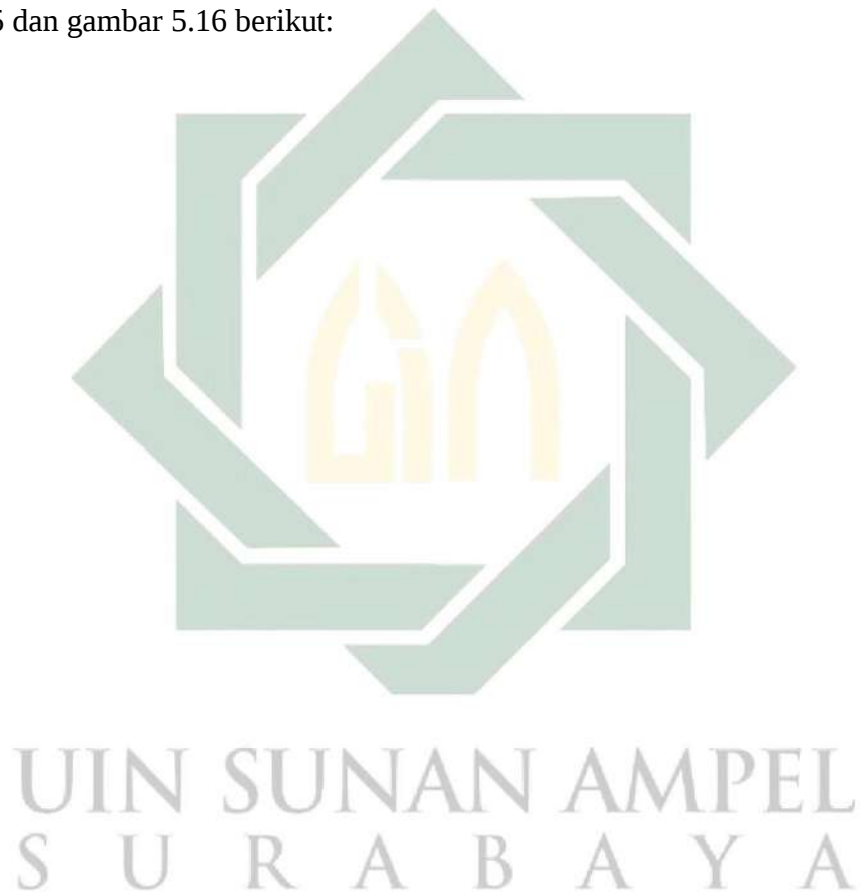
h. Ketinggian total (H_{total})

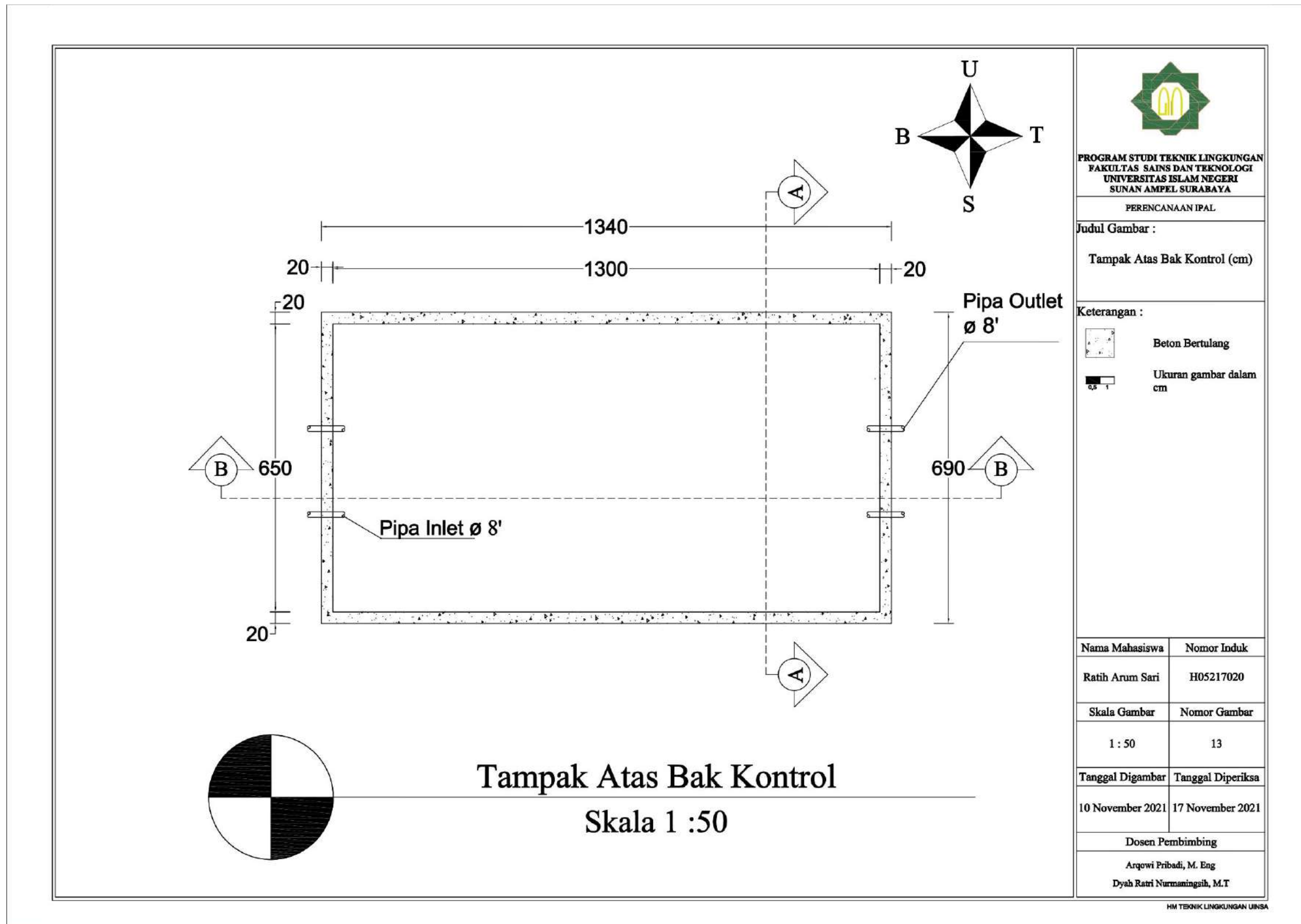
$$\begin{aligned}
 H_{\text{total}} &= H_{\text{air}} + F_b \\
 &= 3 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\
 &= 2,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, dimensi unit bak penampung akhir yang direncanakan sebagai berikut:

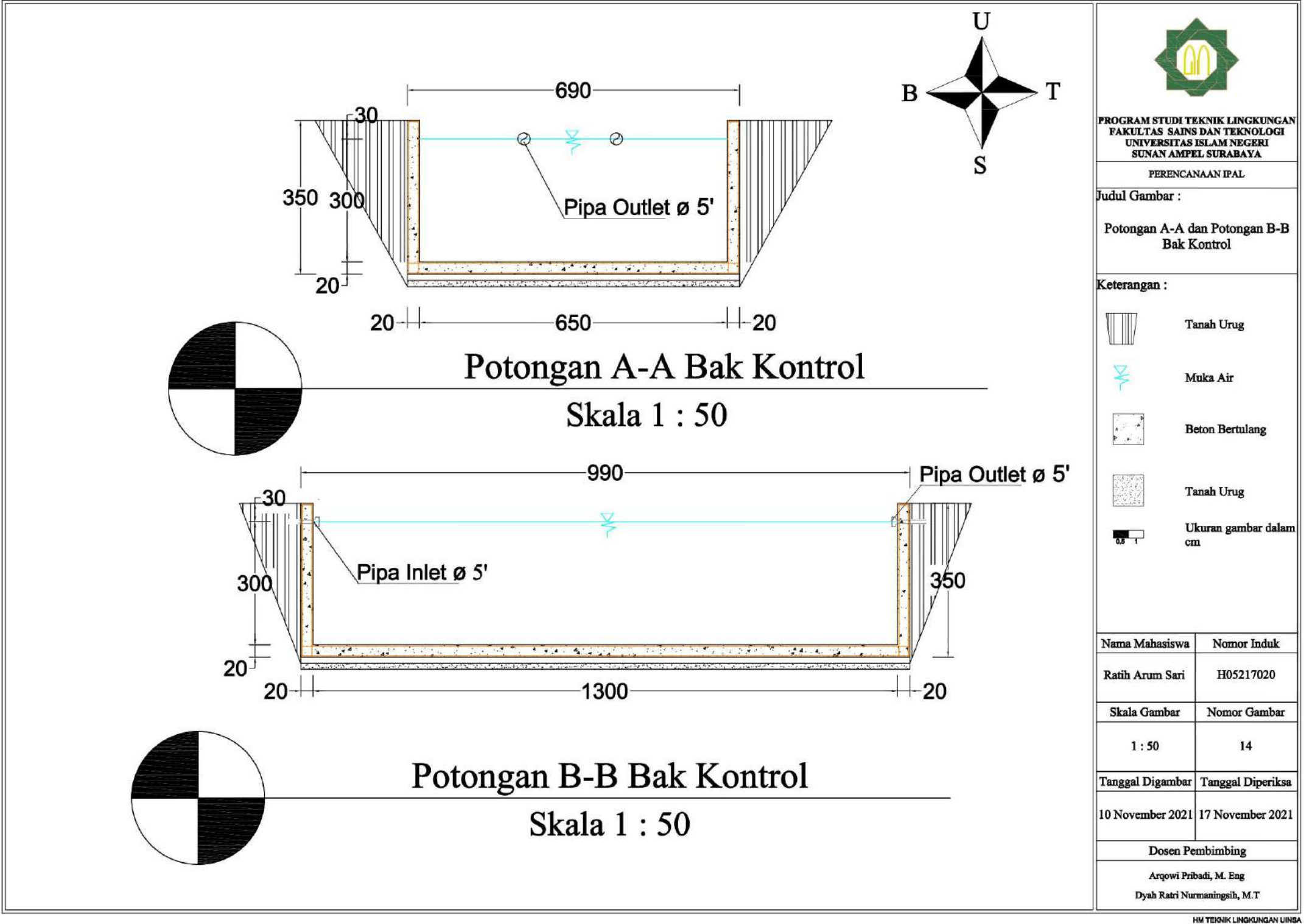
- Panjang bak = 13 m
- Lebar bak = 6,5 m
- Tinggi bak = 3 m
- Tinggi total bak = 3,3 m

Gambar DED dari bak kontrol yang telah direncanakan dapat dilihat pada gambar 5.15 dan gambar 5.16 berikut:





Gambar 5. 16 Tampak Atas Bak Kontrol



Gambar 5. 17 Potongan Bak Kontrol

5.2.10 Rekapitulasi Desain

Perhitungan desain yang telah rencanakan diperoleh jumlah waktu detensi dan kebutuhan lahan masing masing unit pada perencanaan IPAL Komunal Desa Depok. Berikut merupakan hasil rekapitulasi waktu etensi dan luasa lahan dari masing-masing unit pengolahan yang dapat dilihat pada tabel 5.17 dan tabel 5.18 berikut.

