

**PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
(IPAL) KOMUNAL PADA GAMpong JEULINGKE
KOTA BANDA ACEH**

TUGAS AKHIR

**Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
sebagai Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana dalam Ilmu Teknik
Lingkungan**

Diajukan oleh:

**RAIHAN RANI
NIM. 160702093**

**Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH
2021 M / 1442 H**

LEMBARAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)
KOMUNAL PADA GAMPONG JEULINGKE KOTA BANDA ACEH**

TUGAS AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana dalam Ilmu Teknik Lingkungan



Pembimbing I,

Pembimbing II,

Ir. Yeggi Darnas, M.T.
NIP. 19790620 201403 2 001

Teuku Muhammad Ashari, M.Sc.
NIP. 19830202 201503 1 002

Mengetahui:
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan

Dr. Eng. Nur Aida, M.Si.
NIP. 19780616 200501 2 009

LEMBARAN PENGESAHAN PENGUJI TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)
KOMUNAL PADA GAMPONG JEULINGKE KOTA BANDA ACEH

TUGAS AKHIR

Telah diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry dan dinyatakan Lulus
Serta diterima sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/ Tanggal : Jumat, 30 Juli 2021
20 Dzulhijjah 1442

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir

Ketua,



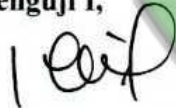
Ir. Yeggi Darnas, M.T.
NIP. 19790620 201403 2 001

Sekretaris,



Teuku Muhammad Ashari, M.Sc.
NIP. 19830202 201503 1 002

Penguji I,



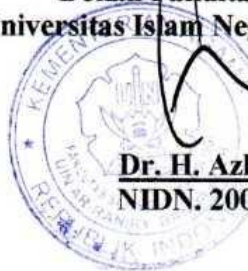
Dr. Irhamni, M.T.
NIDN.0102107101

Penguji II,



Aulia Rohendi, M.Sc.
NIDN. 2010048202

Mengetahui:
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh,




Dr. H. Azhar Amsal, M.Pd.
NIDN. 2001066802

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Raihan Rani
NIM : 160702093
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Skripsi : Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Komunal pada Gampong Jeulingke Kota Banda Aceh

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.



Banda Aceh, 16 Juli 2021
Yang Menyatakan

Raihan Rani
Raihan Rani
NIM. 160702093

ABSTRAK

Nama : Raihan Rani
NIM : 160702093
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal pada Gampong Jeulingke Kota Banda Aceh
Tanggal Sidang : 30 Juli 2021
Jumlah Halaman : 162 Halaman
Pembimbing I : Ir. Yeggi Darnas, M.T.
Pembimbing II : Teuku Muhammad Ashari, M.Sc.
Kata Kunci : Air limbah domestik, IPAL, *Anaerobic Baffled Reactor*, *Constructed Wetland*

Pengelolaan air limbah domestik pada Gampong Jeulingke belum terlaksana dengan baik dikarenakan belum tersedianya fasilitas IPAL sehingga limbah *greywater* dibuang langsung ke saluran drainase tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk merencanakan IPAL komunal di Gampong Jeulingke dengan menggunakan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dan *Constructed Wetland* (CW) sebagai unit pengolahan air limbah domestik. Tahapan perencanaan dimulai dengan identifikasi masalah, tinjauan kepustakaan, pengumpulan data, pengolahan data, perencanaan IPAL, pembuatan BOQ dan RAB, serta kesimpulan.

Hasil perencanaan pada aspek teknis diperoleh debit air limbah rata-rata sebesar 129,3 m³/hari dan debit puncak sebesar 183,6 m³/hari. Hasil perhitungan dimensi IPAL diperoleh dimensi unit ABR sebesar 10,8 m x 5 m x 3 m dengan lahan yang dibutuhkan untuk pembangunan ABR adalah seluas 67,65 m² sedangkan dimensi unit *Constructed Wetland* (CW) adalah seluas 16,5 m x 16,75 m x 1 m dengan lahan yang dibutuhkan untuk pembangunan CW seluas 276,4 m². Rencana kualitas air limbah akhir setelah melalui pengolahan pada IPAL telah memenuhi persyaratan baku mutu dalam PERMEN LHK No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik yaitu dengan kualitas rencana BOD sebesar 5 mg/L, COD sebesar 11,5 mg/L, TSS sebesar 0,15 mg/L, dan *total coliform* sebanyak 2.201 MPN/100 mL. Sedangkan hasil kajian pada aspek finansial diperoleh total biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan IPAL adalah sebesar Rp. 982.099.353,00.

ABSTRACT

Name : Raihan Rani
Student ID Number : 160702093
Department : Environmental Engineering
Title : Design of Communal Wastewater Treatment Plant (WWTP) in Jeulingke, Banda Aceh City
Date of Session : July 30, 2021
Number of Pages : 162 Pages
Advisor I : Ir. Yeggi Darnas, M.T.
Advisor II : Teuku Muhammad Ashari, M.Sc.
Keyword : Domestic wastewater, WWTP, Anaerobic Baffled Reactor, Constructed Wetland

Domestic wastewater management in Jeulingke Village has not been carried out properly due to the unavailability of wastewater treatment facilities so that the greywater was discharged directly into the drainage channel without prior processing. The purpose of this final project is to design a communal WWTP in Jeulingke Village using the Anaerobic Baffled Reactor (ABR) and Constructed Wetland (CW) as a domestic wastewater treatment unit. The planning stage began with problem identification, literature review, data collection, data processing, WWTP planning, making BOQ and RAB, and conclusions.

The results of the design on the technical aspects obtained an average wastewater discharge of 129.3 m³/day and a peak discharge of 183.6 m³/day. The results of the calculation of the dimensions of the WWTP obtained that the dimensions of the ABR unit are 10.8 m x 5 m x 3 m with the land required for the construction of ABR is 67.65 m² while the dimensions of the Constructed Wetland (CW) unit are 16.5 m x 16.75 m x 1 m with the land required for the construction of CW covering an area of 276.4 m². The final wastewater quality plan after going through treatment at the WWTP has met the quality standard requirements in PERMEN LHK No. 68 of 2016 concerning Domestic Wastewater Quality Standards, namely the planned quality of BOD of 5 mg/L, COD of 11.5 mg/L, TSS of 0.15 mg/L, and total coliform of 2.201 MPN/100 mL. Meanwhile, the results of the study on the financial aspect obtained the total cost required for the construction of the WWTP is Rp. 982,099,353.

KATA PENGANTAR



Segala puji hanya milik Allah SWT, Dia-lah yang telah menganugerahkan al-Qur'an sebagai hudan lin naas (petunjuk bagi seluruh manusia) dan rahmatan lil'alamin (rahmat bagi segenap alam). Dia-lah yang Maha Mengetahui makna dan maksud kandungan al-Qur'an. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW utusan dan manusia pilihan, dialah penyampai, pengamal dan penafsir pertama Al-Qur'an. Dengan pertolongan dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Laporan Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Selama persiapan penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis telah banyak mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis tak lupa mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua yaitu Ayahanda Imran Hasan dan Ibunda Rohani yang tanpa lelah mendukung dan memberi doa bagi penulis agar dapat menjalani kehidupan ini lebih baik lagi.
2. Ibu Dr. Eng. Nur Aida, M.Si., selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Ibu Husnawati Yahya, M.Sc., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry dan Koordinator Tugas Akhir.
4. Ibu Yeggi Darnas, M.T., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir Prodi teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
5. Bapak Teuku Muhammad Ashari, M.Sc. selaku Pembimbing II Tugas Akhir Prodi teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
6. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc. selaku Penasehat Akademik.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Lingkungan dan karyawan di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
8. Seluruh Staf Tata Usaha yang telah membantu dalam pengurusan administrasi.
9. Bu Ida yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi.
10. Kakak Nurul Huda yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi
11. Seluruh teman-teman seperjuangan Teknik Lingkungan angkatan 2016 yang telah memberi dukungan bagi penulis.
12. Semua pihak yang telah ikut berpartisipasi dan membantu dalam penyusunan Tugas Akhir.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT. berkenan membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak khususnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan di Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun tetap penulis harapkan untuk lebih menyempurnakan Laporan Tugas Akhir ini.

Banda Aceh, 16 Juli 2021

Penulis



Raihan Rani

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBARAN PENGESAHAN PENGUJI TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SINGKATAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Air Limbah Domestik.....	5
2.1.1. Karakteristik Air Limbah Domestik.....	5
2.1.2. Baku Mutu Air Limbah Domestik	6
2.1.3. Debit Air Limbah Domestik.....	7
2.2. Pengolahan Air Limbah Domestik.....	8
2.3. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal Gampong Jeulingke. 24	
2.3.1. <i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	24
2.3.2. <i>Constructed Wetland</i>	28
2.4. Proyeksi Penduduk	35
2.5. Gambaran Umum Daerah Perencanaan	38
2.5.1. Profil Wilayah Gampong Jeulingke	38
2.5.2. Kependudukan Gampong Jeulingke	39
2.5.3. Kondisi Tata Guna Lahan Gampong Jeulingke	40

2.5.4.	Kondisi Sanitasi Eksisting Gampong Jeulingke	41
2.5.5.	Lokasi Perencanaan IPAL Komunal	42
BAB III	METODOLOGI PERENCANAAN	44
3.1.	Umum	44
3.2.	Kerangka Perencanaan	44
3.2.1.	Identifikasi Masalah	45
3.2.2.	Tinjauan Kepustakaan	46
3.2.3.	Pengumpulan Data	46
3.2.4.	Pengolahan data	47
3.2.5.	Perencanaan IPAL	48
3.2.6.	Pembuatan BOQ dan RAB	49
3.2.7.	Kesimpulan	49
3.3.	Asumsi Perencanaan	49
BAB IV	HASIL PERENCANAAN	52
4.1.	Proyeksi Penduduk	52
4.2.	Kualitas Air Limbah	53
4.3.	Kuantitas Air Limbah	54
4.4.	Pemilihan Alternatif Unit Pengolahan	57
4.5.	Perhitungan Unit Pengolahan	58
4.5.1.	<i>Anaerobic Baffled Reactor (ABR)</i>	58
4.5.2.	<i>Constructed Wetland (CW)</i>	81
4.6.	<i>Mass Balance</i>	91
4.6.1.	<i>Anaerobic Baffled Reactor (ABR)</i>	91
4.6.2.	<i>Constructed Wetland (CW)</i>	98
4.7.	Profil Hidrolis IPAL	102
4.7.1.	<i>Anaerobic Baffled Reactor (ABR)</i>	103
4.7.2.	<i>Constructed Wetland (CW)</i>	105
4.8.	<i>Bill of Quantity (BOQ)</i> dan Rencana Anggaran Biaya (RAB)	106
4.8.1.	<i>Bill of Quantity (BOQ)</i>	106
4.8.2.	Rencana Anggaran Biaya	122
BAB V	PENUTUP	125
5.1.	Kesimpulan	125

5.2. Saran.....	125
DAFTAR PUSTAKA.....	126
LAMPIRAN.....	130
RIWAYAT HIDUP PENULIS.....	162



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Skema pada Tahap <i>Preliminary Treatment</i>	10
Gambar 2.2.	Ilustrasi Bak Sedimentasi pada Tahap <i>Primary Treatment</i>	11
Gambar 2.3.	Ilustrasi Pengolahan dengan Menggunakan: (a) Saringan Pasir; dan (b) <i>Constructed Wetland</i>	12
Gambar 2.4.	<i>Sludge Drying Bed Tipe Sand Bed</i> Beserta Potongan Gambar Desain	13
Gambar 2.5.	Contoh Diagram Pengolahan Air Limbah Domestik.....	14
Gambar 2.6.	(a) Sistem Tangki Septik dan Bidang Resapannya; dan (b) Detil Kompartemen Tangki Septik	15
Gambar 2.7.	(a). Desain <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> (ABR) dengan <i>standing</i> dan <i>hanging baffled</i> dan (b). Desain <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> (ABR) dengan Pipa Pemisah	17
Gambar 2.8.	Gambaran Pengolahan pada <i>Anaerobic Biogas Reactor</i>	18
Gambar 2.9.	Gambaran Pengolahan pada <i>Anaerobic Filter</i>	20
Gambar 2.10.	Gambaran Pengolahan pada <i>Rotating Biological Contactor</i> (RBC)	21
Gambar 2.11.	Unit Pengolahan <i>Rotating Biological Contactor</i> (RBC)	23
Gambar 2.12.	Unit Pengolahan <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> (ABR).....	25
Gambar 2.13.	<i>Constructed Wetland</i> : (a) <i>Free Water Surface</i> (FWS); dan (b) <i>Subsurface Flow (SSF)</i>	32
Gambar 2.14.	Peta Wilayah Administrasi Gampong Jeulingke	39
Gambar 2.15.	Kondisi Tata Guna Lahan pada Gampong Jeulingke	40
Gambar 2.16.	Kondisi Saluran Drainase pada Gampong Jeulingke.....	41
Gambar 2.17.	Kondisi Cubluk sebagai Tempat Pengolahan Limbah <i>Blackwater</i>	41
Gambar 2.18.	Peta Lokasi Perencanaan IPAL	42
Gambar 2.19.	Gambaran Lokasi Perencanaan IPAL Komunal pada Gampong Jeulingke.....	43
Gambar 3. 1.	Diagram Alir Perencanaan.....	45

Gambar 4.1. Hubungan antara Faktor Penyisihan COD terhadap HRT pada Bak Pengendap	59
Gambar 4.2. Hubungan antara Faktor Penyisihan BOD terhadap Persentase Penyisihan COD	60
Gambar 4.3. Hubungan antara Efisiensi Penyisihan BOD dan TSS terhadap Waktu	61
Gambar 4.4. Hubungan antara Faktor Penyisihan BOD terhadap Konsentrasi BOD Air Limbah	62
Gambar 4.5. Hubungan antara Faktor Penyisihan BOD terhadap <i>Organic Loading Rate</i> (OLR)	63
Gambar 4.6. Hubungan antara Faktor Penyisihan BOD terhadap Jumlah Kompartemen	63
Gambar 4.7. Hubungan antara Faktor Penyisihan BOD terhadap Temperatur Air Limbah	64
Gambar 4.8. Hubungan antara Faktor Penyisihan BOD terhadap HRT	64
Gambar 4.9. Hubungan antara Faktor Penyisihan BOD terhadap Persentase Penyisihan COD	66
Gambar 4.10. Hubungan antara Efisiensi Penyisihan BOD dan TSS terhadap Waktu	67
Gambar 4.11. Hubungan antara Pengurangan Volume Lumpur oleh Waktu	77
Gambar 4.12. Hubungan antara Pengurangan Volume Lumpur oleh Waktu	79
Gambar 4.13. Diagram Debit yang Masuk dan Keluar dari Unit CW	84
Gambar 4.14. Diagram <i>Mass Balance</i> pada Unit ABR	97
Gambar 4.15. Diagram <i>Mass Balance</i> pada Unit CW	101
Gambar 4.16. Penampang Ukuran Galian Unit ABR	107
Gambar 4.17. Penampang Ukuran Galian Unit CW	115