Tabel 5. 16 Rekapitulasi Waktu Detensi Unit IPAL

No.	Unit Bangunan	Waktu Tinggal	Satuan
1	Sumur Pengumpul	0,1	jam
2	Bak Pengendap Awal	2	jam
3	Biofilter Anaerob	12	jam
4	Biofilter Aerob	6	jam
5	Bak Pengendap Akhir	2	jam
6	Bak Desinfeksi	0,5	jam
7	Bak Kontrol	2	jam
Total		24	jam
		1	hari

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Lahan Unit IPAL

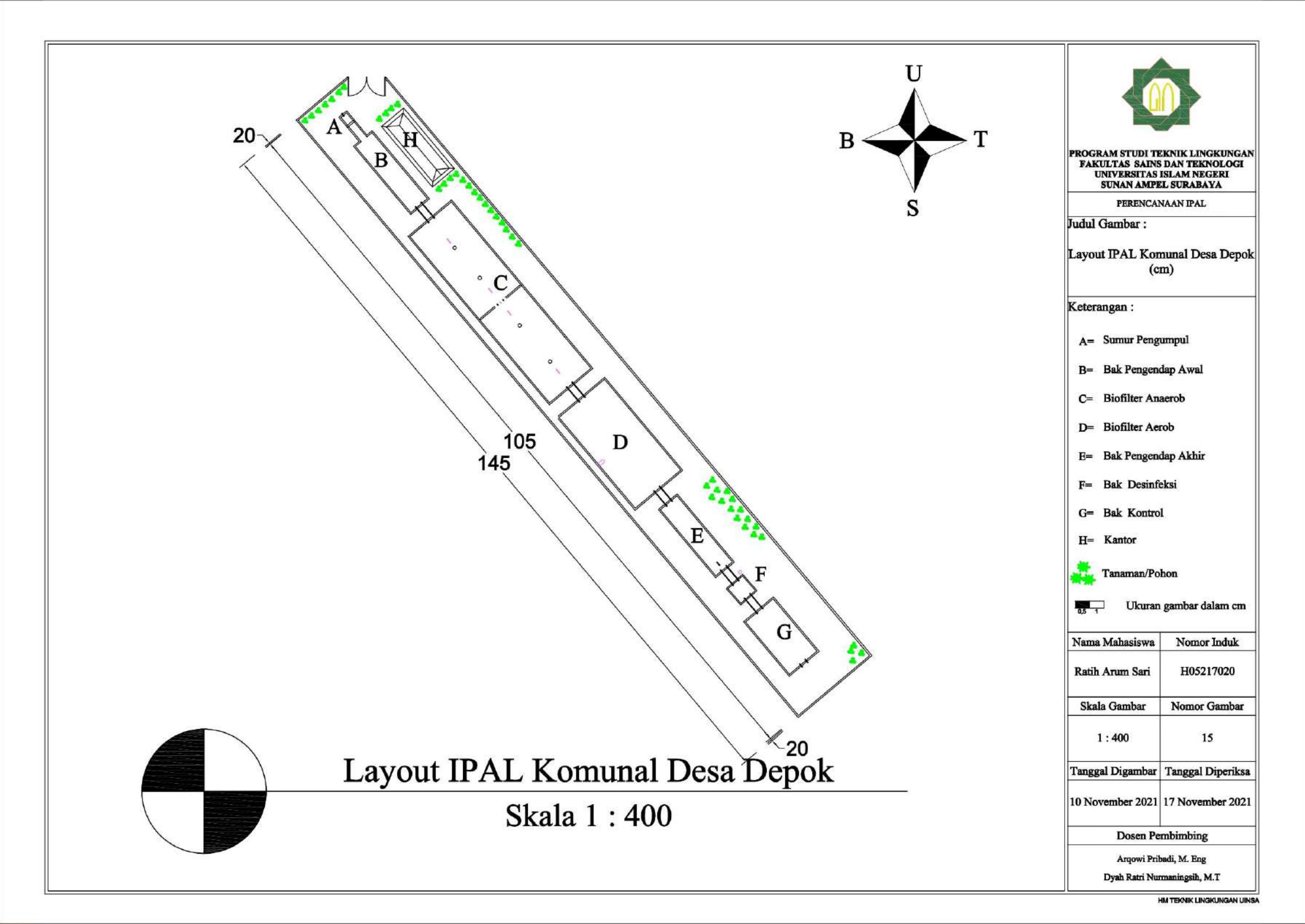
No.	Unit Bangunan	Panjang	Lebar	Ket
1	Sumur Pengumpul	3,2	1,6	m
2	Bak Pengendap Awal	16,0	4,0	m
3	Biofilter Anaerob	50,0	12,4	m
4	Biofilter Aerob	25,0	12,4	m
5	Bak Pengendap Akhir	16,0	4,0	m
6	Bak Desinfeksi	5,1	5,1	m
7	Bak Kontrol	13,0	6,5	m
Total		128	12	m

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

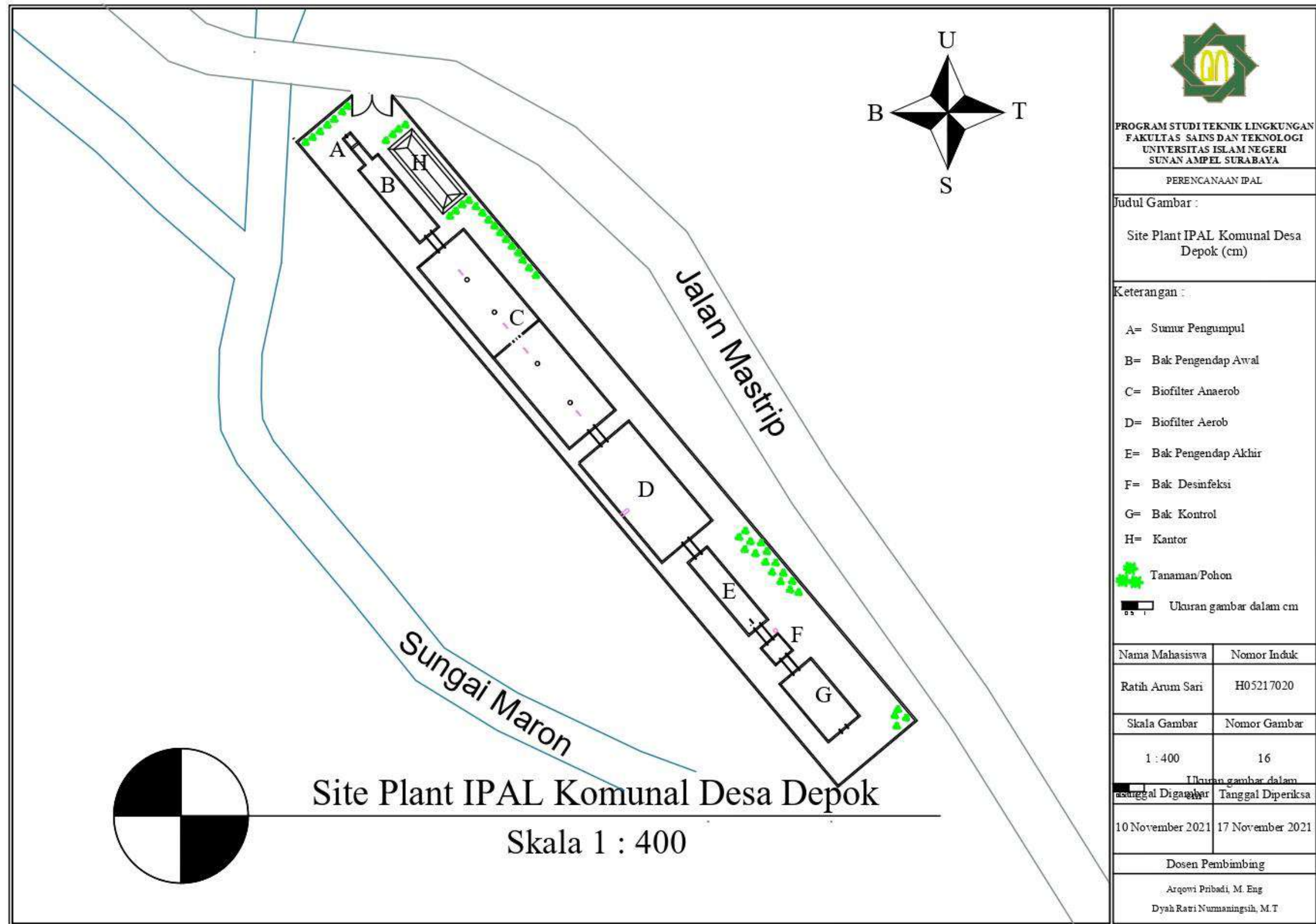
Total waktu detensi untuk mengolah air limbah di IPAL Komunal selama 24 jam atau 1 hari sedangkan untuk kebutuhan efektif untuk etiap bangunan untuk panjang dan lebar sepanjang 128 m dan 12 m dengan kedalaman 5,1 m. berikut

merupakan gambaran dari layout dan site plant IPAL Komunal Desa Depok yang dapat dilihat pada gambar 5.19 dan gambar 5.20 berikut:





Gambar 5. 18 Layout IPAL Komunal Desa Depok



Gambar 5. 19 Site Plant IPAL Komunal Desa Depok

5.2.11 Profil Hidrolis

Profil hidrolis dari suatu perencanaan perlu diperhitungkan. Karena dengan menentukan profil hidrolis dapat mengetahui elevasi penurunan muka air selama proses pengolahan pada setiap unit pengolahan. Profil hidrolis dapat diketahui dari perhitungan headloss setiap bangunan. Berikut perhitungan headloss setiap bangunan dapat dilihat dibawah ini:

a. Sumur Pengumpul

Aliran air limbah akan masuk ke sumur pengumpul dengan kedalaman 2,5 m dan tinggi total bangunan 2,8 m, sehingga sisa didapa elevasi awal -0,3 m dibawah permukaan tanah. Berikut perhitungan profil hidrolis sumur pengumpul.