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Karakteristik Air Limbah Domestik.....	6
Tabel 2.2.	Standar Baku Mutu Air Limbah Domestik	7
Tabel 2.3.	Kemampuan penyisihan bahan pencemar oleh unit ABR.....	25
Tabel 2.4.	Kelebihan dan Kekurangan Unit Pengolahan ABR	26
Tabel 2.5.	Kriteria Desain Unit Pengolah <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> (ABR)...	26
Tabel 2.6.	Kemampuan Penyisihan Polutan oleh Sejumlah <i>Constructed Wetland</i> di Indonesia.....	29
Tabel 2.7.	Kinerja <i>Constructed Wetland</i> berdasarkan jenis media yang digunakan	29
Tabel 2.8.	Karakteristik Media pada <i>Constructed Wetland</i>	30
Tabel 2.9.	Kelebihan dan Kekurangan Unit Pengolah <i>Constructed Wetland</i>	33
Tabel 2.10.	Kriteria Desain Unit Pengolah <i>Constructed Wetland</i>	33
Tabel 2.11.	Batas Wilayah Gampong Jeulingke	38
Tabel 2.12.	Jumlah Penduduk pada Gampong Jeulingke.....	39
Tabel 3.1.	Asumsi Umum yang Digunakan dalam Perencanaan IPAL	50
Tabel 3.2.	Asumsi Khusus yang Digunakan dalam Perencanaan IPAL.....	51
Tabel 4.1.	Jumlah Penduduk Dusun Rajawali Tahun 2017 – 2020.....	52
Tabel 4.2.	Hasil Perhitungan Proyeksi Penduduk pada Dusun Rajawali Tahun 2021 - 2033	53
Tabel 4.3.	Hasil Pengujian Kualitas Air Limbah	54
Tabel 4.4.	Data Pemakaian Air Bersih Bulanan pada Gampong Jeulingke Tahun 2020.....	55
Tabel 4.5.	Matriks Pemilihan Kombinasi Unit Pengolahan	57
Tabel 4.6.	Perhitungan Dimensi Unit ABR.....	75
Tabel 4.7.	Hasil Perhitungan Produksi Lumpur pada Unit ABR selama Dua Tahun.....	80
Tabel 4.8.	Konstanta Laju Penyisihan untuk CW – SSF.....	82
Tabel 4.9.	Uraian Tahapan Pekerjaan pada Konstruksi ABR	122
Tabel 4.10.	Uraian Tahapan Pekerjaan pada Konstruksi CW	123

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Kepanjangan	Halaman pertama kali digunakan
ABF	<i>Anaerobic Biofilter</i>	43
ABR	<i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	2
BOD	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>	4
BOQ	<i>Bill of Quantity</i>	4
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>	4
CW	<i>Constructed Wetland</i>	2
DED	<i>Detail Engineering Design</i>	4
FWS	<i>Free Water Surface</i>	15
IPAL	Instalasi Pengolahan Air Limbah	1
RAB	Rencana Anggaran Biaya	4
SSF	<i>Subsurface Flow</i>	15
SSH	Standar Satuan Harga	4
SSK	Strategi Sanitasi Kota	1
TSS	<i>Total Suspended Solid</i>	4
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>	43



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peningkatan jumlah penduduk terus berlangsung hingga kini. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya arus mobilisasi dan aktivitas di perkotaan sehingga menyebabkan beberapa kawasan pemukiman terus berkembang. Salah satu permasalahan yang sering dialami oleh pemukiman adalah pencemaran lingkungan hidup yang disebabkan oleh kurangnya upaya sanitasi seperti layanan pengolahan air limbah domestik oleh Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Pemukiman yang belum memiliki fasilitas IPAL sering melakukan pembuangan air limbah domestik pada saluran atau badan air terdekat tanpa melakukan pengolahan terlebih dahulu. Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, air limbah domestik merupakan air yang telah dipergunakan oleh kegiatan sehari-hari seperti air bekas mandi, kakus, mencuci, memasak, dan kegiatan lainnya.

Limbah cair domestik dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *blackwater* dan *greywater*. Limbah cair *blackwater* merupakan air bekas penggelontoran kakus. Limbah ini umumnya dibuang ke dalam tangki septik (*septic tank*). Namun banyak tangki septik yang tidak dirancang dan dibangun sesuai standar sehingga dikhawatirkan menjadi ancaman bagi kualitas air pada lingkungan sekitar. Sedangkan limbah *greywater* merupakan air bekas dari kamar mandi atau sisa dari kegiatan memasak yang sering langsung dibuang ke saluran drainase ataupun badan air terdekat (SSK Banda Aceh 2015-2019).

Limbah domestik mengandung komponen-komponen organik yang dapat terdegradasi. Akan tetapi, volume limbah domestik yang terus bertambah dapat menjadi permasalahan bagi lingkungan karena melebihi daya tampung dan daya dukung lingkungan (Umar, 2011). Polutan yang terdapat pada air limbah domestik dapat menyebabkan pencemaran lingkungan berupa penurunan kualitas air tanah maupun air permukaan sehingga air tersebut menjadi tidak layak digunakan secara langsung dan harus diolah terlebih dahulu (Filliazati dkk; 2013). Badan air yang

telah tercemar juga merupakan tempat perkembangbiakan vektor penyakit sehingga dikhawatirkan akan mengganggu kesehatan penduduk di sekitarnya.

Pencegahan pencemaran lingkungan hidup telah diupayakan pada setiap daerah dengan cara melakukan pengendalian pencemaran lingkungan melalui kebijakan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Kota Banda Aceh merupakan salah satu kota yang sedang mengembangkan sanitasi nasional sebagai upaya pencegahan pencemaran dan pengelolaan lingkungan hidup. Berdasarkan *National Water and Sanitation Information Services (NAWASIS)* tahun 2021, Kota Banda Aceh telah membangun dan mengoperasikan IPAL komunal sebanyak 33 unit. Namun IPAL yang telah dibangun hanya tersebar di 18 gampong dari total 90 gampong yang ada di Kota Banda Aceh.

Salah satu gampong di Kota Banda Aceh yang belum memiliki fasilitas pengolahan air limbah yaitu Gampong Jeulingke yang terletak di Kecamatan Syiah Kuala. Tidak tersedianya IPAL di Gampong Jeulingke dapat menjadi salah satu faktor pemicu terjadinya pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, untuk mencegah timbulnya dampak merugikan dari pembuangan limbah domestik maka dibutuhkan perencanaan sebuah Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal sehingga konsentrasi bahan pencemar yang terkandung di dalamnya dapat diturunkan sebelum air limbah tersebut dibuang ke badan air penerima. Teknologi yang diterapkan pada perencanaan IPAL ini adalah unit *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)* yang dikombinasikan dengan unit *Constructed Wetland*.

Anaerobic Baffled Reactor (ABR) merupakan sebuah bangunan pengolah air limbah yang bekerja secara fisik dan biologis berupa bak pengendap bersekat yang berfungsi untuk meningkatkan efisiensi penyisihan padatan terlarut dan tersuspensi dengan cara mengontakkannya dengan biomassa yang terdapat pada dasar bak (Morel dan Dinier, 2006). Sedangkan *Constructed Wetland* merupakan metode pengolahan air limbah berbentuk lahan basah buatan yang dapat menyaring kandungan polutan pada air limbah menggunakan bantuan media, tanaman, dan aktivitas mikroorganisme serta proses-proses lainnya yang terjadi secara alami (Safrodin dan Mangkoedihardjo, 2016). Pemilihan kedua unit

pengolahan ini didasarkan pada karakteristik air limbah domestik pada daerah rencana dan kemudahan energi serta operasi IPAL.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang dirumuskan berdasarkan uraian latar belakang dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kualitas dan kuantitas air limbah domestik di Gampong Jeulingke?
2. Bagaimana desain pengolahan air limbah domestik untuk Gampong Jeulingke?
3. Berapa *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang dibutuhkan dalam pembangunan IPAL yang direncanakan?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan dari perencanaan berdasarkan rumusan masalah di atas adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kualitas dan kuantitas air limbah domestik di Gampong Jeulingke.
2. Mendesain IPAL komunal untuk mengolah air limbah domestik pada gampong Jeulingke.
3. Menyusun *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang dibutuhkan dalam pembangunan IPAL.

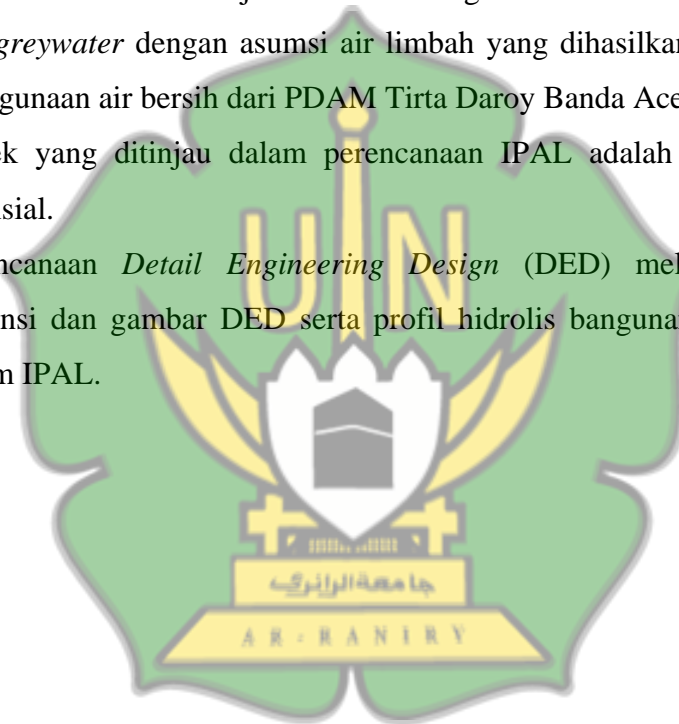
1.4. Manfaat

Adapun manfaat dari perencanaan ini diharapkan dapat memberi kontribusi alternatif perencanaan IPAL komunal dengan kombinasi metode *Anaerobic Baffled Reactor* dan *Constructed Wetland* yang sesuai dengan karakteristik air limbah di Gampong Jeulingke Kota Banda Aceh.

1.5. Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup yang menjadi batasan penelitian dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut.

1. Parameter untuk baku mutu air limbah domestik yang digunakan mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik meliputi parameter pH, BOD, COD, amonia, TSS, dan *total coliform*.
2. Cakupan layanan IPAL yang direncanakan adalah Dusun Rajawali Gampong Jeulingke Kota Banda Aceh.
3. Perencanaan IPAL ditujukan untuk mengolah limbah domestik *blackwater* dan *greywater* dengan asumsi air limbah yang dihasilkan adalah 80% dari penggunaan air bersih dari PDAM Tirta Daroy Banda Aceh.
4. Aspek yang ditinjau dalam perencanaan IPAL adalah aspek teknis dan finansial.
5. Perencanaan *Detail Engineering Design* (DED) meliputi perhitungan dimensi dan gambar DED serta profil hidrolis bangunan unit pengolahan dalam IPAL.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air Limbah Domestik

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016, air limbah domestik merupakan air buangan sisa dari aktivitas manusia baik dari rumah tangga maupun dari lingkungan komersial yang berhubungan dengan pemakaian air. Air limbah domestik dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan karakteristiknya yaitu *blackwater* dan *greywater*. Limbah *blackwater* merupakan air limbah yang dihasilkan dari kegiatan kakus yang terdiri dari feses, urin, dan air penggelontoran sedangkan air limbah *greywater* adalah air limbah yang berasal dari air buangan sisa kegiatan mandi, mencuci, dan limbah dapur non kakus (Umar, 2011; dan Said, 2017).

2.1.1. Karakteristik Air Limbah Domestik

Air limbah domestik umumnya mengandung campuran padatan organik dan anorganik, baik yang terlarut, tersuspensi, maupun koloid dan senyawa kimia yang berasal dari sabun serta kandungan minyak dan lemak. Karakteristik air limbah domestik dibedakan menjadi karakteristik fisik, kimia, dan biologi. Karakteristik air limbah domestik dapat bervariasi tergantung pada sumber, budaya, dan gaya hidup masyarakat setempat (Pratiwi, 2015).

a. Karakteristik fisik

Karakteristik fisik limbah cair merupakan karakteristik yang dapat langsung dilihat dengan mata telanjang atau pun dirasakan oleh pancaindra. Karakteristik yang dimaksud meliputi warna, rasa, bau, suhu, dan kandungan padatan baik yang terlarut maupun tersuspensi. Penguraian bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah domestik yang dilakukan oleh mikroorganisme akan menimbulkan bau, terjadinya perubahan warna, hingga menyebabkan kekeruhan (Siregar, 2005).

b. Karakteristik kimia

Karakteristik kimia dari air limbah domestik terdiri atas campuran berbagai zat kimia organik seperti protein dengan persentase 40-60%; karbohidrat

dengan persentase 25-50%; dan lemak dengan persentase 10% serta zat kimia anorganik yang umumnya berasal dari sabun seperti senyawa nitrogen, fosfat, dan sulfat. Penguraian air limbah domestik akan menyebabkan pH air limbah menjadi asam dan disertai dengan pelepasan gas seperti O₂, CO₂, H₂S, CH₄, dan NH₃ (Eddy, 2003).

c. Karakteristik biologi

Karakteristik biologi dari air limbah menandakan keberadaan mikroorganisme patogen seperti bakteri, virus, jamur, dan protozoa yang dapat menyebabkan suatu penyakit. Namun, dalam air limbah juga akan ditemukan mikroorganisme non patogen seperti ganggang (Siregar, 2005). Keberadaan mikroorganisme seperti bakteri, protozoa, ganggang, dan jamur berfungsi sebagai pengurai zat-zat yang terkandung dalam air limbah dengan menggunakannya sebagai sumber nutrisi.