Diketahui:

Panjang, b	= 3,2 m
Tinggi, y	= 6,8 m
Elevasi awal, Elv ₁	= -0,3 m
Kecepatan aliran, v	= 1 m/s
Koefisien kekasaran, n	= 0,013
Tinggi sekat, L	= 2,5 m
Percepatan gravitasi, g	= 9,81 m/s

Perhitungan *headloss* bak pengendap awal sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Jari jari hidrolis (R)} &= \frac{b \times y}{b+2y} \\
 &= \frac{3,2 \text{ m} \times 6,8 \text{ m}}{3,2 \text{ m} + (2 \times 6,8 \text{ m})} \\
 &= 1,3 \text{ m} \\
 2) \text{ Headloss jatuhan (Hf}_h\text{)} &= \frac{v \times n}{(R^2)^2} \times L \\
 &= \frac{1 \text{ m/s} \times 0,013}{((1,3 \text{ m})^2)^2} \times 2,5 \text{ m} \\
 &= 0,115 \text{ m} \\
 3) \text{ Headloss Kecepatan (Hf}_v\text{)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/4R \\
 &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/(4 \times 1,3 \text{ m}) \\
 &= 0,0059 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Hf_v &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0,010 \text{ m} \times \\
 &\quad \frac{2,5 \text{ m}}{(4 \times 1,3 \text{ m})} \times \frac{(1 \text{ m/detik})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/detik}} \\
 &= 0,000145 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4) \text{ Headloss pipa inlet } (Hf_{in}) &= s \times L \\
 &= 0,01 \times 2,5 \text{ m} \\
 &= 0,025
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Head total} &= (0,0115 + 0,000145 + 0,25) \text{ m} \\
 &= 0,037 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 5) \text{ Elevasi akhir} &= Elv_1 - Hf \\
 &= -0,3 \text{ m} - 0,037 \text{ m} \\
 &= -0,26 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6) \text{ Muka Air} &= \text{kedalaman total} + \text{ketinggian air} \\
 &= -7 \text{ m} + 2,5 \text{ m} \\
 &= -4,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b. Pompa

Berdasarkan kriteria desain pada sub bab 2.6.1 poin 3, didapatkan rencana pompa sebagai berikut. Berikut merupakan kriteria dari pompa menuju unit pengolahan selanjutnya:

$$\begin{aligned}
 \text{Debit air limbah, } Q &= 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari} \quad (\text{Subbab 5.2.3}) \\
 &= 2,1 \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi, } h = 7 \text{ m}$$

$$\text{Dosis pembubuhan} = 5 \text{ mg/l} = 5 \times 10^{-6} \text{ kg/liter}$$

$$\text{Koefisien pipa besi, } C = 150 \text{ (hazen-william)}$$

$$\text{Head statis, } h_s = 7 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan dalam pipa, } V_p = 1 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Gravitasi, } g = 9,81$$

1) *Head pipa/head mayor* (Δh_{mayor})

$$\begin{aligned}\Delta h_{\text{mayor}} &= \left(\frac{151 \times Q}{C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \\ &= \left(\frac{151 \times 0,01 \text{ m}^3/\text{s}}{150 \times (0,21 \text{ m})^{2,63}} \right)^{1,85} \\ &= 0,0489 \text{ meter}\end{aligned}$$

2) *Head valve/fitting/head minor* (Δh_{minor})

$$\begin{aligned}\Delta h_{\text{minor}} &= n \left[k \times \left(\frac{v^2}{2 \times g} \right) \right] \\ &= 2 \left[0,33 \times \left(\frac{1^2}{2 \times 9,81} \right) \right] \\ &= 0,033 \text{ meter}\end{aligned}$$

3) *Head total pipa* (H_{pump})

$$\begin{aligned}H_{\text{pump}} &= h_s + \Delta h_{\text{mayor}} + \Delta h_{\text{minor}} \\ &= 7 \text{ m} + 0,0489 \text{ meter} + 0,033 \text{ meter} \\ &= 7,0825 \text{ meter}\end{aligned}$$

4) *Muka air*

$$\begin{aligned}&= h_s - h_{\text{pump}} \\ &= 7 \text{ m} - 7,0825 \text{ m} \\ &= -0,0825 \text{ m}\end{aligned}$$

c. Barscreen

Berdasarkan kriteria desain pada sub bab 2.6.1 poin 1. Didapatkan rencana desain untuk menghitung headloss pada unit barscreen sebagai berikut:

Diketahui:

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman air, } H_{\text{air}} &= 0,5 \text{ m} \\ \text{Kecepatan aliran, } V &= 0,6 \text{ m/s} \\ \text{Lebar batang, } w &= 0,005 \text{ m} \\ \text{Jarak antar batang, } b &= 0,05 \text{ m} \\ \text{Tipe bar screen, } \beta &= 2,42 \\ \text{Percepatan gravitasi, } g &= 9,81 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

Perhitungan headloss air limbah unit barscreen dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Headloss (Hl)} = \beta \times \left(\frac{w}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \times h_v \times \sin 60^\circ$$

$$= 2,42 \left(\frac{0,005 \text{ m}}{0,05} \right)^{\frac{4}{3}} \times \left(\frac{(0,6 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} \right) \times \sin 60^\circ$$

$$= 0,00178 \text{ m}$$

Elevasi muka air limbah setelah melewati *screen*, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Elevasi Akhir} &= \text{Elv}_1 - H_f \\ &= -0,0825 \text{ m} - 0,00178 \text{ m} \\ &= -0,0844 \text{ m} \end{aligned}$$

d. Bak pengendap awal

Aliran air limbah akan masuk ke bak pengendap awal dengan *head* = 3 m maka

Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Panjang, } b &= 16 \text{ m} \\ \text{Tinggi, } y &= 4,3 \text{ m} \\ \text{Elevasi awal, } \text{Elv}_1 &= -0,054 \text{ m} \\ \text{Kecepatan aliran, } v &= 1 \text{ m/s} \\ \text{Koefisien kekasaran, } n &= 0,013 \\ \text{Tinggi sekat, } L &= 4 \text{ m} \\ \text{Percepatan gravitasi, } g &= 9,81 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan *headloss* bak pengendap awal sebagai berikut

$$\begin{aligned} 1) \text{ Jari jari hidrolis (R)} &= \frac{b \times y}{b+2y} \\ &= \frac{16 \text{ m} \times 4,3 \text{ m}}{16 \text{ m} + (2 \times 4,3 \text{ m})} \\ &= 2,79 \text{ m} \\ 2) \text{ Headloss jatuhan (Hf}_h) &= \frac{v \times n}{(R^2)^2} \times L \\ &= \frac{1 \text{ m/s} \times 0,013}{((2,79 \text{ m})^2)^2} \times 4 \text{ m} \\ &= 0,00084 \text{ m} \\ 3) \text{ Headloss Kecepatan (Hf}_v) &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/4R \\ &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/(4 \times 2,79 \text{ m}) \\ &= 0,002745 \text{ m} \\ \text{Hf}_v &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \end{aligned}$$

$$= 0,003593 \text{ m} \times \frac{3 \text{ m}}{(4 \times 2,79 \text{ m})} \times \frac{(1 \text{ m/detik})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/detik}}$$

$$= 0,0000498 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} 4) \text{ Headloss pipa inlet } (H_{f_{in}}) &= s \times L \\ &= 0,01 \times 4 \text{ m} \\ &= 0,04 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Head total} &= (0,000849 + 0,0000498 + 0,04) \text{ m} \\ &= 0,0409 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5) \text{ Elevasi akhir} &= \text{Elv}_1 - H_f \\ &= -0,0844 \text{ m} - 0,0409 \text{ m} \\ &= -0,125 \text{ m} \end{aligned}$$

e. Biofilter Anaerob

Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Ukuran rongga media, } d &= 0,1 \text{ m} \\ \text{Faktor bentuk, } \Psi &= 1 \\ \text{Porositas, } e &= 0,98 \\ \text{Massa jenis, } \rho &= 0,9963 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Viskositas} &= 8,7 \times 10^{-6} \text{ kg/m.s (pada suhu } 25^\circ\text{C)} \\ \text{Panjang, } b &= 25 \text{ m} \\ \text{Tinggi total, } y &= 3 \text{ m} \\ \text{Tinggi sekat, } L &= 2,5 \text{ m} \\ \text{Elevasi awal air} &= -0,125 \text{ m} \\ \text{Kecepatan aliran} &= 1 \text{ m/detik} \\ \text{Koefisien kekasaran, } n &= 0,015 \end{aligned}$$

Berikut perhitungan kehilangan tekan pada unit bak biofilter anaerob

$$\begin{aligned} 1) \text{ Jari-jari hidrolis } (R) &= \frac{b \times y}{b + 2y} \\ &= \frac{25 \text{ m} \times 3 \text{ m}}{25 \text{ m} + (2 \times 3 \text{ m})} \\ &= 2,42 \text{ m} \end{aligned}$$

$$2) \text{ Headloss jatuhan } (H_{fb}) = \frac{v \times n}{(R^2)^2} \times L$$

$$= \frac{1 \text{ m/detik} \times 0,013}{((2,42 \text{ m})^2)^2} \times 2,5 \text{ m}$$

$$= 0,00109 \text{ m}$$

3) Headloss kecepatan

$$\text{Koefisien kekerasan (f)} = 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/4R$$

$$= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/(4 \times 2,42 \text{ m})$$

$$= 0,00316 \text{ m}$$

$$\text{Hfv} = f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$= 0,0036 \text{ m} \times \frac{2,5 \text{ m}}{(4 \times 2,42 \text{ m})} \times \frac{(1 \text{ m/detik})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/detik}}$$

$$= 0,0000416 \text{ m}$$

4) Headloss belokan

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

$$= \left(\frac{1 \text{ m/detik} \times 0,015}{(2,42 \text{ m})^{2/3}} \right)^2 \times 2,5 \text{ m}$$

$$= 0,000138 \text{ m}$$

5) Headloss inlet

$$= s \times L$$

$$= 0,01 \times 2,5 \text{ m}$$

$$= 0,025$$

6) Headloss sarang tawon

$$\text{Kecapatan filtrasi, } v = \left(\frac{Q}{d^2} \right) / e$$

$$= \left(\frac{2,1 \text{ m}^2/\text{detik}}{(0,1)^2} \right) / 0,98$$

$$= 3,58 \text{ m/s}$$

$$\text{N}_{\text{RE}} = \frac{\Psi \times \rho \times d \times v}{\mu}$$

$$= \frac{1 \times 0,9963 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,1 \times 1,29 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,00000087}$$

$$= 1145,17$$

$$\text{Cd} = 0,4 \text{ dikarenakan } \text{N}_{\text{RE}} > 10^4$$

$$\text{Hf}_{\text{srt}} = 1,67 \times \frac{\text{Cd} \times L \times v^2}{\Psi \times d \times e^4 \times g}$$

$$= 1,67 \times \frac{0,4 \times 2,5 \text{ m} \times \left(1,29 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{1 \times 0,1 \times (0,98)^4 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$= 0,000185 \text{ m}$$