Karakteristik air limbah domestik dapat dilihat pada Tabel 2.1. berikut.

Tabel 2.1. Karakteristik Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Konsentrasi
^a BOD	mg/L	100 – 300
^a COD	mg/L	160 – 500
^a TSS	mg/L	200 – 1000
^b Amoniak	mg/L	10 – 158
^c pH	-	4,92 – 8,99
^d Total coliform	MPN/100 mL	10 ⁶ – 10 ⁹

Sumber: ^aWisjnurapto, 2007; ^bHibban, 2016; ^cSaid, 2008; ^dMuttamara, 1996

2.1.2. Baku Mutu Air Limbah Domestik

Baku mutu air limbah merupakan batasan kadar bahan pencemar yang terdapat dalam air limbah yang masih dapat ditolerir oleh lingkungan. Peningkatan jumlah limbah yang masuk ke lingkungan akan terus terjadi seiring dengan terus meningkatnya kepadatan penduduk yang tidak disertai dengan pengolahan limbah yang memadai. Untuk menekan tingkat pencemaran lingkungan karena melebihi daya dukung dari lingkungan tersebut maka pemerintah telah menetapkan batas dari setiap bahan pencemar tersebut melalui

peraturan baku mutu air limbah domestik terbaru yang tercantum dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik sebagai berikut.

Tabel 2.2. Standar Baku Mutu Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
pH	-	6 – 9
TSS	mg/L	30
Amoniak	mg/L	10
Total <i>coliform</i>	MPN/100mL	3000
Minyak dan lemak	mg/L	5
Debit	L/orang/hari	100

Sumber: PERMEN LHK No. 68 Tahun 2016

2.1.3. Debit Air Limbah Domestik

Debit air limbah domestik merupakan salah satu hal utama yang perlu diketahui dalam perencanaan IPAL komunal. Debit air limbah domestik menentukan kapasitas pengolahan dari IPAL yang direncanakan. Estimasi debit air limbah dilakukan berdasarkan persentase pemakaian air bersih per orang per hari. Besarnya air bersih yang akan menjadi air limbah diperkirakan sebanyak 50% hingga 80% dari pemakaian air bersih (Tchobanoglous dan Burton, 1991). Pada tugas akhir ini, asumsi debit air limbah yang digunakan adalah 80% dari pemakaian air bersih. Estimasi debit air limbah yang dihasilkan diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Q_{rata-rata\ air\ limbah} = 80\% \times Q_{rata-rata\ air\ bersih} \quad (2.1)$$

Debit air limbah yang dihasilkan tidak berlangsung secara konstan dalam waktu 24 jam. Aktivitas masyarakat akan meningkat pada waktu-waktu tertentu yang disebut sebagai waktu puncak sehingga menyebabkan fluktuasi pada keluaran air limbah. Penggunaan air bersih akan meningkat pada waktu puncak

sehingga debit air limbah yang dihasilkan akan lebih banyak pula. Estimasi debit air limbah puncak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Q_{\text{air limbah puncak}} = F_{\text{puncak}} \times Q_{\text{rata-rata air limbah}} \quad (2.2)$$

$$F_{\text{puncak}} = \frac{18 + P^{0,5}}{4 + P^{0,5}} \quad (2.3)$$

Dimana P merupakan jumlah penduduk di daerah rencana.

2.2. Pengolahan Air Limbah Domestik

Pengolahan air limbah dapat didefinisikan sebagai upaya pemisahan padatan dan stabilisasi polutan dengan mendegradasi materi organik hingga mencapai titik dimana reaksi kimia dan biologis tidak berlangsung lagi (Sasse, 1998). Pengolahan air limbah domestik bertujuan untuk menyisihkan bahan pencemar yang terkandung dalam air limbah supaya tidak menyebabkan menurunnya kualitas perairan ketika air limbah dibuang ke lingkungan.

Menurut Chandra (2007), pengolahan air limbah berdasarkan proses yang berlangsung dapat dibagi menjadi tiga macam sebagai berikut.

1. Pengolahan air limbah secara fisik

Pengolahan air limbah secara fisik tidak melibatkan reaksi kimia dan biologis. Metode pengolahan ini melakukan pemisahan padatan dengan memanfaatkan sifat fisik dari padatan tersebut. Pengolahan air limbah secara fisika dapat dilakukan dengan cara filtrasi atau penyaringan padatan dengan suatu filter; sedimentasi yaitu dengan mengendapkan padatan secara gravitasi; flotasi yaitu memisahkan partikel densitas rendah dengan pengapungan; dan adsorpsi yaitu menambahkan adsorben agar terjadi pengikatan partikel pada interface antara adsorben dengan kontaminan.

2. Pengolahan air limbah secara kimia

Pengolahan air limbah secara kimia dilakukan untuk menghilangkan padatan yang tidak dapat dihilangkan secara fisik seperti partikel koloid, logam berat, senyawa fosfor, dan organik beracun dengan menambahkan bahan kimia tertentu sesuai kebutuhan. Beberapa proses kimia pada proses

pengolahan air limbah adalah proses koagulasi-flokulasi, netralisasi asam-basa, oksidasi, klorinasi, dan ozonisasi.

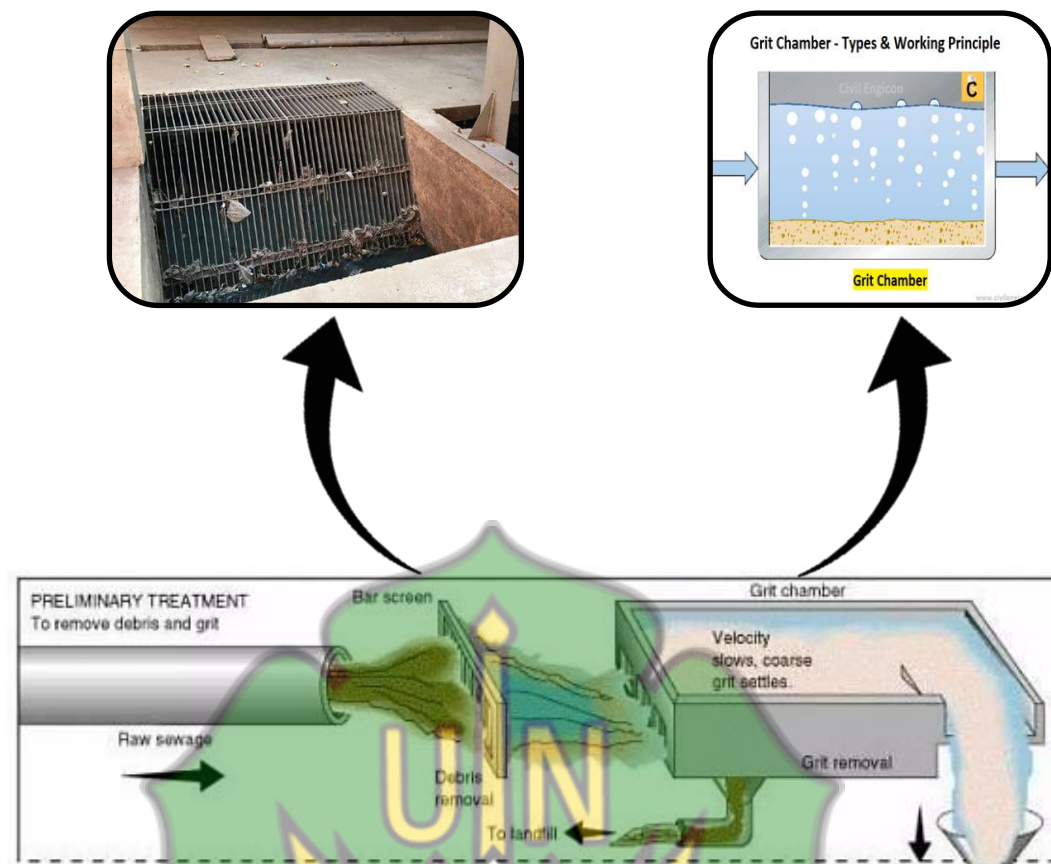
3. Pengolahan air limbah secara biologis

Pengolahan air limbah secara biologis memanfaatkan aktivitas mikroorganisme seperti bakteri untuk mendegradasi polutan-polutan yang terdapat dalam air limbah. Pengolahan air limbah secara biologis dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu *attached growth* yang berupa pengolahan air limbah dengan menggunakan aktivitas mikroorganisme yang tumbuh melekat pada permukaan media yang digunakan seperti *trickling filter*, *suspended growth* yang berupa sistem pengolahan dengan menggunakan aktivitas mikroorganisme yang tumbuh secara tersuspensi untuk mendegradasi senyawa atau padatan yang terdapat dalam air limbah seperti *anaerobic baffled reactor*, dan kolam (*lagoon*)

Pengolahan air limbah domestik secara keseluruhan melalui beberapa tahapan sebagai berikut (Pratiwi, 2015).

1. *Preliminary Treatment*

Preliminary treatment merupakan tahapan persiapan atau pengolahan awal terhadap air limbah sebelum memasuki tahapan utama (*primary treatment*). Tahap ini berfungsi untuk menyisihkan bahan pencemar yang berukuran besar yang terdapat dalam air limbah seperti sampah padat, bahan yang mengapung seperti minyak dan lemak, pasir, kayu, dan bahan pencemar lainnya yang dapat mengganggu proses pengoperasian ataupun perawatan pada tahapan pengolahan selanjutnya. Tahapan ini bertujuan untuk menjaga agar saluran air limbah tidak tersumbat oleh sampah padat atau bahan-bahan yang berukuran besar. Adapun beberapa contoh pengolahan pada tahap *preliminary treatment* adalah *bar screen*, *grit chamber*, dan *oil separation*.

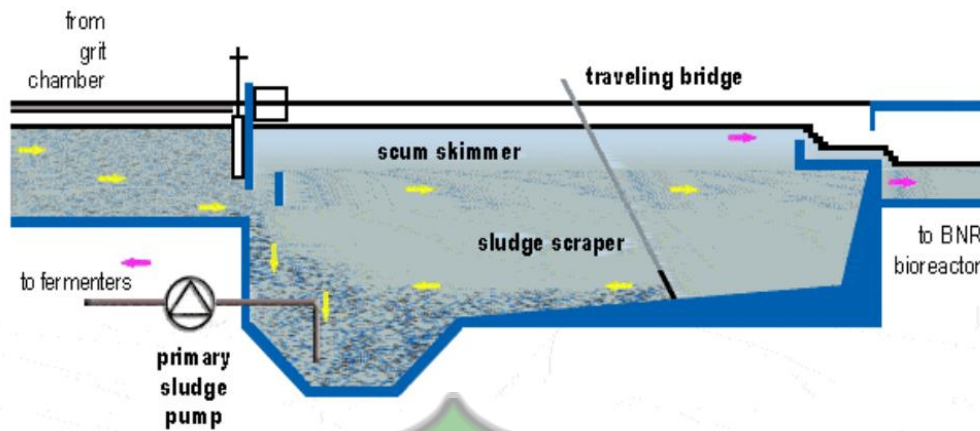


Gambar 2.1. Skema pada Tahap *Preliminary Treatment*

2. *Primary Treatment*

Tahap ini berfungsi untuk menyisihkan bahan pencemar berupa partikel yang tersuspensi atau mengendap dan bahan organik lainnya yang terdapat dalam air limbah secara fisik. Contoh pengolahan pada tahap *primary treatment* adalah bak pengendap pertama yang dapat menyisihkan partikel tersuspensi sebesar 50% – 70% dan BOD sebesar 25% – 40%. Efluen dari tahap *primary treatment* masih mengandung partikel-partikel tersuspensi atau terlarut dan bahan-bahan organik lainnya sehingga masih membutuhkan pengolahan pada tahapan selanjutnya yaitu tahap *secondary treatment*.