7) *Headloss* kecepatan filter

$$\text{Lebar media filter} = 7,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien kekerasan} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/(4R) \\ &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/(4 \times 2,42 \text{ m}) \\ &= 0,00316 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{fv} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,0036 \text{ m} \times \frac{7,5 \text{ m}}{(4 \times 2,42 \text{ m})} \times \frac{(1 \text{ m/detik})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/detik}} \\ &= 0,00026 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 8) H_f \text{ total biofilter anaerob} &= H_f \text{ jatuhan} + H_{fv} + H_{belokan} + H_{srt} + \\ &\quad H_{fvsrt} \\ &= 0,00109 \text{ m} + 0,0000426 \text{ m} + 0,000138 \text{ m} \\ &\quad + 0,00018 \text{ m} + 0,00026 \text{ m} \\ &= 0,00411 \text{ m} \end{aligned}$$

Elevasi akhir muka air pada unit biofilter anaerob yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Elv}_2 &= \text{Elv}_1 - H_f \text{ total} \\ &= -0,125 \text{ m} - 0,0041 \text{ m} \\ &= -0,129 \text{ m} \end{aligned}$$

f. Biofilter aerob

Diketahui:

$$\text{Debit air limbah, } Q = 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari} = 2,1 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Ukuran rongga media, } d = 0,1 \text{ m}$$

$$\text{Faktor bentuk, } \Psi = 1$$

$$\text{Porositas, } e = 0,98$$

$$\text{Massa jenis, } \rho = 0,9963 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Viskositas} = 8,7 \times 10^{-6} \text{ kg/m.s (pada suhu } 25^\circ\text{C)}$$

$$\text{Panjang, } b = 25 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi total, } y = 2,8 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi sekat, } L = 2,5 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi awal air} = -0,089 \text{ m}$$

Kecepatan aliran = 1 m/s

Koefisien kekasaran, n = 0,013

Berikut perhitungan kehilangan tekan pada unit bak biofilter aerob

$$\begin{aligned} 1) \text{ Jari-jari hidrolis (R)} &= \frac{b \times y}{b+2y} \\ &= \frac{25 \text{ m} \times 2,8 \text{ m}}{25 \text{ m} + (2 \times 2,8 \text{ m})} \\ &= 2,3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Headloss jatuhan (H}_{fb}) &= \frac{v \times n}{(R^2)^{2/3}} \times L \\ &= \frac{1 \text{ m/detik} \times 0,013}{((2,3 \text{ m})^2)^{2/3}} \times 2,5 \text{ m} \\ &= 0,001369 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Headloss kecepatan} \\ \text{Koefisien kekerasan (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/4R \\ &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/(4 \times 2,3 \text{ m}) \\ &= 0,00334 \text{ m} \\ H_{fv} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,003659 \text{ m} \times \frac{2,5 \text{ m}}{(4 \times 2,3 \text{ m})} \times \frac{(1 \text{ m/detik})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/detik}} \\ &= 0,0000465 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) \text{ Headloss belokan} \\ H_{fb} &= \left(\frac{v \times n}{(R)^{2/3}} \right)^2 \times L \\ &= \left(\frac{1 \text{ m/detik} \times 0,013}{(2,3 \text{ m})^{2/3}} \right)^2 \times 2,5 \text{ m} \\ &= 0,000149 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5) \text{ Headloss inlet} &= s \times L \\ &= 0,01 \times 2,5 \text{ m} \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6) \text{ Headloss sarang tawon} \\ \text{Kecapatan filtrasi, v} &= \left(\frac{Q}{d^2} \right) / e \\ &= \left(\frac{2,1 \text{ m}^2/\text{s}}{(0,1)^2} \right) / 0,98 \\ &= 3,587 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{RE} &= \frac{\Psi \times \rho \times d \times v}{\mu} \\
 &= \frac{1 \times 0,9963 \frac{kg}{m^3} \times 0,1 \times 1,287249 \frac{m}{s}}{0,00000087} \\
 &= 1145,172 \\
 Cd &= 0,4 \text{ dikarenakan } N_{RE} > 10^4 \\
 Hf_{srt} &= 1,067 \times \frac{Cd \times L \times v^2}{\Psi \times d \times e^4 \times g} \\
 &= 1,067 \times \frac{0,4 \times 2,5 \text{ m} \times (0,1)^2}{1 \times 0,1 \times (0,98)^4 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} \\
 &= 0,0001845 \text{ m}
 \end{aligned}$$

7) *Headloss* kecepatan filter

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar media filter} &= 12,4 \text{ m} \\
 \text{Koefisien kekerasan} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/(4R) \\
 &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/(4 \times 2,3 \text{ m}) \\
 &= 0,00334 \text{ m} \\
 H_{fv} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0,00334 \text{ m} \times \frac{12,4 \text{ m}}{(4 \times 2,3 \text{ m})} \times \frac{(1 \text{ m/detik})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/detik}} \\
 &= 0,000297 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 8) \text{ Hf total biofilter aerob} &= Hf \text{ jatuhan} + H_{fv} + H_{belokan} + H_{srt} + H_{fvsrt} \\
 &= 0,00136 \text{ m} + 0,0000465 \text{ m} + 0,000149 \text{ m} \\
 &\quad + 0,0001845 \text{ m} + 0,000297 \text{ m} \\
 &= 0,0047 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Elevasi akhir muka air pada unit biofilter anaerob yaitu:

$$\begin{aligned}
 Elv_2 &= Elv_1 - Hf \text{ total} \\
 &= -0,129 \text{ m} - 0,0047 \text{ m} \\
 &= -0,134 \text{ m}
 \end{aligned}$$

g. Bak Pengendap Akhir

Unit pengendap akhir sebagai penerima air limbah setelah pengolahan utama

Diketahui:

Panjang, b	= 16 m
Tinggi, y	= 4,3 m
Elevasi awal, Elv_1	= -0,054 m
Kecepatan aliran, v	= 1 m/s
Koefisien kekasaran, n	= 0,013
Tinggi sekat, L	= 4 m
Percepatan gravitasi, g	= 9,81 m/s

Perhitungan *headloss* bak pengendap awal sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 6) \text{ Jari jari hidrolis (R)} &= \frac{b \times y}{b+2y} \\
 &= \frac{16 \text{ m} \times 4,3 \text{ m}}{16 \text{ m} + (2 \times 4,3 \text{ m})} \\
 &= 2,79 \text{ m} \\
 7) \text{ Headloss jatuhan (Hf}_h) &= \frac{v \times n}{(R^2)^2} \times L \\
 &= \frac{1 \text{ m/s} \times 0,013}{((2,79 \text{ m})^2)^2} \times 4 \text{ m} \\
 &= 0,00084 \text{ m} \\
 8) \text{ Headloss Kecepatan (Hf}_v) &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/4R \\
 &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/(4 \times 2,79 \text{ m}) \\
 &= 0,002745 \text{ m} \\
 \text{Hf}_v &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0,003593 \text{ m} \times \frac{3 \text{ m}}{(4 \times 2,79 \text{ m})} \times \frac{(1 \text{ m/detik})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/detik}} \\
 &= 0,0000498 \text{ m} \\
 9) \text{ Headloss pipa inlet (Hf}_{in}) &= s \times L \\
 &= 0,01 \times 4 \text{ m} \\
 &= 0,04 \\
 \text{Head total} &= (0,000849 + 0,0000498 + 0,04) \text{ m} \\
 &= 0,0409 \text{ m} \\
 10) \text{ Elevasi akhir} &= Elv_1 - Hf \\
 &= -0,134 \text{ m} - 0,0409 \text{ m} \\
 &= -0,175 \text{ m}
 \end{aligned}$$

h. Bak Desinfeksi

Diketahui:

Panjang, b	= 3,2 m
Tinggi, y	= 4,3 m
Kedalaman air, H	= 2,5 m
Kecepatan aliran, v	= 1 m/s
Koefisien kekasaran, n	= 0,013
Tinggi sekat, L	= 2,5 m
Percepatan gravitasi, g	= 9,81 m/s

Perhitungan *headloss* bak pengendap akhir sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Jari jari hidrolis (R)} &= \frac{b \times y}{b+2y} \\
 &= \frac{5,1 \text{ m} \times 4,3 \text{ m}}{5,1 \text{ m} + (2 \times 4,3 \text{ m})} \\
 &= 1,33 \text{ m} \\
 2) \text{ Headloss jatuhan (Hf}_h) &= \frac{v \times n}{(R^2)^2} \times L \\
 &= \frac{1 \text{ m/s} \times 0,013}{((1,33 \text{ m})^2)^2} \times 2,5 \text{ m} \\
 &= 0,0102 \text{ m} \\
 3) \text{ Headloss Kecepatan (Hf}_v) &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/4R \\
 &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/(4 \times 1,33 \text{ m}) \\
 &= 0,00573 \text{ m} \\
 \text{Hf}_v &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0,00751 \text{ m} \times \frac{2 \text{ m}}{(4 \times 1,33 \text{ m})} \times \frac{(1 \text{ m/detik})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/detik}} \\
 &= 0,000137 \text{ m} \\
 4) \text{ Headloss pipa inlet (Hf}_{in}) &= s \times L \\
 &= 0,01 \times 2,5 \text{ m} \\
 &= 0,025 \\
 \text{Head total} &= (0,0102 + 0,000137 + 0,025) \text{ m} \\
 &= 0,035 \\
 5) \text{ Elevasi akhir} &= \text{Elv}_1 - \text{Hf} \\
 &= -0,175 \text{ m} - 0,035 \text{ m} \\
 &= -0,21 \text{ m}
 \end{aligned}$$

i. Bak kontrol

Diketahui:

Panjang, b	= 13 m
Tinggi, y	= 3,3 m
Kedalaman air, H	= 3 m
Kecepatan aliran, v	= 1 m/s
Koefisien kekasaran, n	= 0,013
Tinggi sekat, L	= 3 m
Percepatan gravitasi, g	= 9,81 m/s

Perhitungan *headloss* bak pengendap akhir sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Jari jari hidrolis (R)} &= \frac{b \times y}{b+2y} \\
 &= \frac{13 \text{ m} \times 3,3 \text{ m}}{13 \text{ m} + (2 \times 3,3 \text{ m})} \\
 &= 2,18 \text{ m} \\
 2) \text{ Headloss jatuhan (Hf}_h) &= \frac{v \times n}{(R^2)^2} \times L \\
 &= \frac{1 \text{ m/s} \times 0,013}{((2,18 \text{ m})^2)^2} \times 3 \text{ m} \\
 &= 0,0017 \text{ m} \\
 3) \text{ Headloss Kecepatan (Hf}_v) &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/4R \\
 &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078)/(4 \times 2,18 \text{ m}) \\
 &= 0,0035 \text{ m} \\
 \text{Hf}_v &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0,004936 \text{ m} \times \frac{2 \text{ m}}{(4 \times 2,18 \text{ m})} \times \frac{(1 \text{ m/detik})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/detik}} \\
 &= 0,000061 \text{ m} \\
 4) \text{ Headloss pipa inlet (Hf}_{in}) &= s \times L \\
 &= 0,01 \times 3 \text{ m} \\
 &= 0,03 \text{ m} \\
 \text{Head total} &= (0,0017 + 0,000061 + 0,03) \text{ m} \\
 &= 0,031 \\
 5) \text{ Elevasi akhir} &= \text{Elv}_1 - \text{Hf} \\
 &= -0,21 \text{ m} - 0,031 \text{ m} \\
 &= -0,242 \text{ m}
 \end{aligned}$$

j. Rekap

Berdasarkan Hasil perhitungan *headloss* dari masing masing nit sehingga didapatkan rekapitulasi *headloss* IPAL Desa Depok yang dapat dilihat pada tabel 5.21 berikut:

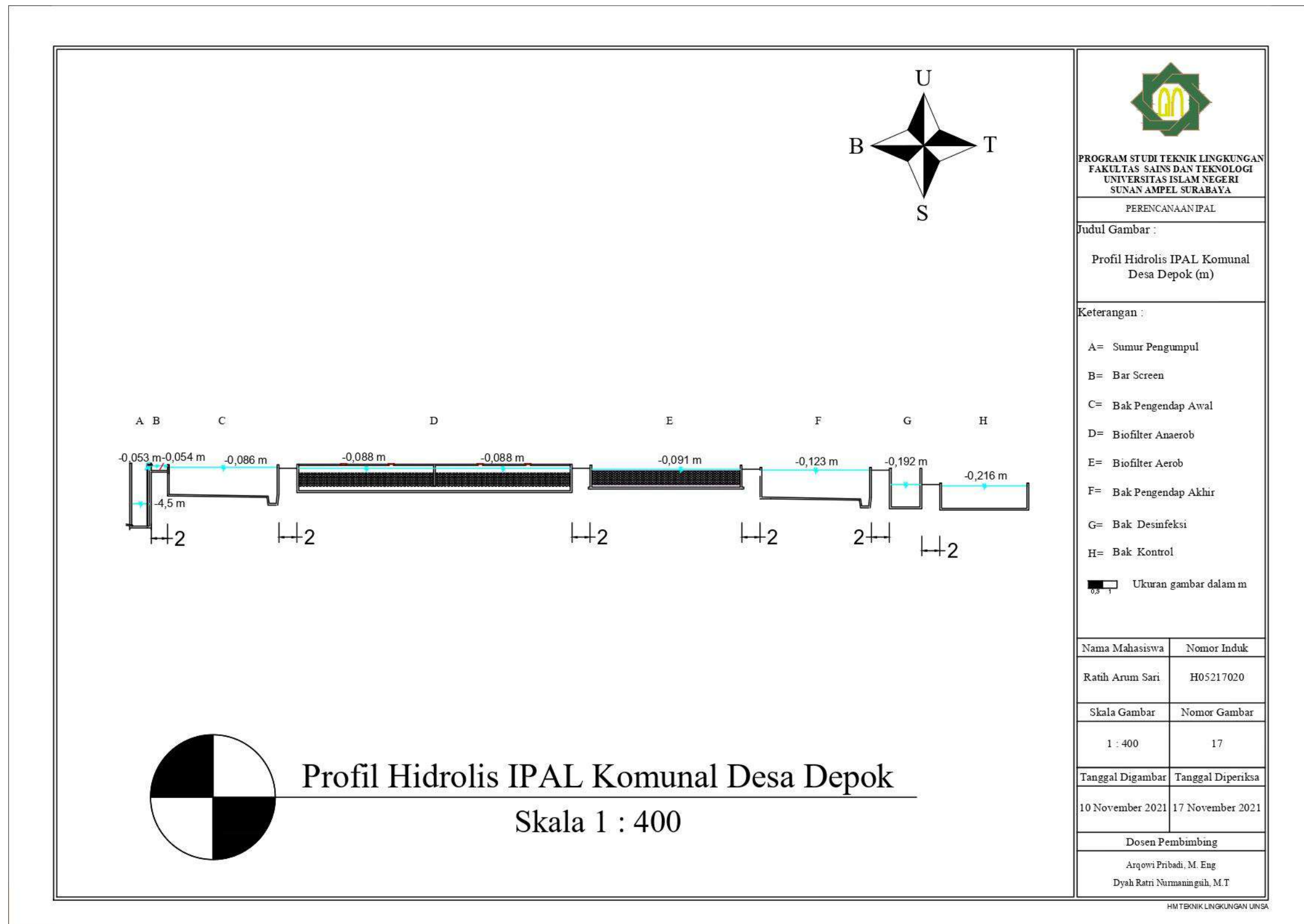
Tabel 5. 18 Hasil Perhitungan Profil Hidrolis

No.	Unit Bangunan	Elevasi Awal	<i>Headloss</i>	Elevasi Akhir
1	Sumur Pengumpul	-4,500	0,037	-4,537
2	Pompa screw	7,000	7,083	-0,083
3	<i>Saluran Bar Screen</i>	-0,083	0,002	-0,084
4	Bak Pengendap Awal	-0,084	0,041	-0,125
5	Biofilter Anaerob	-0,125	0,004	-0,129
6	Biofilter Aerob	-0,129	0,005	-0,134
7	Bak Pengendap Akhir	-0,134	0,041	-0,175
8	Desinfeksi	-0,175	0,035	-0,210
9	Bak Kontrol	-0,210	0,032	-0,242

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

Berikut merupakan gambaran dari profil hidrolis unit pengolahan air limbah yang dapat dilihat pada gambar 5.20 berikut:

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A



Gambar 5. 20 Profil Hidrolis

5.2.12 Kestimbangan Massa Unit Pengolahan

Kestimbangan massa atau *mass balance* merupakan perhitungan untuk mengetahui konsentrasi lumpur dan debit lumpur pada proses pengolahan. Berikut langkah perhitungan untuk *mass balance* dengan contoh perhitungan *mass balance* pada unit pengendap awal:

- a. Menghitung Penyisihan beban pencemar pada unit pengendap awal

Diketahui:

$$\text{Debit, } Q = 3.037.346 \text{ l/hari} \quad (\text{subbab 5.2.3})$$

$$= 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Removal TSS} = 60\% \quad (\text{tabel 5.5})$$

$$\text{Removal amonia} = 0\% \quad (\text{tabel 5.5})$$

$$\text{Removal total koliform} = 0\% \quad (\text{tabel 5.5})$$

$$\text{TSS in} = 255,8 \text{ mg/l} \quad (\text{tabel 5.1})$$

$$= 0,256 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{mTSS in} = \text{TSS in} \times Q$$

$$= 0,256 \text{ kg/m}^3 \times 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 278,69 \text{ kg/hari}$$

$$\text{mTSS} = \text{TSS in} \times \text{Removal TSS}$$

$$= 278,69 \text{ kg/hari} \times 60\%$$

$$= 167,21 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Amonia in} = 17,9 \text{ mg/l} \quad (\text{tabel 5.1})$$

$$= 0,018 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{mAmonia in} = \text{Amonia in} \times Q$$

$$= 0,073 \text{ kg/m}^3 \times 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 19,5 \text{ kg/hari}$$

$$\text{mAmonia eff} = \text{Amonia in} \times \text{Removal Amonia}$$

$$= 19,5 \text{ kg/hari} \times 0\%$$

$$= 0$$

$$\text{Total koliform in} = 11.000 \text{ mg/l} \quad (\text{tabel 5.1})$$

$$\begin{aligned}
 &= 11 \text{ kg/m}^3 \\
 m_{\text{Total koliform in}} &= \text{total koliform in} \times Q \\
 &= 11 \text{ kg/m}^3 \times 3037,35 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 11.984,17 \text{ kg/hari} \\
 m_{\text{Total koliform eff}} &= \text{TSS in} \times \text{Removal total koliform} \\
 &= 11.984,17 \text{ kg/hari} \times 0\% \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

b. Menghitung Produksi Lumpur Unit Pengendap awal

Menghitung produksi lumpur dengan menghitung kadar TSS yang tertahan pada unit pengolahan dimana diasumsikan kadar lumpur pada air limbah sebanyak 5% sedangkan 95% lainnya berupa air. Massa jenis lumpur sendiri sebesar 1.030 kg/m^3 .

Diketahui:

Kadar lumpur dalam air : 5%

Berat jenis lumpur : 1.030 kg/m^3

- Menghitung Massa Lumpur yang Dihasilkan

$$m_{\text{TSS}} = 5\% \times \text{massa lumpur}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Lumpur} &= \frac{m_{\text{TSS}}}{5\%} \\
 &= \frac{167,21}{5\%} \\
 &= 3.344,24 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

- Menghitung Debit Lumpur

$$\begin{aligned}
 \text{BJ Lumpur} &= 1.030 \text{ kg/m}^3 \\
 Q_{\text{lumpur}} &= \frac{\text{Massa Lumpur}}{\text{BJ Lumpur}} \\
 &= \frac{3.344,24 \text{ kg/hari}}{1.030 \text{ kg/m}^3} \\
 &= 3,25 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

- Effluen TSS

$$\begin{aligned}
 m_{\text{TSS (ef)}} &= m_{\text{TSS (in)}} - m_{\text{TSS (r)}} \\
 &= 278,69 \text{ kg/hari} - 167,21 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$= 111,47 \text{ kg/hari}$$

$$\text{TSS (ef)} = m\text{TSS (ef)} / 86,4$$

$$= 111,47 \text{ kg/hari} / 86,4$$

$$= 1,29 \text{ mg/l}$$

- Effluen amonia

$$m \text{ NH}_3\text{-N (ef)} = m \text{ NH}_3\text{-N (in)} - M \text{ NH}_3\text{-N (r)}$$

$$= 19,5 \text{ kg/hari} - 0 \text{ kg/hari}$$

$$= 19,5 \text{ kg/hari}$$

$$\text{NH}_3\text{-N (ef)} = m \text{ NH}_3\text{-N (ef)} / 86,4$$

$$= 19,5 \text{ kg/hari} / 86,4$$

$$= 0,255 \text{ mg/l}$$

- Effluen Total koliform

$$m \text{ T.koliform (ef)} = m \text{ T.koliform (in)} - M \text{ T.Koliform (r)}$$

$$= 119.984,17 \text{ kg/hari} - 0 \text{ kg/hari}$$

$$= 119.984,17 \text{ kg/hari}$$

$$\text{T.Koliform (ef)} = m \text{ T.koliform (ef)} / 86,4$$

$$= 119.984,17 \text{ kg/hari} / 86,4$$

$$= 138,7 \text{ mg/l}$$

Hasil dari setiap perhitungan diatas dapat kita ketahui pertimbangan massa kadar air limbah sebelum diolah dan setelah air limbah melalui proses pengolahan pada bak pengendap awal. Unit perhitungan lengkap setiap unit dapat dilihat pada tabel 5.23.

Tabel 5. 19 Persetimbangan Massa pada Sumur Pengumpul

Sumur Pengumpul		
influen		
parameter	kadar	satuan
TSS	255,80	mg/l
Amonia	17,90	
Total koliform	11000	
massa kadar pencemar		
parameter	kadar	satuan
MTSS	776,95	kg/hari
MAmonia	19,50	
Mtotal Koliform	11984,17	
removal		
parameter removal	prosentase	sumber
TSS	-	said, 2018
Amonia	-	
Total koliform	-	
Perhitungan		
parameter	kadar	satuan
MTSS = - X MTSS	0,00	kg/hari
Mamonia = - x MAmonia	0,00	
Mtotal Koliform = - x Mtotal koliform	0,00	
Lumpur terdiri dari 95% air dan 5% TSS, sehingga :		
Parameter	Kadar	Satuan
Massa Lumpur = TSS M/5%	0,00	kg/hari
Debit Lumpur ® = Massa lumpur / BJ Lumpur	0,00	m3/hari
efluen		
TSSM(ef)= TSSM(in) - TSSM	776,95	kg/hari
TSS(ef) = MTSS(in) / 86,4	255,80	mg/l
AmoniaM(ef)= AmoniaM(in) - AmoniaM		
Amonia(ef) = MAmonia(in) / 86,4	19,50	kg/hari
total koliformM(ef)= Total koliformM(in) - Total KoliformM		
total koliform(ef) = Mtotal koliform(in) / 86,4	11984,17	kg/hari
total koliform(ef) = Mtotal koliform(in) / 86,4		

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

Tabel 5. 20 Pertimbangan Massa pada Pengendap Awal

bak pengendap awal		
influen		
parameter	kadar	satuan
TSS	255,80	mg/l
Amonia	6,42	
Total koliform	3946	
massa kadar pencemar		
parameter	kadar	satuan
MTSS	776,95	kg/hari
MAmonia	19,50	
Mtotal Koliform	11984,17	
removal		
parameter removal	prosentase	sumber
TSS	60%	said, 2018
Amonia	-	
Total koliform	-	
Perhitungan		
parameter	kadar	satuan
MTSS = 60% X MTSS	466,17	kg/hari
Mamonia = - x MAmonia	0,00	
Mtotal Koliform = - x Mtotal koliform	0,00	
Lumpur terdiri dari 95% air dan 5% TSS, sehingga :		
Parameter	Kadar	Satuan
Massa Lumpur = TSS M/5%	9323,44	kg/hari
Debit Lumpur ® = Massa lumpur / BJ Lumpur	9,05	m3/hari
efluen		
TSSM(ef)= TSSM(in) - TSSM	310,78	kg/hari
TSS(ef) = MTSS(in) / 86,4	102,32	mg/l
AmoniaM(ef)= AmoniaM(in) - AmoniaM	19,50	kg/hari
Amonia(ef) = MAmonia(in) / 86,4	6,4205747	mg/l
total koliformM(ef)= Total koliformM(in) - Total KoliformM	11984,17	kg/hari
total koliform(ef) = Mtotal koliform(in) / 86,4	3945,6046	mg/l

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

Tabel 5. 21 Pertimbangan Massa pada Biofilter Anaerob-Aerob

biofilter aerob-anaerob		
influen		
parameter	kadar	satuan
TSS	102,32	mg/l
Amonia	6,42	
Total koliform	3946	
massa kadar pencemar		
parameter	kadar	satuan
MTSS	310,78	kg/hari
MAmonia	19,50	
Mtotal Koliform	11984,17	
removal		
parameter removal	prosentase	sumber
TSS	87%	said, 2018
Amonia	97%	
Total koliform	-	
Perhitungan		
parameter	kadar	satuan
MTSS = 60% X MTSS	270,38	kg/hari
Mamonia = - x MAmonia	18,92	
Mtotal Koliform = - x Mtotal koliform		
Lumpur terdiri dari 95% air dan 5% TSS, sehingga :		
Parameter	Kadar	Satuan
Massa Lumpur = TSS M/5%	5407,59	kg/hari
Debit Lumpur ® = Massa lumpur / BJ Lumpur	5,25	m3/hari
efluen		
TSSM(ef)= TSSM(in) - TSSM	40,40	kg/hari
TSS(ef) = MTSS(in) / 86,4	13,30	mg/l
AmoniaM(ef)= AmoniaM(in) - AmoniaM	0,59	kg/hari
Amonia(ef) = MAmonia(in) / 86,4	0,19	mg/l
total koliformM(ef)= Total koliformM(in) - Total KoliformM	11984,17	kg/hari
total koliform(ef) = Mtotal koliform(in) / 86,4	3946	mg/l

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

Tabel 5. 22 Pertimbangan Massa pada Pengendap Akhir

bak pengendap akhir		
influen		
parameter	kadar	satuan
TSS	13,30	mg/l
Amonia	0,19	
Total koliform	3946	
massa kadar pencemar		
parameter	kadar	satuan
MTSS	13,30	kg/hari
MAmonia	0,59	
Mtotal Koliform	11984,17	
removal		
parameter removal	prosentase	sumber
TSS	60%	said, 2018
Amonia	-	
Total koliform	-	
Perhitungan		
parameter	kadar	satuan
MTSS = 60% X MTSS	7,98	kg/hari
Mamonia = - x MAmonia	0,00	
Mtotal Koliform = - x Mtotal koliform	0,00	
Lumpur terdiri dari 95% air dan 5% TSS, sehingga :		
Parameter	Kadar	Satuan
Massa Lumpur = TSS M/5%	159,62	kg/hari
Debit Lumpur ® = Massa lumpur / BJ Lumpur	0,15	m3/hari
efluen		
TSSM(ef)= TSSM(in) - TSSM	5,32	kg/hari
TSS(ef) = MTSS(in) / 86,4	1,75	mg/l
AmoniaM(ef)= AmoniaM(in) - AmoniaM	0,59	kg/hari
Amonia(ef) = MAmonia(in) / 86,4	0,19	mg/l
total koliformM(ef)= Total koliformM(in) - Total KoliformM	11984,17	kg/hari
total koliform(ef) = Mtotal koliform(in) / 86,4	3945,6046	mg/l

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

Tabel 5. 23 Pertimbangan Massa pada Desinfeksi

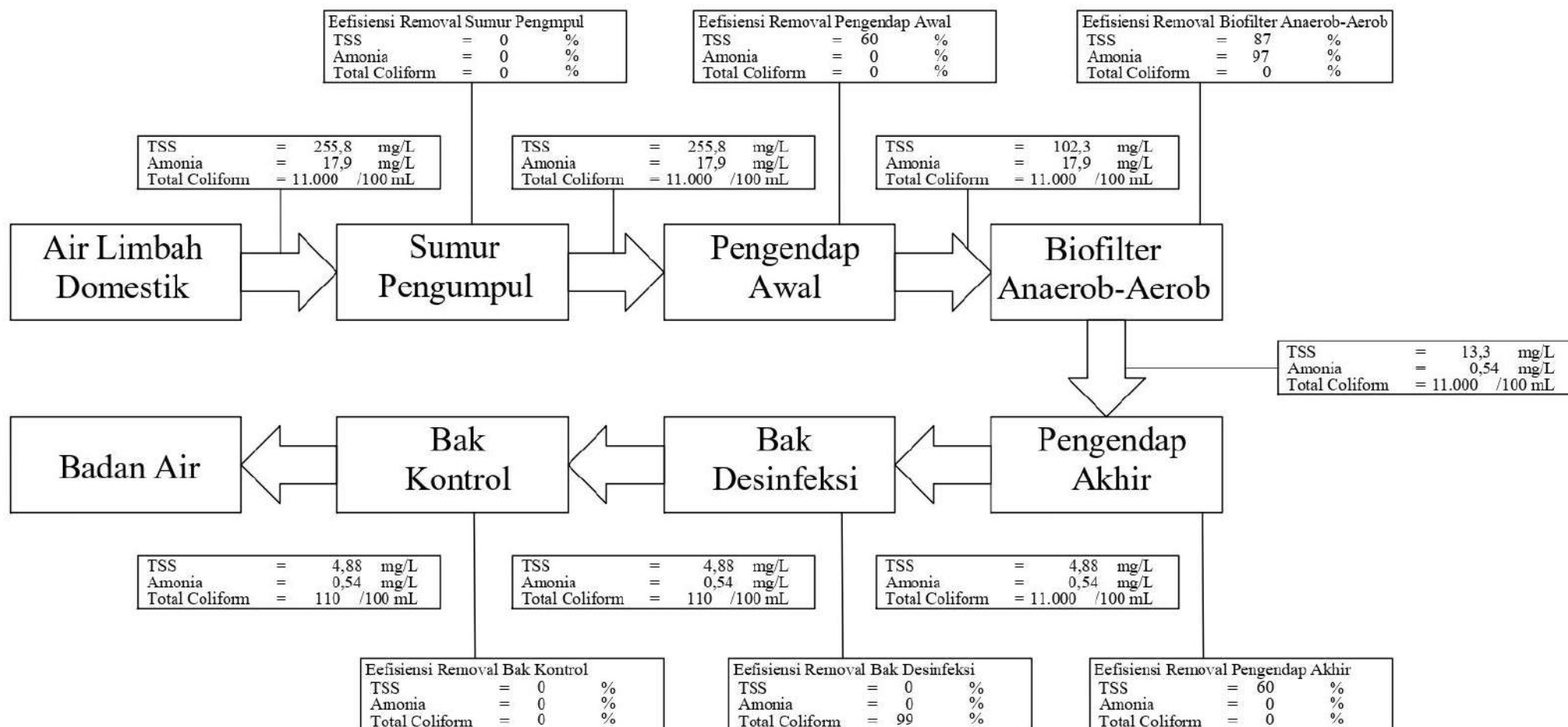
Desinfeksi		
influen		
parameter	kadar	satuan
TSS	1,75	mg/l
Amonia	0,19	
Total koliform	3946	
massa kadar pencemar		
parameter	kadar	satuan
MTSS	1,75	kg/hari
MAmonia	0,59	
Mtotal Koliform	11984,17	
removal		
parameter removal	prosentase	sumber
TSS	-	said, 2018
Amonia	-	
Total koliform	99%	
Perhitungan		
parameter	kadar	satuan
MTSS = 60% X MTSS	0,00	kg/hari
Mamonia = - x MAmonia	0,00	
Mtotal Koliform = - x Mtotal koliform	11864,32	
Lumpur terdiri dari 95% air dan 5% TSS, sehingga :		
Parameter	Kadar	Satuan
Massa Lumpur = TSS M/5%	0,00	kg/hari
Debit Lumpur ® = Massa lumpur / BJ Lumpur	0,00	m3/hari
efluen		
TSSM(ef)= TSSM(in) - TSSM	1,75	kg/hari
TSS(ef) = MTSS(in) / 86,4	0,58	mg/l
AmoniaM(ef)= AmoniaM(in) - AmoniaM	0,59	kg/hari
Amonia(ef) = MAmonia(in) / 86,4	0,19	mg/l
total koliformM(ef)= Total koliformM(in) - Total KoliformM	119,84	kg/hari
total koliform(ef) = Mtotal koliform(in) / 86,4	39	mg/l