Primary Sedimentation Tank



Gambar 2.2. Ilustrasi Bak Sedimentasi pada Tahap *Primary Treatment*

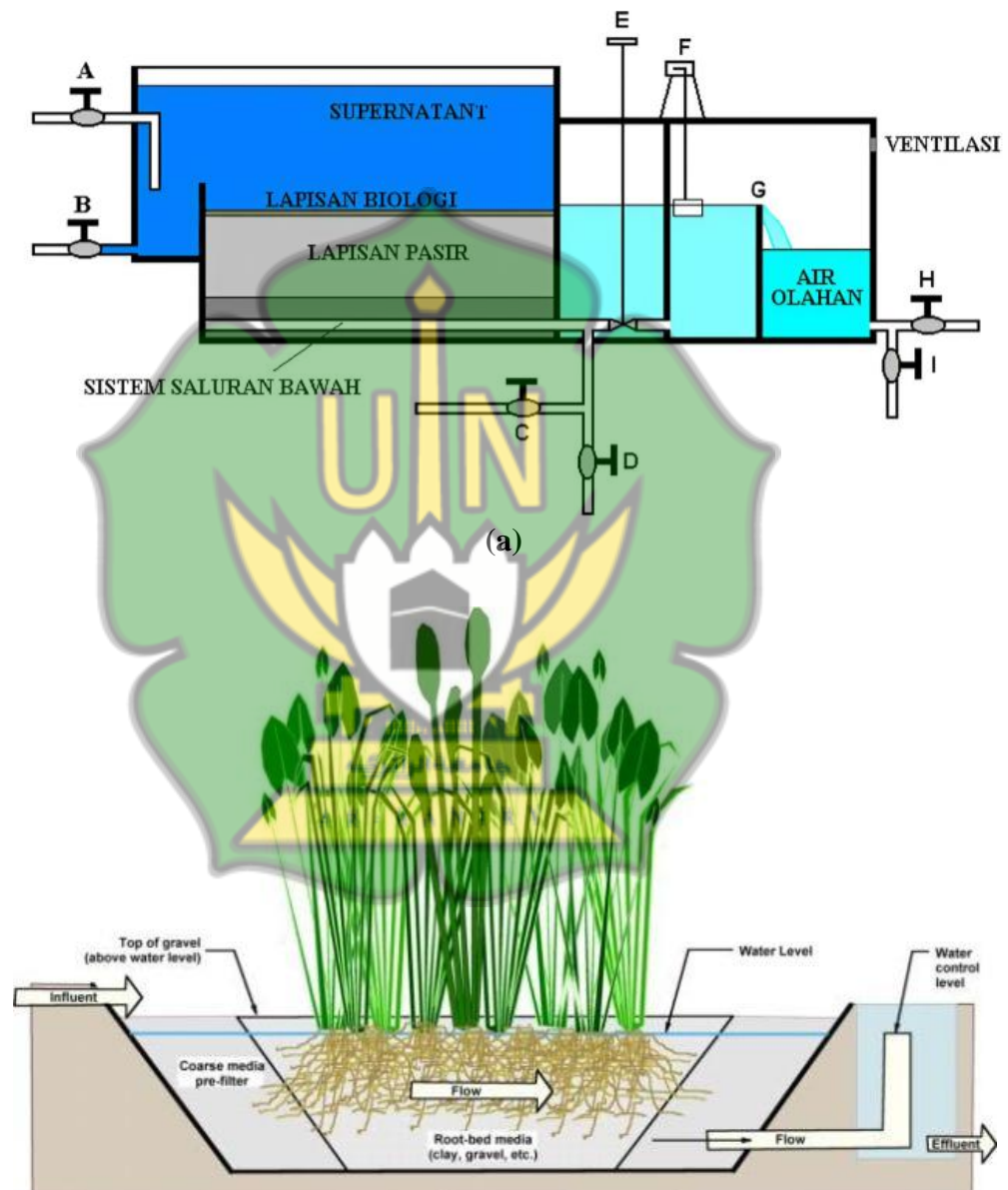
3. *Secondary Treatment*

Tahap ini berfungsi untuk menyisahkan bahan pencemar berupa partikel tersuspensi dan terlarut yang tidak dapat dihilangkan dengan proses fisik biasa. Secara umum, pengolahan pada tahap ini dilakukan secara biologis dengan memanfaatkan mikroorganisme untuk menguraikan bahan-bahan organik yang terkandung di dalam air limbah. Pengolahan ini mampu menyisahkan TSS dan BOD hingga 85% namun kurang efektif dalam menyisahkan kandungan nutrisi seperti unsur N dan P, mikroorganisme, dan bahan pencemar yang bersifat *non biodegradable* seperti logam berat sehingga membutuhkan pengolahan yang lebih *advance* sesuai dengan kebutuhan pada tahapan selanjutnya yaitu tahap *tertiary treatment*. Contoh pengolahan pada *secondary treatment* adalah kolam aerasi, *Aerobic/Anaerobic Lagoon*, *Anaerobic Buffled Reactor (ABR)*, *Anaerobic Filter (AF)*, *Trickling Filter*, *Activated Sludge*.

4. *Tertiary Treatment*

Tahap *tertiary treatment* merupakan tahap terakhir dalam pengolahan air limbah. Tahap ini bersifat khusus dan spesifik tergantung pada jenis kandungan bahan pencemar yang tersisa. Tahap ini berfungsi untuk

menyisihkan sisa partikel tersuspensi yang tidak dapat dihilangkan pada tahap *secondary treatment* seperti kandungan nutrisi, mikroorganisme, dan bahan pencemar yang bersifat *non biodegradable* seperti logam berat. Contoh pengolahan pada tahap *tertiary treatment* adalah unit desinfeksi, filtrasi dengan menggunakan *granular filter* seperti *sand filtration*, dan *constructed wetland*.

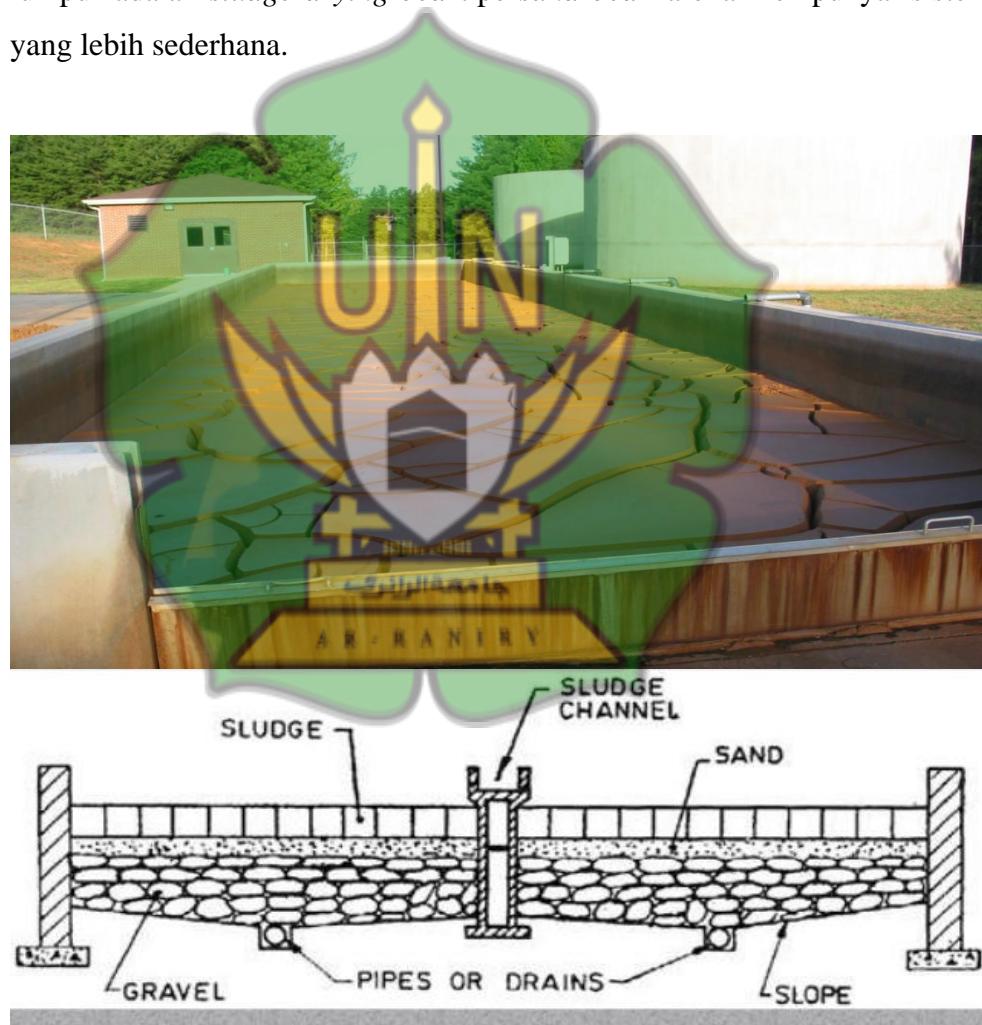


(b)

Gambar 2.3. Ilustrasi Pengolahan dengan Menggunakan: (a) Saringan Pasir; dan (b) *Constructed Wetland*

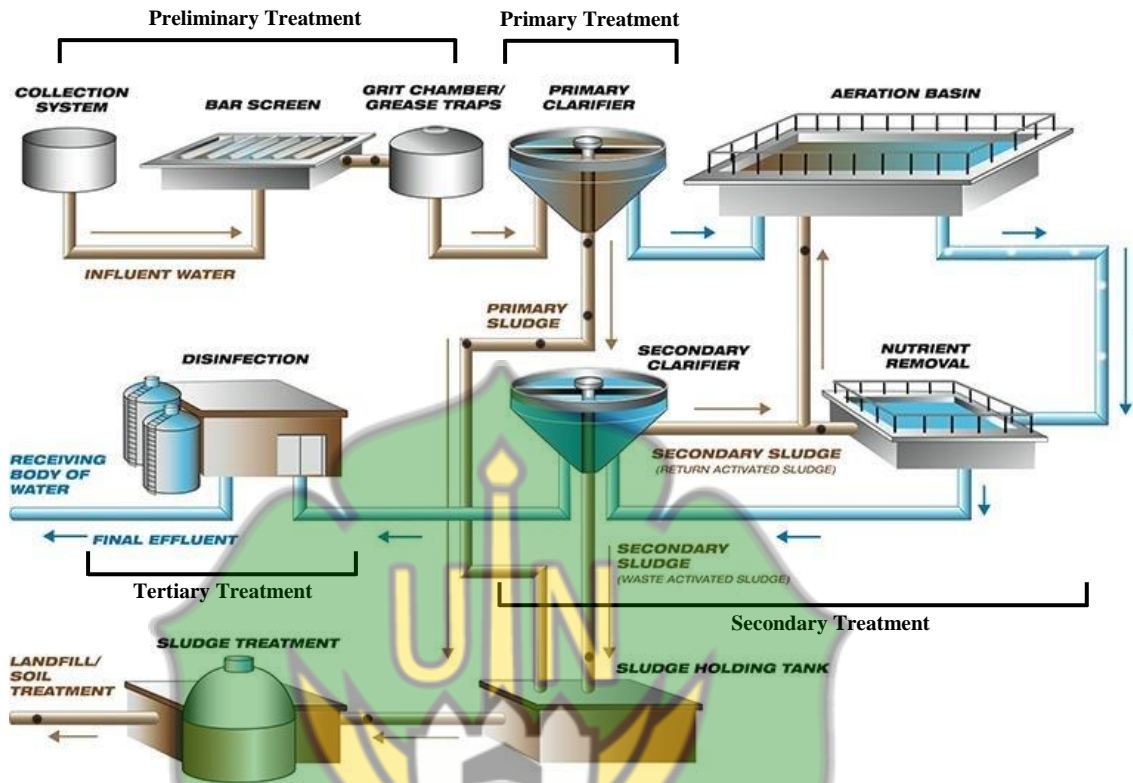
5. *Sludge Treatment*

Sludge treatment merupakan tahapan sampingan yang tak terlepas dari sistem pengolahan air limbah. Tahap ini berfungsi untuk mengolah lumpur yang merupakan *byproduct* yang terbentuk selama proses pengolahan air limbah. Prinsip utama pengolahan lumpur adalah mengurangi kadar air dan volume lumpur. Pengolahan lumpur dapat dilakukan dengan sistem *dewatering* mekanis seperti *gravity thickening*, *sentrifugation*, *pressure filtration*, *sludge drying bed tipe lagoon* atau *sludge drying bed tipe sand bed* (media pasir). Metode yang paling sering digunakan untuk mengolah lumpur adalah *sludge drying bed tipe sand bed* karena mempunyai sistem yang lebih sederhana.



Gambar 2.4. *Sludge Drying Bed Tipe Sand Bed* Beserta Potongan Gambar Desain

Berdasarkan tahapan-tahapan pengolahan yang telah disebutkan maka dapat dilihat skema pengolahan air limbah secara keseluruhan sebagai berikut.



Gambar 2.5. Contoh Diagram Pengolahan Air Limbah Domestik

Berbagai alternatif teknologi pengolahan air limbah telah dikembangkan untuk memperoleh tingkat efisiensi penyisihan bahan pencemar yang lebih baik. Perencanaan teknologi pengolahan air limbah domestik dilakukan berdasarkan kebutuhan kapasitas pengolahan, kondisi lingkungan, ketersediaan lahan, dan kemampuan pengguna dalam mengoperasikan dan memeliharanya (Herrari, 2015).

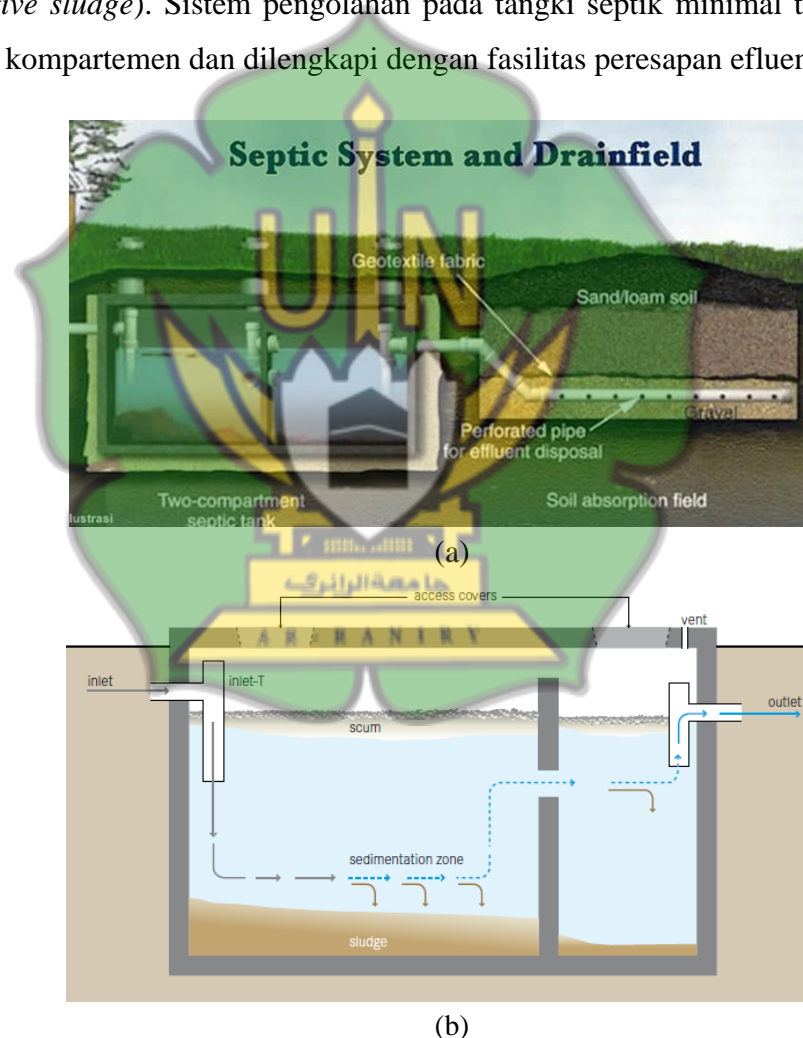
Mayoritas teknologi yang digunakan untuk menyisihkan bahan pencemar organik dalam air limbah adalah proses biologis. Proses biologis dapat berlangsung baik pada kondisi aerobik maupun anaerobik. Proses biologis yang bersifat aerobik lebih banyak digunakan untuk air limbah dengan beban bahan pencemar organik yang tidak terlalu besar sedangkan proses biologis yang bersifat

anaerobik banyak digunakan untuk pengolahan air dengan beban bahan organik yang sangat tinggi (Said, 2000).

Beberapa teknologi yang dapat digunakan untuk pengolahan air limbah domestik secara biologis adalah sebagai berikut.

1. *Septic Tank*

Septic tank atau tangki septik merupakan unit pengolahan air limbah domestik yang paling sederhana. Pengolahan air limbah pada tangki septik berlangsung secara fisika melalui proses sedimentasi dan secara biologis dengan kondisi anaerobik melalui kontak antara air limbah lumpur aktif (*active sludge*). Sistem pengolahan pada tangki septik minimal terdiri atas dua kompartemen dan dilengkapi dengan fasilitas peresapan efluen.



Gambar 2.6. (a) Sistem Tangki Septik dan Bidang Resapannya; dan (b) Detil Kompartemen Tangki Septik

Sumber: Tilley et al, 2014

Tangki septik cocok digunakan pada daerah yang tidak padat penduduk. Penggunaan tangki septik mempunyai beberapa kelebihan sebagai berikut.

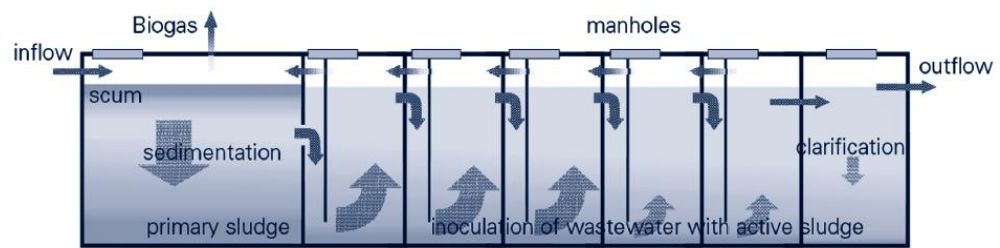
- a. Tidak memerlukan lahan yang luas,
- b. Konstruksi bangunan yang sederhana dan tahan lama,
- c. Biaya operasional yang rendah karena tidak memerlukan energi.

Tangki septik juga memiliki kekurangan sebagai berikut.

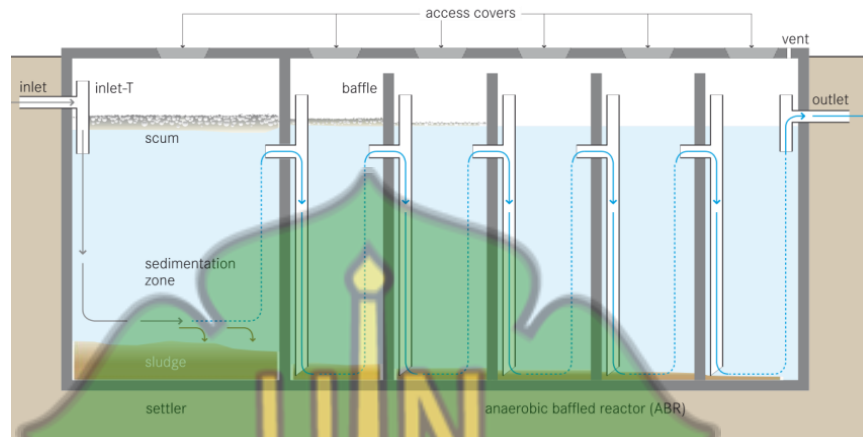
- a. Tidak terlalu efisien dalam menyisihkan kadar padatan, zat organik, dan patogen
- b. Membutuhkan pengurasan lumpur secara periodik, biasanya 2 tahun sekali
- c. Efluen dan lumpur yang dihasilkan membutuhkan pengolahan lebih lanjut (Tilley et al, 2014)

2. *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR)

Anaerobic Baffled Reactor merupakan unit pengolahan air limbah yang mengkombinasikan prinsip kerja dari tangki septik, *Moving Bed Reactor*, dan *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB). Unit ABR terdiri dari beberapa kompartemen yang dipisahkan oleh pipa pengalir atau *standing* dan *hanging baffled* yang secara selang-seling mengalirkan air ke atas dan ke bawah kompartemen supaya dapat memperlama waktu kontak antara air limbah dengan biomassa pada lapisan lumpur yang terdapat pada dasar kompartemen. Pengontakan air limbah dengan lumpur tersebut bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penyisihan bahan pencemar yang terkandung dalam air limbah tersebut oleh mikroorganisme yang terdapat di dalam selimut lumpur pada setiap dasar kompartemen dengan kondisi anaerob (Hudson, 2010; Wang dkk, 2009).



(a)



(b)

Gambar 2.7. (a). Desain *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)* dengan *standing* dan *hanging baffled* dan (b). Desain *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)* dengan *Pipa Pemisah*

Sumber: Sasse, 2009 dan Tilley et al, 2014

Unit pengolahan ABR cocok digunakan pada daerah yang mempunyai lahan terbatas karena biasanya unit ABR dibangun di bawah permukaan tanah dan tidak membutuhkan lahan yang luas. Namun, truk penguras lumpur harus dapat mengakses lokasi unit ABR karena lumpur harus dikuras secara teratur terutama lumpur pada bak settler. Unit ABR mempunyai beberapa kelebihan sebagai berikut.

- a. Tahan terhadap beban hidrolis dan beban organik yang tinggi
- b. Biaya operasional yang rendah karena tidak membutuhkan energi
- c. Bangunan ABR bersifat permanen sehingga tahan lama
- d. Efisiensi penyisihan BOD yang tinggi hingga 90%
- e. Lumpur yang dihasilkan lebih sedikit dan telah terstabilisasi

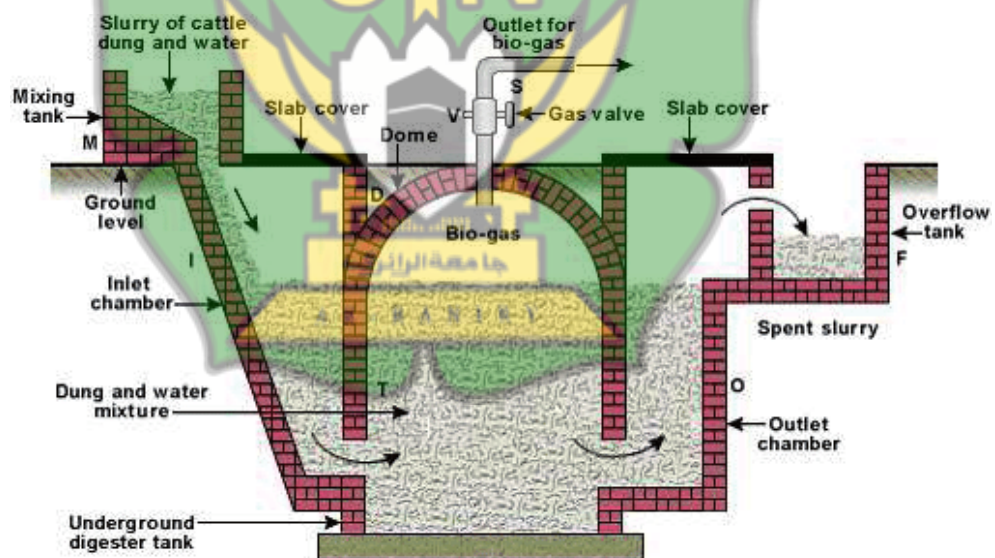
- f. Tidak membutuhkan lahan yang terlalu luas dan dapat dibangun dibawah tanah

Unit ABR juga memiliki beberapa kekurangan sebagai berikut.

- a. Membutuhkan desain dan konstruksi yang ahli
- b. Tidak terlalu efisien dalam menyisihkan kadar patogen dan nutrisi
- c. Efluen dan lumpur yang dihasilkan membutuhkan pengolahan lebih lanjut (Tilley et al, 2014)

3. *Anaerobic Biogas Reactor*

Anaerobic Biogas Reactor atau digester anaerobik adalah teknologi yang dapat mengolah air limbah *blackwater*, lumpur, atau air limbah *biodegradable* lainnya secara anaerobik yang menghasilkan lumpur digestat yang kaya akan nutrisi dan biogas yang merupakan campuran gas metana dengan karbon dioksida yang dapat digunakan sebagai sumber energi (Tilley et al, 2014).



Gambar 2.8. Gambaran Pengolahan pada *Anaerobic Biogas Reactor*

Sumber: Tilley et al. 2014

Anaerobic Biogas Reactor dapat dibangun dengan menggunakan konstruksi batu bata atau menggunakan tangki prefabrikasi dan dapat dibangun baik di atas atau di bawah permukaan tanah tergantung pada ketersediaan lahan,

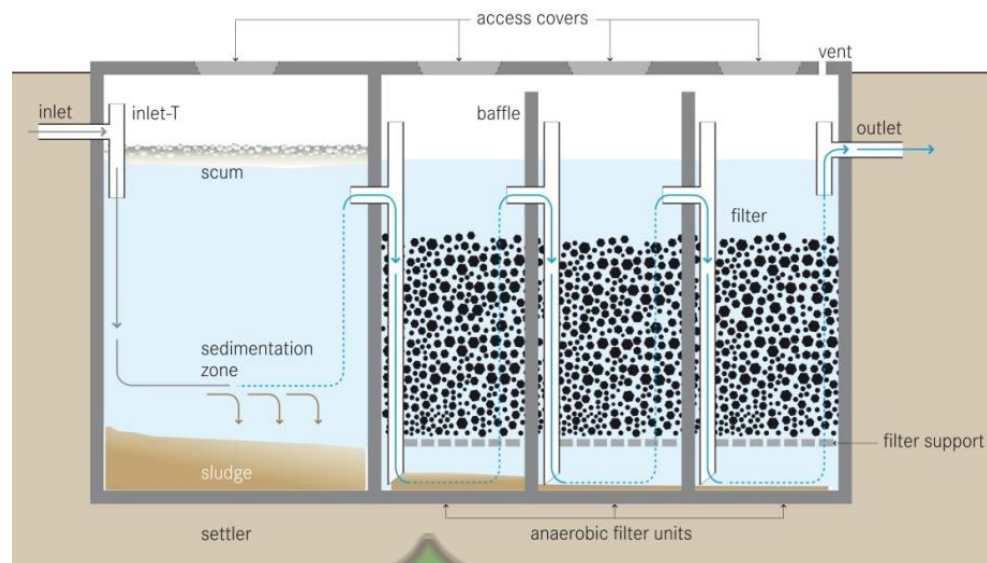
karakteristik tanah, dan volume limbah yang dihasilkan. Teknologi ini dapat digunakan baik pada level rumah tangga, komunal, atau bahkan pada instalasi pengolahan air limbah yang lebih luas. Unit pengolahan ini paling cocok digunakan pada tempat yang menghasilkan limbah secara konstan. *Anaerobic Biogas Reactor* sering digunakan sebagai alternatif tangki septik karena mempunyai tingkat pengolahan yang sama namun dengan tambahan manfaat dari biogas yang dihasilkan.

Anaerobic Biogas Reactor mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan sebagai berikut.

- + Merupakan generasi energi terbarukan
- + Luas lahan yang dibutuhkan kecil dan dapat dibangun di bawah tanah
- + Biaya operasional yang rendah karena tidak membutuhkan energi
- + Tahan lama
- Membutuhkan keahlian dalam desain dan konstruksi
- Jika penyisihan patogen tidak terjadi secara tuntas, maka digestat mungkin membutuhkan pengolahan lebih lanjut
- Produksi gas akan terbatas bila di bawah 15 °C (Tilley at al, 2014)

4. *Anaerobic Filter* (AF)

Anaerobic Filter merupakan reaktor biologis yang menggabungkan proses penyisihan padatan secara mekanis dan penguraian zat organik terlarut melalui beberapa ruang filtrasi yang disusun secara seri. Pada unit AF terdapat media filter yang berfungsi untuk menahan partikel pada air limbah. Mikroorganisme akan tumbuh dan melekat pada permukaan filter membentuk biofilm sehingga dapat mendegradasi bahan organik yang terkandung dalam air limbah. *Anaerobic Filter* digunakan untuk air limbah dengan persentase padatan tersuspensi yang rendah (seperti efluen setelah pengolahan primer dalam tangki septik), dan air limbah dengan rasio COD/BOD yang kecil (Sasse, 2009).



Gambar 2.9. Gambaran Pengolahan pada *Anaerobic Filter*

Sumber: Tilley et al. 2014

Unit *anaerobic filter* dapat digunakan baik pada level rumah tangga, komunal, atau bahkan pada instalasi pengolahan air limbah yang lebih luas. Unit ini biasanya digunakan sebagai penstabil laju beban organik sebelum masuk ke kolam aerobik. Unit pengolahan ini paling cocok digunakan pada tempat yang menghasilkan air limbah *greywater* dan *blackwater* secara konstan dan pada daerah yang mempunyai lahan terbatas karena biasanya dibangun di bawah permukaan tanah dan tidak membutuhkan lahan yang luas. Namun, truk penguras lumpur harus dapat mengakses lokasi unit pengolahan ini untuk kemudahan pengurasan lumpur.

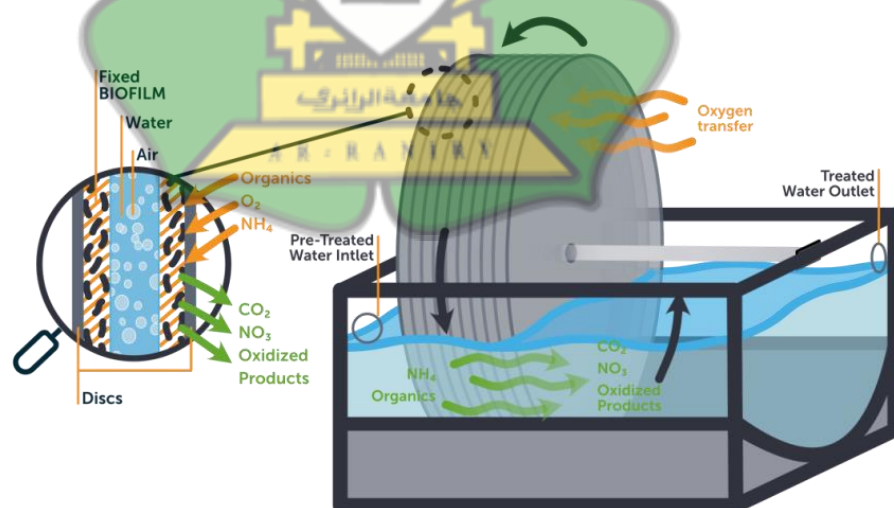
Anaerobic filter mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan sebagai berikut.