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

Tabel 5. 24 Pertimbangan Massa pada Bak Kontrol

Bak kontrol		
influen		
parameter	kadar	satuan
TSS	0,58	mg/l
Amonia	0,19	
Total koliform	39	
massa kadar pencemar		
parameter	kadar	satuan
MTSS	1,75	kg/hari
MAmonia	0,59	
Mtotal Koliform	119,84	
removal		
parameter removal	prosentase	sumber
TSS	-	said, 2018
Amonia	-	
Total koliform	-	
Perhitungan		
parameter	kadar	satuan
MTSS = - X MTSS	0,00	kg/hari
Mamonia = - x MAmonia	0,00	
Mtotal Koliform = - x Mtotal koliform	0,00	
Lumpur terdiri dari 95% air dan 5% TSS, sehingga :		
Parameter	Kadar	Satuan
Massa Lumpur = TSS M/5%	0,00	kg/hari
Debit Lumpur ® = Massa lumpur / BJ Lumpur	0,00	m3/hari
efluen		
TSSM(ef)= TSSM(in) - TSSM	1,75	kg/hari
TSS(ef) = MTSS(in) / 86,4	0,58	mg/l
AmoniaM(ef)= AmoniaM(in) - AmoniaM	0,59	kg/hari
Amonia(ef) = MAmonia(in) / 86,4	0,19	mg/l
total koliformM(ef)= Total koliformM(in) - Total KoliformM	119,84	kg/hari
total koliform(ef) = Mtotal koliform(in) / 86,4	39,456046	mg/l

Sumber: Analisis perhitungan, 202



Gambar 5. 21 Keseimbangan Masa IPAL Komunal Depok

5.3. Bill of Quantity (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya

Menentukan *bill of quantity* (BOQ) dan rencana anggaran biaya (RAB) merupakan bagian yang perlu direncanakan dalam melakukan pekerjaan konstruksi. BOQ menjabarkan tentang deskripsi bagian kegiatan, kebutuhan bahan atau material yang akan digunakan serta terdapat harga satuan pokok (mengacu pada HSP Kabupaten Trenggalek 2020). Sedangkan RAB merupakan total biaya atau harga dari BOQ yang telah ditentukan.

Uraian tahapan pekerjaan konstruksi IPAL harus disusun terlebih dahulu sebelum melakukan perhitungan BOQ dan RAB guna mengetahui Analisis harga satuan pekerjaan (AHSP) yang mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor: 28/PRT/M/2016 tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum. Berikut merupakan uraian tahapan pekerjaan konstruksi IPAL yang dapat dilihat pada tabel 5.26 dibawah ini.

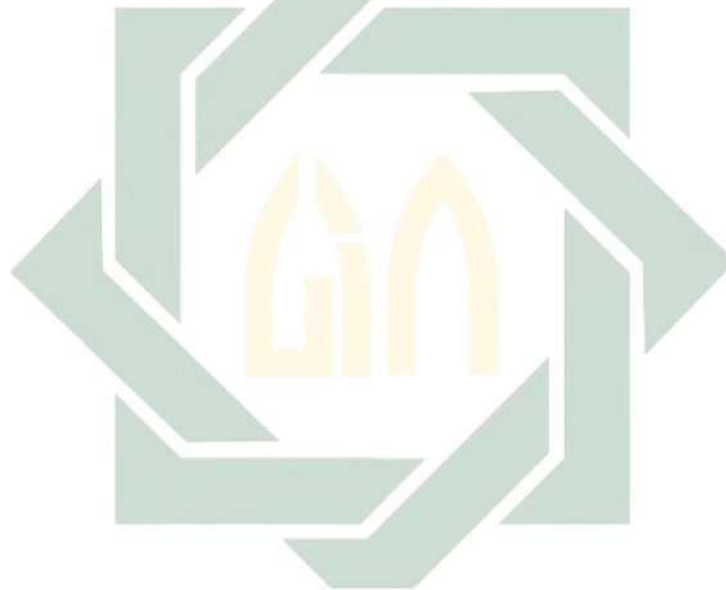
Tabel 5. 25 Uraian Tahapan Pekerjaan Konstruksi IPAL

Level 1	Kelompok Pekerjaan (Level 2)	Jenis Pekerjaan (Sub level 2)
Divisi 2	2.2.1 Pekerjaan Persiapan	
	A.2.2.1.4	1. Pengukuran dan pemasangan 1m ² Bowplank
	A.2.2.1.8	2. (K3) Pembersihan dan perataan lapangan 1 m ²
Divisi 2	2.3.1 Pekerjaan Tanah	
	A.2.3.1.3	1. Penggalian tanah biasa sedalam 3 m
	A.2.3.1.10	2. Pengurugan dengan pasir urug
	A.2.3.3.11	3. Pengurugan kembali 1m ³ galian tanah
Divisi 4	4.1.1 Pekerjaan Lantai Kerja	
	A.4.1.1.5	1. Pembuatan 1 m ³ beton mutu fc 14,5 Mpa (K-150)
	A.4.1.1.9	2. Pembuatan 1 m ³ beton mutu fc 24 Mpa (K-275)
	A.4.1.1.17	3. Pembesian 10 kg dengan besi polos atau ulir
	A.4.1.1.24	4. (K3) Pemasangan 1m ³ Bekisting lantai
	A.4.1.1.25	5. (K3) Pemasangan 1m ³ Bekisting dinding
		6. Lain-lain
Divisi 8	8.4.1 Pekerjaan Pemasangan pipa di luar gedung	
	A.8.4.1.16	1. (K3) Pemasangan 1 m pipa PVC ø 1200 mm (5')
		2. Aksesoris tee ø 1200 mm
Divisi 9	Pekerjaan Lain lain	

Level 1	Kelompok Pekerjaan (Level 2)	Jenis Pekerjaan (Sub level 2)
		1. Pembersihan Akhir

(Sumber: Peraturan Menteri PUPR No. 28 Tahun 2016)

Rencana anggaran biaya (RAB) merupakan perhitungan dari *bill of quantity* (BOQ) yang dikalikan dengan harga satuan pekerjaan. Total dari semua tahapan pekerjaan yang dijadikan sebagai rencana anggaran biaya untuk konstruksi IPAL sebesar Rp 2.667.154.000,00 terbilang dua milyar enam ratus enam puluh tujuh juta seratus lima puluh empat ribu rupiah. Berikut merupakan RAB IPAL Desa Depok yang dapat dilihat pada tabel 5.27 dibawah ini.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Tabel 5. 26 Rencana Anggaran Biaya

No.	Uraian Pekerjaan	Volume/	Sat	Analisa	Harga Satuan	Jumlah Harga
VIII	PEKERJAAN IPAL KOMUNAL					
A	Pekerjaan Persiapan					
1	Pembersihan Lahan	276,40	Ls	A. 2.2.1.8	Rp 14.490,00	Rp 4.005.036,00
2	Pemasangan Bowplank	276,40	m 1	A. 2.2.1.4	Rp 70.437,50	Rp 19.468.925,00
					Sub Jumlah	Rp 23.473.961,00
B	Pekerjaan Tanah					
1	Galian Tanah Kolam	1.715,78	m 3	A. 2.3.1.3	Rp 102.108,50	Rp 175.195.211,59
2	Urugan Pasir Alas Bawah Lantai Kolam	54,91	m 3	A. 2.3.1.10	Rp 236.555,00	Rp 12.988.052,28
3	Urugan Tanah Kolam Kembali	54,91	m 3	A. 2.3.1.11	Rp 50.600,00	Rp 2.778.193,00
					Sub Jumlah	Rp 190.961.456,86
C	Pekerjaan Lantai Kerja					
1	Beton K-150	54,91	m 3	A. 4.1.1.5	Rp 1.390.658,60	Rp 76.354.110,57
					Sub Jumlah	Rp 76.354.110,57
D	Pekerjaan Beton Bertulang					
1	Beton K-275	416,14	m 3	A. 4.1.1.9	Rp 1.486.283,92	Rp 618.496.245,33

No.	Uraian Pekerjaan	Volume/	Sat	Analisa	Harga Satuan	Jumlah Harga
2	Pembesian	656,94	kg	A. 4.1.1.17	Rp 16.576,96	Rp 10.889.990,18
3	Bekisting Lantai	82,36	m ²	A. 4.1.1.24	Rp 1.291.799,60	Rp 106.389.385,56
4	Bekisting Dinding	130,04	m ²	A. 4.1.1.25	Rp 719.565,00	Rp 93.568.634,78
5	Perawatan Beton/Lain Lain	416,14	m ³	Taksir	Rp 60.000,00	Rp 24.968.160,00
Jumlah						Rp 854.312.415,84
E	Pekerjaan Pipa					
1	Pipa PVC 5"	23,00	m	A. 8.4.1.14	Rp 336.774,28	Rp 7.745.808,44
2	TEE Socket 5"	23,00	bh	Taksir	Rp 4.225,00	Rp 97.175,00
Sub Jumlah						Rp 7.842.983,44
F	Pekerjaan Lain Lain					
1	Pembersihan Akhir	7,00	Ls	Taksir	Rp 1.000.000,00	Rp 7.000.000,00
Sub Jumlah						Rp 7.000.000,00
Total Jumlah						Rp 1.159.944.927,71
Pajak 11%						Rp 1.287.538.869,76
						Rp 1.287.539.000,00

Sumber: Analisis perhitungan, 2021

5.4. Petunjuk Operasional dan Perawatan IPAL

Standar operasional prosedur mengacu pada buku 3SOP aset operasi pada Pedoman Standar Operasional Prosedur (SOP) UPTD Pengelola Air Limbah Domestik terbitan dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat pada tahun 2018, serta beberapa acuan dari IPAL yang telah berjalan. Untuk detail SOP IPAL komunal di Desa Depok dapat dilihat pada lampiran 2.



BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari perencanaan instalasi pengolahan air limbah komunal di desa Depok Kecamatan Bendungan Kabupaten Trenggalek adalah sebagai berikut:

1. Kondisi *eksisting* kualitas air limbah yang dihasilkan dari aktivitas di lingkungan Desa Depok, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek berdasarkan hasil analisis uji laboratorium menyatakan bahwa terdapat 3 (tiga) parameter pencemar utama melebihi batas baku mutu air limbah domestik yang ditentukan. Kadar parameter pencemar yang melebihi baku mutu yaitu TSS 255,8 mg/L (BM: 30 mg/L), *Ammonia* 17,9 mg/l (BM: 10 mg/L), dan Total Koliform 11000/100 ml (BM: 3000/100 ml).
2. Perencanaan unit IPAL menggunakan bangunan pengolahan bak pengendap awal, biofilter anaerob-aerob, bak pengendap akhir, pompa desinfeksi dan bak kontrol akhir membutuhkan luas lahan total sebesar 1173,6 m² dengan panjang efektif 128 m dan lebar efektif 12 m.
3. Rencana anggaran biaya (RAB) atau estimasi biaya yang dibutuhkan dalam proses pembangunan unit IPAL komunal di desa Depok, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek sebesar Rp 2.667.154.000,00
4. Standar Operasional Prosedur pada IPAL komunal Desa Depok dengan membersihkan kolam dan pipa saluran kolam serta melakukan pengurasan lumpur pada setiap bak apabila diperlukan, memastikan pompa berfungsi.

6.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya untuk membahas mengenai sistem penyaluran air buangan mengenai air limbah di desa Depok khususnya air limbah domestik.

DAFTAR PUSTAKA

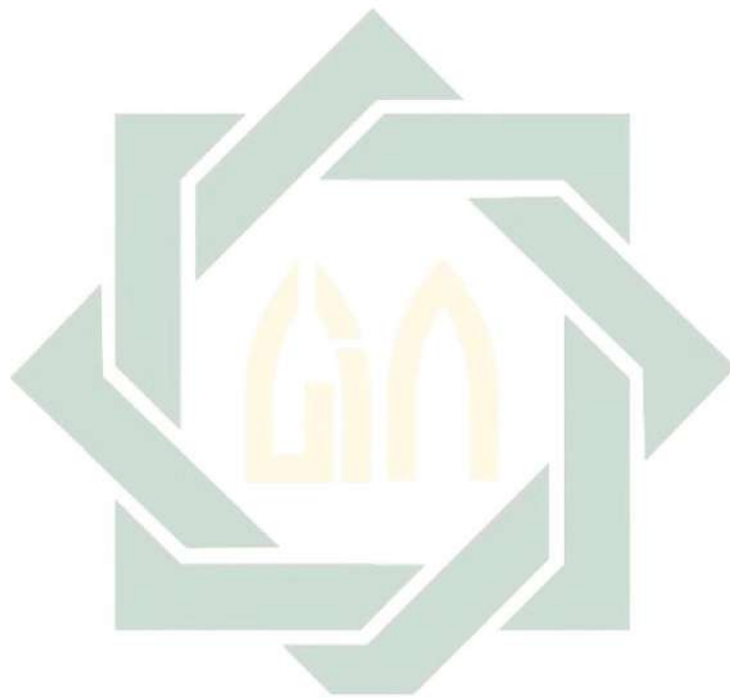
- Anon. 2017. “Ayat-Ayat Al Quran Tentang Menjaga Kelestarian Lingkungan Hidup.” *Bacaan Madani*. Diambil (<https://www.bacaanmadani.com/2017/01/ayat-ayat-al-quran-tentang-menjaga.html>).
- Azizah, Cahyani Ainin. 2017. “Layanan Lumpur Tinja Terjadwal di Kecamatan Lowokwaru Kota Malang.” Tesis, Institut Teknologi Surabaya.
- BPS. 2010. Pedoman Perhitungan Proyeksi Penduduk dan Angka Kerja. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- BPS. 2020. “Kecamatan Bendungan Dalam Angka 2020.”
- Buku 3 Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, CiptaKarya. 2018. “Pedoman Standar Operasional Prosedur (SOP) UPTD Pengelola Air Limbah Domestik.” dalam *SOP Aset Operasi*, 3. Dinas PUPR.
- Buku A Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2013. “Buku A.” dalam Panduan Perencanaan Teknik Terinci Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja, A.
- Cristiantoro, Alvianda Yuliotitan, Ratih Indri Hapsari, dan Utami Retno Pudjowati. 2020. “Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal Perumahan Bukit Shangrilla Asri Kabupaten Malang.” *Jurnal Online Skripsi* 1(3):164–69.
- Daini, Arni, dan Dhia Darin Silfi. 2016. “Perencanaan dan Perancangan Bangunan Pengolahan Air Buangan RTL 4240.” Tugas Besar, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Desa Depok. 2021. *Profil Desa Depok*. Kabupaten Trenggalek.
- Fadilah, Pratama, Ratih Indri Hapsari, dan Mohammad Zenurianto. 2020. “Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Komunal Pada Perumahan D’Park City Kabupaten Malang (Planning for Communal Domestic Wastewater Treatment Plants at D’Park City Housing in Malang Regency).” *Jurnal Online Skripsi* 1(2):110–15.
- Firdaus, Aprillia Bunga. 2020. “Perencanaan Pengembangan Jaringan Sitem Penyaluran Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T) Jalur Selatan Kota Surakarta.” Tugas Akhir, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.
- Hanuranti, Aviandini Galih, Sulistiya Nengse, Arqowi Pribadi, Dyah Ratri Nurmaningsih, dan Teguh Taruna Utama. 2020. “Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik Central Processing Plant (CPP) Gundih PT. Pertamina EP Asset 4 Cepu Field.” *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan* 6(1):10–19. doi: 10.29080/alard.v6i1.983.
- HSPK Kabupaten Trenggalek. 2020. “Harga Satuan Pokok Kegiatan Kabupaten Trenggalek 2020.”

- Indrayani, Linin, dan Nur Rahmah. 2018. “Nilai Parameter Kadar Pencemar Sebagai Penentu Tingkat Efektivitas Tahapan Pengolahan Limbah Cair Industri Batik.” *Jurnal Rekayasa Proses* 12(1):41. doi: 10.22146/jrekpros.35754.
- IUWASH, USAID. 2016. Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik-Terpusat Skala Permukiman. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2018a. “Buku A Panduan Perencanaan Teknik Terinci Sub-Sistem Pelayanan dan Sub-Sistem Pengumpulan.” dalam Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T), A. Direktorat Jendral Cipta Karya.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2018b. “Buku B Panduan Perencanaan Teknik Terinci Sub-Sistem Pengolahan Terpusat.” dalam Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat SPALD-T, B. Direktorat Jendral Cipta Karya.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat,. 2018. Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT). Cipta Karya.
- Lin, Shundar, dan C. C. Lee. 2007. *Water and Wastewater Calculations Manual*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.
- Mara, David Duncan. 2004. *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. USA: Earthscan.
- Marhadi, Marhadi. 2016. “Analisis Sistem Penyaluran Air Buangan Domestik Dengan Off Site System.” *Jurnal Civronlit Unbari* 1(1):1. doi: 10.33087/civronlit.v1i1.4.
- Mubin, Fathul, Alex Binilang, dan Fuad Halim. 2016. “Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik di Kelurahan Istiqlal Kota Manado.” *Jurnal Sipil Statik* 4(3):13.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016. 2016. “Tentang Baku Mutu Air limbah Domestik.”
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No.4 tahun. 2017. “Nomor 04 / PRT / M / 2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik.”
- Peraturan Menteri PUPR No. 28 Tahun. 2016. “Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor: 28/PRT/M/2016 Tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Umum.”
- Pinanggih, Ridlo Barkah Jembar. 2020. “Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Kombinasi Unit Biofilter Aerobik dan Adsorpsi Karbon Aktif di Kantor Pusat PT. Pertamina Marketing Operation Region (MOR) V SURABAYA.” Skripsi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya, Surabaya.
- Pokja PPAS. 2017. “Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Setempat (SPALD-S).”

- PPAS, POKJA. 2008. “SNI 6989-59-2008 Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah.”
- Praditya, Raka Kharisma. 2016. “Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal di Kampung Seni Nitiprayan, Desa Ngestiharjo, Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.” Skripsi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Prakoso, Dandy. 2016. “Desain IPAL Komunal Limbah Domestik Perumahan Sukolilo Dian Regency dengan Teknologi Constructed Wetland.” Skripsi, Institut Teknologi Surabaya, Surabaya.
- Program Percepatan Pembangunan Sanitasi Permukiman (PPSP. 2012. “Strategi Sanitasi Kabupaten (SSK) Kabupaten Trenggalek Provinsi Jawa Timur.”
- Safriani, Meylis, dan Cut Suciatina Silvia. 2017. “Desain IPAL Komunal Untuk Mengatasi Permasalahan Sanitasi di Desa Luengbaro, Kabupaten Nagan Raya, Aceh.” *Konferensi Nasional Teknik Sipil 11* 1(1). doi: 10.35308/jts-utu.v4i1.594.
- Safriani, Meylis, dan Cut Suciatina Silvia. 2018. “Studi Perencanaan Bangunan IPAL di Desa Blang Beurandang, Kabupaten Aceh Barat.” *Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi* 4(1). doi: 10.35308/jts-utu.v4i1.594.
- Said, Nusa Idaman. 2008. *Pengolahan Air Limbah Domestik di DKI Jakarta*. Jakarta: Pusat Teknologi Lingkungan. BPPT.
- Said, Nusa Idaman, dan Teguh Iman Santoso. 2015. “Penghilangan Polutan Organik dan Padatan Tersuspensi di Dalam Air Limbah Domestik dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR).” *Jurnal Air Indonesia* 8(1). doi: 10.29122/jai.v8i1.2382.
- Said, Nusa Idaman, dan Muhammad Rizki Sya'bani. 2014. “Penghilang Amoniak di Dalam Air Limbah Domestik dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR).” *Jurnal Air Indonesia* 7(1).
- Santo, Fabiola E., Sudiyo Utomo, dan Tri M. W. Sir. 2019. “Perencanaan Instalasi Pengolahan Air limbah Sistem Komunal pada Perumahan KODIM 1605 Belu.” *Jurnal Teknik Sipil* (1):12.
- Sayekti, Rini Wahyu, Riyanto Haribowo, Yohana Vivit, dan Agung Prabowo. 2011. “Studi Efektifitas Penurunan Kadar Bod, Cod Dan NH3 Pada Limbah Cair Rumah Sakit Dengan Rotating Biological Contactor.” 9.
- Side, Gagassage Nanaluih De, dan Lalu Auliya Aqraboelittaqwa. 2021. “Communal wastewater treatment plant design with upflow anaerobic filterprocessing technology in Rumak Village, Kediri Sub-district, West Lombok.” *Proceeding ICST (2021)*.
- Standar Nasional Indonesia 6774:2008. 2008. “Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air.”

Tchobanoglous, Burton, dan Stensel. 2003. *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse : Fourth Edition*. McGraw-Hill Book Company.

Tchobanoglous, G. B. 1981. *Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater*. McGraw-Hill Book Company.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A