- + Luas lahan yang dibutuhkan kecil dan dapat dibangun di bawah tanah
- + Biaya operasional yang rendah karena tidak membutuhkan energi
- + Tahan lama
- + Efisiensi penyisihan BOD dan padatan yang tinggi (50 – 90%)
- + Lumpur yang dihasilkan lebih sedikit dan telah terstabilisasi
- + Tidak membutuhkan lahan yang terlalu luas dan dapat dibangun dibawah tanah

- Membutuhkan keahlian dalam desain dan konstruksi
- Tidak terlalu efisien dalam menyisihkan kadar patogen dan nutrisi
- Efluen dan lumpur yang dihasilkan membutuhkan pengolahan lebih lanjut
- Terdapat resiko penyumbatan
- Pembersihan media filter yang rumit (Tilley at al, 2014)

5. *Rotating Biological Contactor (RBC)*

Rotating Biological Contactor (RBC) adalah jenis pengolahan air limbah sekunder yang terdiri dari serangkaian cakram/piringan yang disusun berdekatan secara paralel dan dipasang pada poros yang berputar secara perlahan dan ditempatkan dengan keadaan piringan terendam sebagian dalam air limbah. Unit pengolahan RBC memanfaatkan peran dari mikroorganisme yang tumbuh dan melekat di permukaan piringan. Piringan yang berputar berfungsi untuk menyuplai kebutuhan oksigen melalui turbulensi pada air limbah sehingga mikroorganisme dapat mendegradasi polutan yang terkandung dalam air limbah dan meningkatkan kualitas air tersebut (Metcalf & Eddy Inc., 2003).



Gambar 2.10. Gambaran Pengolahan pada *Rotating Biological Contactor (RBC)*

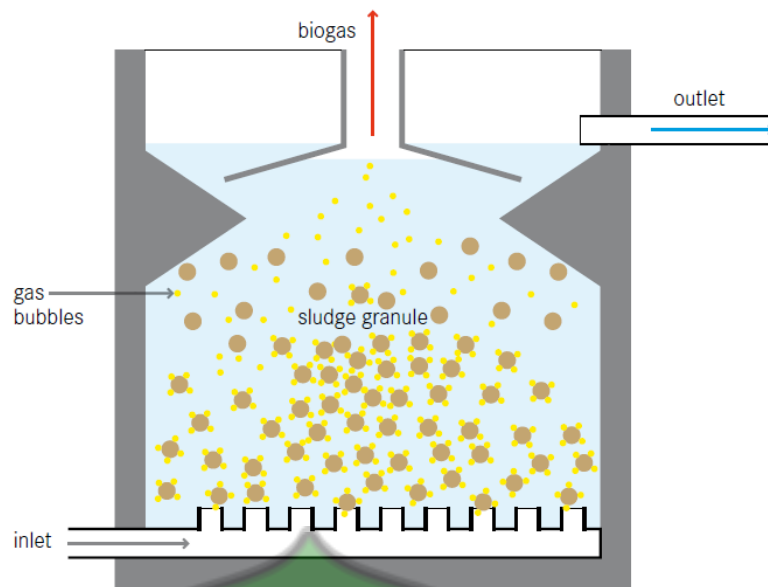
Sumber: biorotor.com

Unit pengolahan RBC merupakan teknologi yang relatif baru dibandingkan dengan seluruh proses pengolahan air limbah yang telah ada sehingga tingkat aplikasi unit RBC secara penuh masih terbatas. Unit RBC mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan sebagai berikut.

- + Tahan terhadap lonjakan/fluktuasi beban
- + Konstruksi yang sederhana
- + Pengoperasian alat dan perawatannya mudah
- + Kebutuhan energi relatif lebih kecil
- + Tidak membutuhkan udara dalam jumlah besar
- + Lumpur yang dihasilkan lebih sedikit dan tidak menimbulkan buih
- Sensitif terhadap temperatur
- Resiko terjadi penyumbatan (*clogging*)
- Efluen memerlukan pengolahan lebih lanjut
- Terkadang menimbulkan bau

6. *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB)

Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) adalah teknologi pengolahan air limbah secara anaerobik dengan memanfaatkan lumpur aktif. UASB terdiri atas satu buah reaktor tunggal di mana air limbah akan masuk melalui dasar reaktor dan mengalir hingga ke atas. Lapisan lumpur yang terdapat pada UASB akan menyaring dan mendegradasi bahan organik yang terdapat pada air limbah saat air limbah tersebut mengalir melewatinya. Unit UASB tidak sesuai dipergunakan pada skala kecil atau pada daerah terpencil yang mempunyai keterbatasan sumber air dan energi listrik. Aplikasi unit UASB pada pengolahan air limbah domestik termasuk baru dan masih jarang digunakan.



Gambar 2.11. Unit Pengolahan *Rotating Biological Contactor* (RBC)

Sumber: Tilley, 2014

Unit UASB lebih sering digunakan untuk mengolah limbah industri yang mempunyai laju beban organik yang tinggi hingga 10 kg BOD/m³/hari. Unit UASB dapat menyisihkan 80 hingga 90 % kadar COD. Influen yang mengandung terlalu banyak padatan, protein, dan lemak dapat menyebabkan reaktor UASB tidak dapat berkeja dengan baik.

Unit UASB mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan sebagai berikut.

- + Efisiensi penyisihan BOD yang tinggi
- + Tahan terhadap laju beban hidolik dan organik yang tinggi
- + Lumpur yang dihasilkan lebih sedikit
- + Menghasilkan biogas yang dapat dimanfaatkan
- Kinerja pengolahan mungkin akan tidak stabil karena fluktuasi laju beban organik dan hidrolik
- Membutuhkan operator khusus yang ahli
- Operasional reaktor yang rumit, sulit untuk mempertahankan kondisi hidrolik yang tepat
- Membutuhkan waktu *start-up* yang lama
- Membutuhkan energi listrik yang kontinue

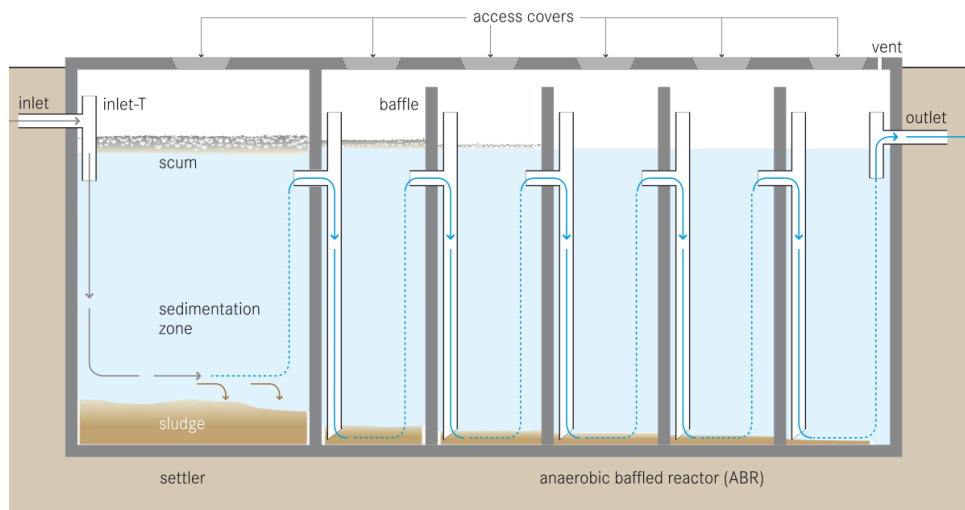
- Membutuhkan keahlian dalam desain dan konstruksi
- Efluen dan lumpur yang dihasilkan membutuhkan pengolahan lebih lanjut (Tilley et al, 2014)

2.3. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal Gampong Jeulingke

Teknologi pengolahan air limbah yang digunakan dalam perencanaan IPAL Komunal pada Gampong Jeulingke ini adalah kombinasi unit pengolahan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dengan *Constructed Wetland* (CW). Pemilihan kedua metode tersebut didasarkan pada karakteristik air limbah domestik yang dihasilkan oleh perumahan warga Dusun Rajawali Jeulingke, kemampuan penyisihan bahan pencemar, dan pertimbangan terhadap kelebihan dan kekurangan pada kedua metode tersebut.

2.3.1. *Anaerobic Baffled Reactor*

Anaerobic Baffled Reactor (ABR) merupakan bangunan pengolahan air limbah yang menggabungkan proses pengolahan secara fisik dan biologis. Unit ABR mengintegrasikan bak pengendap dengan *baffled reactor*. Bak pengendap berfungsi sebagai zona sedimentasi untuk proses awal (*pre-treatment*) air limbah sedangkan *baffled reactor* terdiri dari beberapa kompartemen yang dipisahkan oleh pipa pengalir atau *standing* dan *hanging baffled* yang secara selang-seling mengalirkan air ke atas dan ke bawah kompartemen supaya dapat memperlama waktu kontak antara air limbah dengan biomassa pada selimut lumpur yang terdapat pada dasar kompartemen. Pengontakan air limbah dengan lumpur tersebut bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penyisihan bahan pencemar yang terkandung dalam air limbah tersebut oleh mikroorganisme yang terdapat di dalam selimut lumpur pada setiap dasar kompartemen dengan kondisi anaerob (Hudson, 2010; Wang dkk, 2009). Desain ABR menjamin masa tinggal air limbah yang lebih lama sehingga menghasilkan pengolahan dengan kualitas tinggi dengan produksi kadar lumpur yang rendah (Foxon, 2004). Gambar contoh desain unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Unit Pengolahan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR)

Sumber: Tilley, 2014

Pengoperasian awal ABR membutuhkan waktu 3 bulan untuk menstabilkan biomassa pada kompartemen ABR. Kemampuan penyisihan bahan pencemar oleh ABR dapat dilihat pada Tabel 2.3. berikut.

Tabel 2.3. Kemampuan penyisihan bahan pencemar oleh unit ABR

Parameter	Kemampuan Penyisihan (%)
BOD	70 – 95
COD	65 – 90
TSS	≤ 90

Sumber: Sakinah, 2018

Unit pengolahan ABR dapat diterapkan untuk mengolah berbagai jenis air limbah seperti yang berasal dari pemukiman, pasar, rumah sakit, penginapan, Rumah Potong Hewan (RPH), dan industri makanan. Semakin besar beban pencemar organik pada air limbah maka semakin tinggi efisiensi pengolahan yang didapatkan (Morel dan Dinier, 2006). Unit ABR dapat dibangun pada lingkungan yang kecil. Selain itu, unit ABR dapat dirancang untuk mengolah air limbah dengan *inflow* harian sebanyak 200.000 liter/hari atau setara dengan air limbah yang dihasilkan oleh 1000 orang (Nanga, 2017). Kelebihan dan kekurangan dari unit pengolahan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Kelebihan dan Kekurangan Unit Pengolahan ABR

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> • Tahan terhadap kejutan beban organik dan hidrolis • Kemampuan menurunkan bahan pencemar organik yang tinggi • Dapat mengolah limbah <i>grey water</i> dan <i>black water</i> secara bersamaan • Memiliki umur pelayanan yang panjang • Tidak membutuhkan pemakaian energi listrik • Konstruksi sederhana dengan material konstruksi lokal yang mudah dijumpai • Biaya konstruksi dan operasi yang relatif lebih kecil 	<ul style="list-style-type: none"> • Membutuhkan debit air limbah yang konstan • Membutuhkan pengolahan sekunder untuk <i>effluent</i> yang dihasilkan • Memerlukan pengolahan pendahuluan untuk mencegah penyumbatan • Tidak efektif untuk menurunkan patogen dan bahan nutrisi

Sumber: Sasse, 2009.

Kriteria desain untuk perencanaan unit pengolahan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dapat dilihat pada Tabel 2.5. berikut ini.

Tabel 2.5. Kriteria Desain Unit Pengolah *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR)

No.	Parameter	Nilai
1.	<i>Detention time</i> (Td)	2 – 6 jam*
2.	Periode pengurasan	2 – 3 tahun*
3.	HRT	6 – 24 jam** >8 jam*
4.	Panjang <i>baffle</i>	50 – 60% dari kedalaman*
5.	<i>Upflow velocity</i> (Vup)	<2 m/jam*
6.	<i>Organic Loading Rate</i> (OLR)	<3 kg COD/m ³ hari*

Sumber: * Sasse, 2009

** Tchobanoglous dkk, 2003.

Unit pengolahan ABR mempunyai aksesoris tambahan berupa pipa ven sebagai bagian dari sistem pembuangan. Pipa ven berfungsi untuk mengalirkan

dan mengeluarkan gas-gas yang dihasilkan oleh proses anaerobik dalam unit ABR. Pemasangan pipa ven bertujuan untuk mensirkulasi udara pada proses pembuangan, menjaga stabilitas tekanan dalam kompartemen, dan menjaga kedalaman air agar sesuai dengan yang direncanakan (Nanga, 2017).

Persamaan yang digunakan dalam desain unit pengolahan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) adalah sebagai berikut.

- *Hydrolic Retention Time* (HRT)

$$HRT = \frac{V}{Q} \quad (2.4.)$$

Dimana:

HRT = *hydrolic retention time* (hari)

V = volume (m³)

Q = debit (m³/hari)

- *Organic Loading Rate* (OLR)

$$OLR = \frac{Q \times S_0}{V} \quad (2.5.)$$

Dimana:

OLR = *organic loading rate*

Q = debit (m³/hari)

S₀ = total COD inlet (mg/L)

V = volume (m³)

- *Upflow velocity* (v_{up})

$$v_{up} = \frac{Q}{l \times w} \quad (2.6.)$$

Dimana:

Q = debit (m³/hari)

l = panjang satu kompartemen (m)

w = lebar kompartemen (m)

- *Head loss* (H_f)

$$H_f = f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \quad (2.7.)$$

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

Dimana:

H_f = *head loss*

L = panjang unit ABR (m)

R = jari-jari hidrolis (m)

v = kecepatan (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

2.3.2. *Constructed Wetland*

Constructed Wetland merupakan suatu sistem pengolahan terkendali yang dibangun menyerupai rawa alami sebagai upaya untuk mengurangi bahan pencemar dalam air limbah dengan melibatkan peran dari tanaman, mikroorganisme, dan media yang digunakan (Safrodin dan Mangkoedihardjo, 2016). Proses pengolahan yang terjadi pada *Constructed Wetland* meliputi proses filtrasi, adsorpsi, sedimentasi, transfer gas, serta proses kimia dan biologi lainnya (Pratiwi, 2015). Prinsip kerja unit *Constructed Wetland* adalah memanfaatkan simbiosis antara tanaman dengan mikroorganisme yang terdapat pada media di sekitar sistem perakaran tanaman tersebut. Bahan organik yang terdapat di dalam air limbah akan diurai oleh mikroorganisme menjadi senyawa yang lebih sederhana untuk kemudian dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai nutrisi. Selain itu, sistem perakaran tanaman akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi dalam proses metabolisme oleh mikroorganisme (Supradata, 2005).

Constructed Wetland mempunyai kemampuan yang tinggi dalam mengurangi bahan pencemar dalam air limbah dan dapat mengolah berbagai jenis limbah cair, baik itu berupa air limbah domestik, industri, pertanian, maupun air limbah dari proses pertambangan (Lestari, 2012). Kemampuan unit *Constructed*

Wetland di Indonesia dalam mengurangi polutan air limbah dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Kemampuan Penyisihan Polutan oleh Sejumlah *Constructed Wetland* di Indonesia

Parameter	Kemampuan Penyisihan (%)
BOD	80-95
TSS	50-90
COD	73-97
T-N	58-95
T-P	67-94
<i>Coliform</i>	99-100

Sumber: Puspira, 2004.

Pengolahan air limbah dengan sistem *constructed wetland* melibatkan 4 (empat) faktor utama sebagai berikut.

1. Media

Media berfungsi sebagai tempat tumbuh tanaman dan mikroorganisme pengurai pada *constructed wetland*. Selain itu media juga berperan dalam proses filtrasi, sedimentasi, adsorpsi, dan transformasi kimiawi serta menjadi tempat penyimpanan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman. Media yang digunakan dapat berupa tanah, batuan, pasir, dan media tumbuh lainnya. Pemilihan media dilakukan berdasarkan waktu detensi yang dibutuhkan. Waktu detensi dipengaruhi oleh permeabilitas dan konduktivitas hidrolis dari media tersebut (Supradata, 2005). Efektivitas penyisihan bahan pencemar oleh *Constructed Wetland* berdasarkan media yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. Kinerja *Constructed Wetland* berdasarkan jenis media yang digunakan

No.	Jenis Media	Persentase Penyisihan Bahan Pencemar		
		BOD	TSS	Coliform
1.	Tanah	62 – 85	49 – 85	-
2.	Kerikil	55 – 96	51 – 98	99
3.	Tanah liat	92	91	-
4.	Pasir	96	94	100

Sumber: Supradata, 2005

Karakteristik media yang digunakan dalam *Constructed Wetland* dapat dilihat pada tabel 2.8. berikut.

Tabel 2.8. Karakteristik Media pada *Constructed Wetland*

No.	Tipe Media	Diameter butiran (mm)	Porositas (η)	Konduktivitas Hidrolik (ft/d)
1.	<i>Medium sand</i>	1	0,30	1640
2.	<i>Coarse sand</i>	2	0,32	3280
3.	<i>Gravelly sand</i>	8	0,35	16.400
4.	<i>Medium gravel</i>	32	0,40	32.800
5.	<i>Coarse gravel</i>	128	0,45	328.000

Sumber: Supradata, 2005

2. Tanaman

Tanaman yang digunakan pada *Constructed Wetland* merupakan jenis tanaman air atau tanaman yang dapat bertahan hidup pada kondisi lingkungan yang tergenang air. Fungsi tanaman tersebut adalah sebagai berikut (Sudewo, 2016).

- a. Tempat tumbuh mikroorganisme
- b. Penyedia oksigen untuk daerah perakaran dan mikroorganisme
- c. Tempat berlangsungnya proses pengolahan seperti filtrasi, pengendapan, adsorpsi, dan proses perombakan nutrisi

Tanaman yang umum digunakan pada *Constructed Wetland* adalah tanaman *amphibious plants* seperti ‘cattail’ (*Thypha angustifolia*), ‘bulrushes’ (*Scirpus acutus*), ‘rushes’ (*Juncus articulatus*), ‘reeds’ (*Phragmites australis*), ‘sedges’ (*Carex aquatilis*), dan ‘bintang air’ *Cyperus alternifolius* (Supradata, 2005).

3. Mikroorganisme

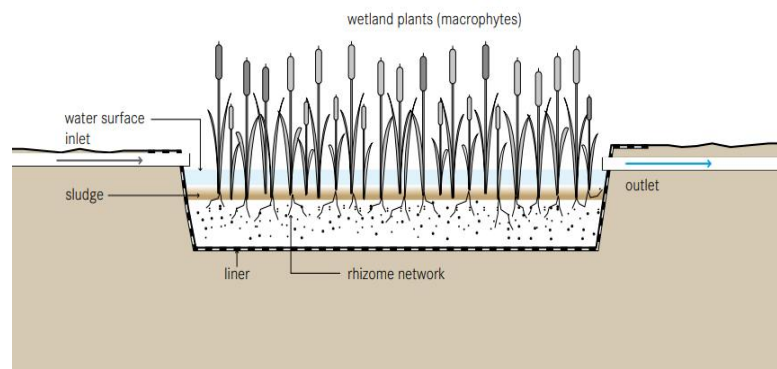
Mikroorganisme berperan dalam proses pengolahan pada *Constructed Wetland*. Mikroorganisme yang diharapkan untuk berkembang pada media dan akar tanaman adalah mikroorganisme heterotrofik aerobik dikarenakan

proses pengolahan yang terjadi akan berlangsung lebih cepat dengan bantuan mikroorganisme aerobik. Kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme aerobik akan disuplai oleh akar tanaman sebagai hasil samping fotosintesis tanaman. Kondisi aerob pada perakaran tanaman dan ketergantungan mikroorganisme terhadap suplai oksigen oleh akar tanaman akan menyebabkan hanya mikroorganisme tertentu yang dapat tumbuh dan berkembang .

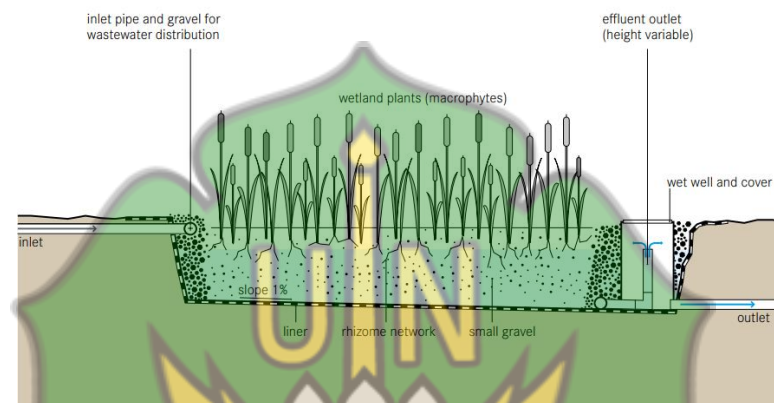
4. Temperatur

Temperatur air limbah berpengaruh terhadap kinerja pengolahan bahan pencemar oleh mikroorganisme dan tanaman pada *Constructed Wetland*. Temperatur mempengaruhi kecepatan reaksi yang terjadi dimana setiap kenaikan temperatur sebesar 10°C akan meningkatkan reaksi hingga 2 sampai 3 kali lebih cepat. Kondisi iklim di Indonesia yang berupa iklim tropis akan menguntungkan karena mikroorganisme dapat bekerja secara optimal sepanjang tahun (Supradata, 2005).

Berdasarkan aspek hidrologi, sistem *Constructed Wetland* dibedakan menjadi 2 macam, yaitu *Free Water Surface (FWS) Constructed Wetland* dan *Subsurface Flow (SSF) Constructed Wetland*. *Constructed wetland* dengan tipe FWS didesain dengan air limbah akan mengalir di atas lapisan media sehingga akan tampak seperti kolam dangkal ataupun dapat berbentuk saluran panjang yang ditumbuhi berbagai tanaman air. Sementara sistem *Constructed Wetland* dengan tipe SSF tampak berbentuk sebagai taman. Hal ini disebabkan oleh aliran air limbah berada di bawah media. *Constructed Wetland* tipe ini dibedakan lagi menjadi dua macam berdasarkan pola alirannya, yaitu aliran horizontal dan aliran vertikal (Suswati, 2013).



(a)



(b)

Gambar 2.13. *Constructed Wetland*: (a) *Free Water Surface (FWS)*; dan (b) *Subsurface Flow (SSF)*

Sumber: Tilley et al, 2014

Constructed Wetland dengan tipe SSF mempunyai beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan *Constructed Wetland* tipe FWS yaitu konstruksi *wetland* yang lebih sederhana dengan luas lahan yang relatif tergantung kebutuhan, air limbah yang tidak mengalami kontak langsung dengan udara sehingga tidak menimbulkan bau dan juga tidak memungkinkan terjadinya perkembangbiakan bibit vektor penyakit seperti nyamuk serta bentuknya yang tampak seperti taman mempunyai nilai estetika yang lebih. Beberapa kondisi ini berbanding terbalik dengan *Constructed Wetland* tipe FWS dimana kebutuhan akan lahan lebih besar, menimbulkan bau yang tak enak, dan sering kali menjadi tempat perkembangbiakan jentik nyamuk (Suswati, 2013).

Penerapan unit pengolahan *Constructed Wetland* dalam pengolahan air limbah mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan yang telah disajikan dalam Tabel 2.9. berikut.

Tabel 2.9. Kelebihan dan Kekurangan Unit Pengolah *Constructed Wetland*

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> • Kemampuan menurunkan bahan pencemar organik yang tinggi • Mampu menyisihkan unsur nutrisi, logam berat, dan patogen • Umur pelayanan panjang dan mudah dalam pemeliharaan • Biaya konstruksi dan operasional relatif lebih kecil • Dapat diisi dengan beberapa jenis tumbuhan lokal • Ukuran unit pengolahan dapat divariasikan berdasarkan kebutuhan • Tidak membutuhkan pemakaian peralatan mesin atau bahan kimia • Dapat dijadikan taman karena ada nilai estetika 	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak cocok diaplikasikan pada daerah dengan suhu rendah karena operasional unit pengolahan bergantung pada suhu dan iklim sekitar. • Wetland dengan tipe FWS dapat menjadi tempat berkembangbiakan vektor penyakit dan menimbulkan bau

Sumber: Khambali, 2011

Kriteria desain untuk perencanaan unit pengolah *Constructed Wetland* dapat dilihat pada Tabel 2.10. berikut ini.

Tabel 2.10. Kriteria Desain Unit Pengolah *Constructed Wetland*

No.	Parameter	Tipe		Unit
		FWS	SSF	
1.	<i>Hydraulic Detention Time</i>	4 – 15	4 – 15	<i>day</i>
2.	<i>BOD loading rate</i>	<60	<60	lb/acre
3.	<i>Hydraulic Loading Rate</i>	0,015 – 0,05	0,015 – 0,05	Mgal/acre.d
4.	<i>Water depth</i>	0,3 – 2,0	1,0 – 2,5	ft

Sumber: Sudewo, 2016.

Persamaan yang digunakan dalam desain unit pengolahan *Constructed Wetland* adalah sebagai berikut.

- *Detention time* (T_d)

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-K_t T_d} \quad (2.8.)$$

$$T_d = \frac{-\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{K_t} \quad (2.9.)$$

$$K_t = K_{20}(1,1)^{T-20} \quad (2.10.)$$

Dimana:

- C_e = konsentrasi BOD *effluent* (mg/L)
- C_o = konsentrasi BOD *influent* (mg/L)
- K_t = konstanta ketergantungan pada temperatur (per hari)
- T_d = *detention time* (hari)
- K_{20} = konstanta standar pada temperatur 20°C (pe hari)
- T = temperatur (°C)

- Panjang basin (l)

$$l = \frac{T_d \cdot Q}{W \cdot \alpha \cdot d} \quad (2.11.)$$

Dimana:

- T_d = *detention time* (d)
- Q = debit (m³/hari)
- w = lebar basin (m)
- α = porositas media
- d = kedalaman basin (m)

- Luas permukaan (A)

$$A = l \cdot w = \frac{Q}{K_s \cdot S} \quad (2.12.)$$

Dimana:

- l = panjang basin (m)
 w = lebar basin (m)
 Q = debit ($m^3/hari$)
 K_s = konduktivitas hidrolis (m/hari)
 S = *slope*

- Lebar basin (w)

$$w = \frac{A}{d} \quad (2.13.)$$

Dimana:

- A = luas permukaan
 d = kedalaman basin (ft)

- *Hydraulic Loading Rate* (HLR)

$$HLR = \frac{Q}{l \cdot w} \quad (2.14.)$$

Dimana:

- Q = debit ($m^3/hari$)
 l = panjang basin (m)
 w = lebar basin (m)

- *BOD Loading Rate* (BOD_{LR})

$$BOD_{LR} = \frac{Q \cdot C_{BOD}}{A} \quad (2.15.)$$

Dimana:

- Q = debit ($m^3/hari$)
 C_{BOD} = konsentrasi BOD (mg/L)
 A = luas permukaan (m^2)

2.4. Proyeksi Penduduk

Jumlah penduduk selalu mengalami perubahan setiap tahunnya. Proyeksi penduduk merupakan metode yang dilakukan untuk memprediksikan jumlah penduduk di masa depan dengan melihat pola kondisi pertambahan jumlah

penduduk saat ini dan tahun-tahun sebelumnya. Proyeksi penduduk dapat dihitung dengan menggunakan tiga metode sebagai berikut.

1. Metode aritmatika

Metode aritmatika cocok untuk digunakan untuk memproyeksi penduduk pada daerah yang mempunyai angka laju pertumbuhan penduduk yang konstan dalam kurun waktu yang singkat (Husnabilah, 2016). Persamaan umum proyeksi penduduk dari metode aritmatika adalah sebagai berikut.

$$P_n = P_0 + K_a(T_n - T_0) \quad (2.16.)$$

$$K_a = \frac{P_2 + P_1}{T_2 - T_1} \quad (2.17.)$$

Keterangan:

P_n	= jumlah penduduk pada tahun ke-n (jiwa)
P_0	= jumlah penduduk pada tahun awal data (jiwa)
T_n	= tahun ke-n
T_0	= tahun awal data
K_a	= konstanta aritmatika
P_1	= jumlah penduduk pada tahun awal (jiwa)
P_2	= jumlah penduduk pada tahun akhir (jiwa)
T_1	= tahun awal data
T_2	= tahun akhir data

2. Metode geometri

Proyeksi penduduk dengan menggunakan metode geometri mengasumsikan perkembangan jumlah penduduk akan bertambah secara geometri dengan laju pertumbuhan penduduk dianggap sama dari tahun ke tahun dalam kurun waktu tertentu (Hartati, 2016). Persamaan umum proyeksi penduduk dari metode geometri adalah sebagai berikut.

$$P_n = P_0(1 + r)^n \quad (2.18.)$$

Keterangan:

- P_n = jumlah penduduk pada tahun ke-n (jiwa)
 P_0 = jumlah penduduk pada tahun awal data (jiwa)
 r = rasio pertambahan penduduk per tahun (%)
 n = kurun waktu tahun proyeksi

3. Metode *least square*

Proyeksi penduduk dengan menggunakan metode *least square* menggambarkan pertumbuhan penduduk terjadi secara perlahan sepanjang tahun (Hartati, 2016). Persamaan umum proyeksi penduduk dari metode *least square* adalah sebagai berikut.

$$P_n = a + bx \quad (2.19.)$$

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2.20.)$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2.21.)$$

Keterangan:

- P_n = jumlah penduduk pada tahun ke-n
 a = konstanta
 b = koefisien
 x = tahun ke-n

Setelah melakukan proyeksi penduduk dengan menggunakan tiga metode tersebut kemudian akan dipilih satu metode yang paling tepat berdasarkan nilai standar deviasi terkecil dan nilai koefisien korelasi yang paling mendekati angka 1. Persamaan untuk menghitung standar deviasi (S) dan koefisien korelasi (r) adalah sebagai berikut.

$$S = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (2.22.)$$

$$r = \frac{n (\sum x \cdot y) - (\sum x)(\sum y)}{\{[n (\sum y^2) - (\sum y)^2] [n (\sum x^2) - (\sum x)^2]\}^{0,5}} \quad (2.23.)$$

Keterangan:

- S = standar deviasi
 r = koefisien korelasi
 n = jumlah data

Untuk metode aritmatika:

- X = selisih tahun data
 Y = selisih jumlah penduduk

Untuk metode geometri:

- X = nomor tahun data
 Y = ln jumlah penduduk

Untuk metode *least square*:

- X = nomor tahun data
 Y = jumlah penduduk

2.5. Gambaran Umum Daerah Perencanaan

2.5.1. Profil Wilayah Gampong Jeulingke

Gampong Jeulingke merupakan salah satu gampong yang terletak pada Kecamatan Syiah Kuala, Kota Banda Aceh. Gampong Jeulingke memiliki luas wilayah 164,84 Ha. Secara geografis Gampong Jeulingke berbatasan dengan empat wilayah seperti pada Tabel 2.11. berikut.

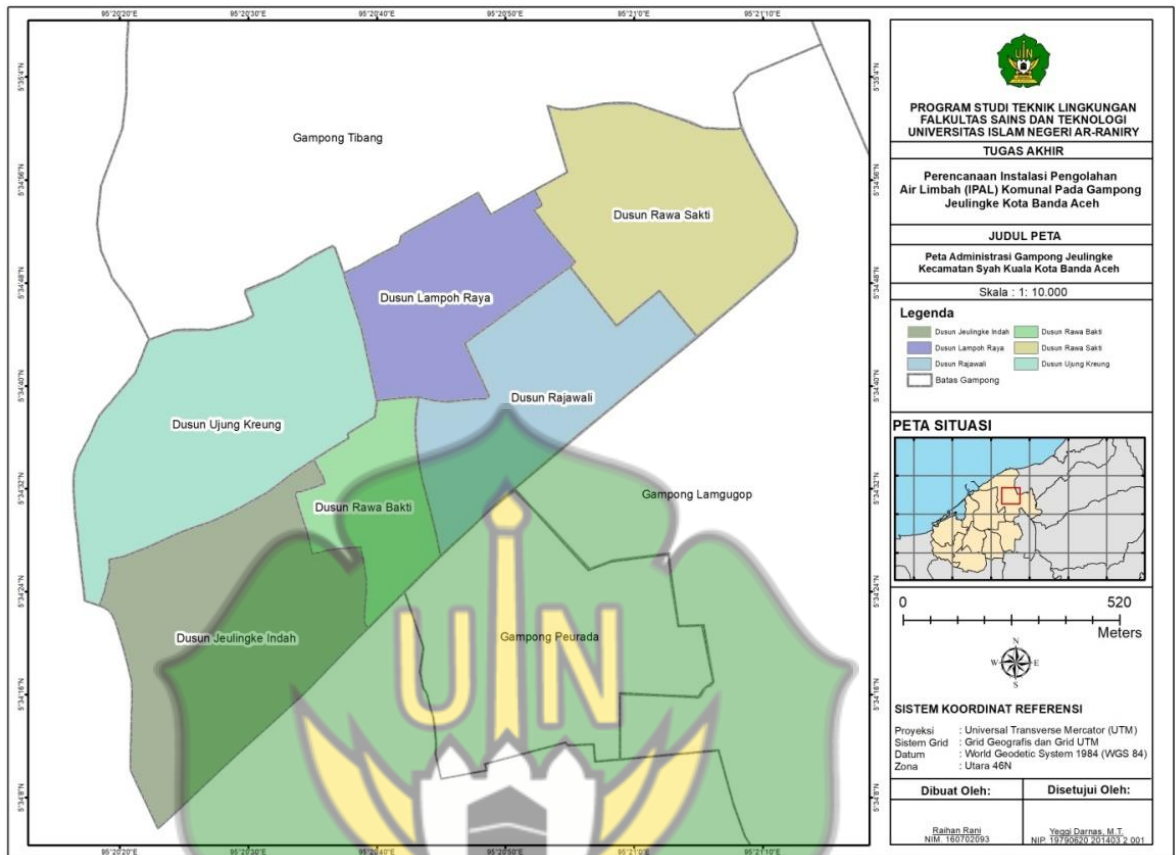
Tabel 2.11. Batas Wilayah Gampong Jeulingke

No.	Batas	Gampong	Kecamatan
1.	Utara	Tibang	Syiah Kuala
2.	Timur	Sungai Krueng Cut	Syiah Kuala
3.	Selatan	Peurada dan Lamgugob	Syiah Kuala
4.	Barat	Sungai Krueng Brok	Kuta Alam

Sumber: Profil Gampong Jeulingke Tahun 2020.

Gampong Jeulingke terdiri atas enam dusun yaitu Dusun Rajawali, Dusun Rawabakti, Dusun Rawa Sakti, Dusun Ujong Krueng, Dusun Jeulingke Indah, dan

Dusun Lampoh Raya. Wilayah Gampong Jeulingke dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Peta Wilayah Administrasi Gampong Jeulingke

Sumber: Profil Gampong Jeulingke Tahun 2020.

2.5.2. Kependudukan Gampong Jeulingke

Jumlah penduduk pada Gampong Jeulingke dapat dilihat pada Tabel 2.12. berikut.

Tabel 2.12. Jumlah Penduduk pada Gampong Jeulingke

No.	Dusun	Jumlah KK	Jumlah Penduduk
1.	Rajawali	193	650
2.	Rawa Bakti	245	810
3.	Rawa Sakti	526	1.780
4.	Ujong Krueng	242	820
5.	Jeulingke Indah	144	491
6.	Lampoh Raya	259	869

Sumber: Profil Gampong Jeulingke Tahun 2020.

Wilayah pelayanan pada perencanaan IPAL komunal ini adalah Dusun Rajawali sehingga jumlah penduduk yang terlayani pada perencanaan IPAL ini adalah sebanyak 193 KK dengan jumlah anggota per Kepala Keluarga (KK) sebanyak 4 orang maka IPAL komunal ini dapat melayani penduduk sebanyak 772 orang.

2.5.3. Kondisi Tata Guna Lahan Gampong Jeulingke

Gampong Jeulingke mempunyai luas lahan sebesar 164,84 Ha dengan peruntukan lahan terdiri atas daerah pemukiman sebesar 93,98 Ha, perkantoran sebesar 15,42 Ha, tambak sebesar 36,40, kuburan 0,23 Ha, dan prasarana umum lainnya sebesar 18,81 Ha. Beberapa contoh peruntukan lahan di Gampong Jeulingke dapat dilihat pada Gambar 2.15. berikut.



Gambar 2.15. Kondisi Tata Guna Lahan pada Gampong Jeulingke

2.5.4. Kondisi Sanitasi Eksisting Gampong Jeulingke

Kondisi sanitasi di Gampong Jeulingke belum terlaksana secara maksimal. Pada Gampong Jeulingke belum tersedia unit IPAL untuk pelayanan pengolahan air limbah domestik. Hal ini menyebabkan saluran drainase sekitar perumahan digunakan sebagai saluran penampung air hujan serta limbah *greywater* yang berasal dari perumahan warga. Sedangkan untuk pengolahan limbah *blackwater*, masyarakat menyalurkannya ke dalam *septic tank* yang terdapat di masing-masing rumah warga. Kebutuhan air bersih Gampong Jeulingke disuplai oleh PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh. Permasalahan sanitasi Gampong Jeulingke terletak pada pembuangan limbah *greywater* langsung ke saluran drainase dan pembuatan *septic tank* yang mayoritasnya masih menggunakan sistem cubluk yang belum memenuhi standar sehingga dikhawatirkan dapat menyebabkan penurunan kualitas air tanah dan air permukaan sekitar.



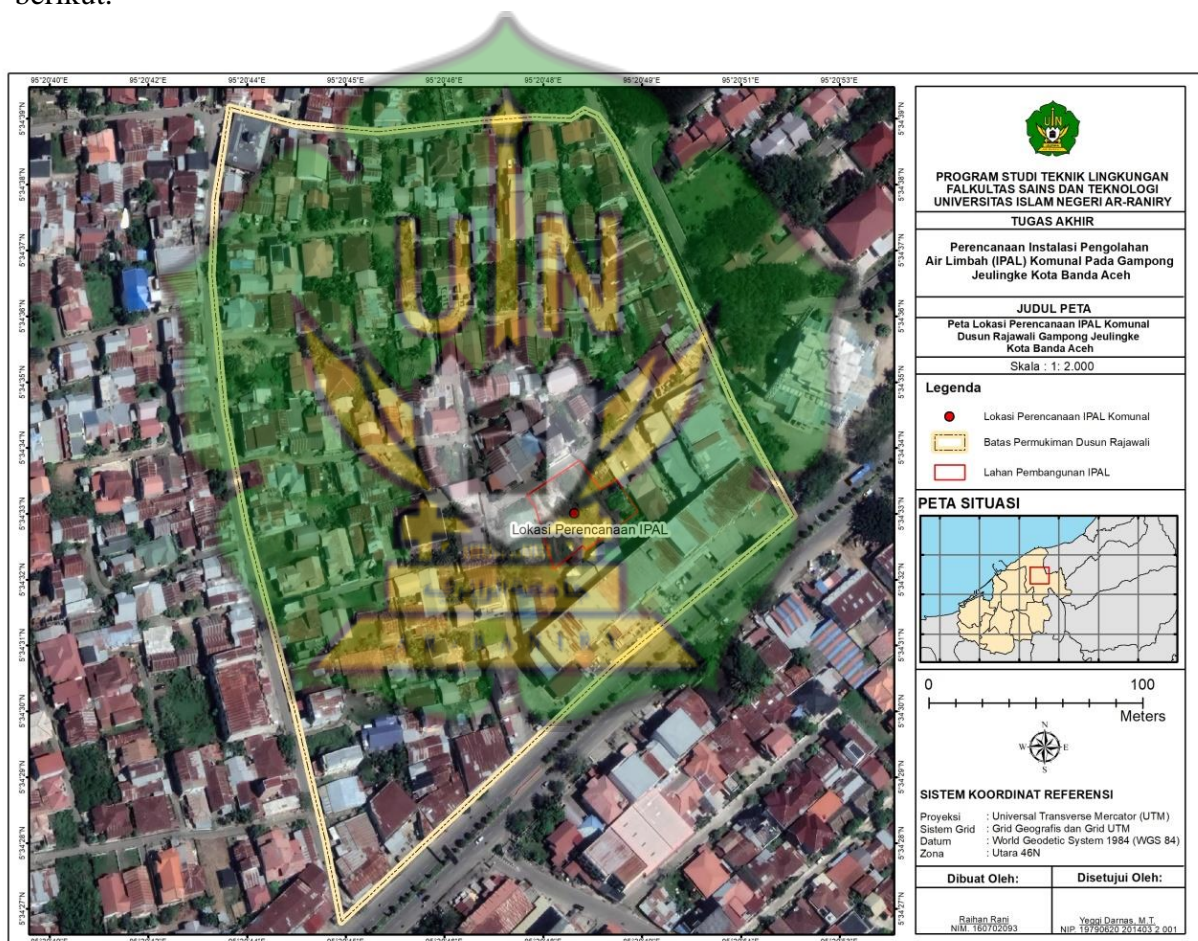
Gambar 2.16. Kondisi Saluran Drainase pada Gampong Jeulingke



Gambar 2.17. Kondisi Cubluk sebagai Tempat Pengolahan Limbah *Blackwater*

2.5.5. Lokasi Perencanaan IPAL Komunal

Lokasi perencanaan IPAL komunal terletak pada Dusun Rajawali yang merupakan wilayah pelayanan yang direncanakan. Pemilihan lokasi perencanaan IPAL komunal dilakukan berdasarkan ketersediaan lahan dan analisis topografi lahan melalui aplikasi *google earth*. Dusun Rajawali memiliki elevasi tanah yang berkisar antara 1 – 4 m sedangkan lokasi IPAL komunal mempunyai elevasi 1 m. Lokasi IPAL memiliki elevasi yang lebih rendah dari wilayah sekelilingnya sehingga memudahkan jaringan perpipaan dengan sistem gravitasi. Lokasi perencanaan IPAL komunal dapat dilihat pada Gambar 2.18. dan Gambar 2.19. berikut.



Gambar 2.18. Peta Lokasi Perencanaan IPAL



Gambar 2.19. Gambaran Lokasi Perencanaan IPAL Komunal pada Gampong Jeulingke



BAB III

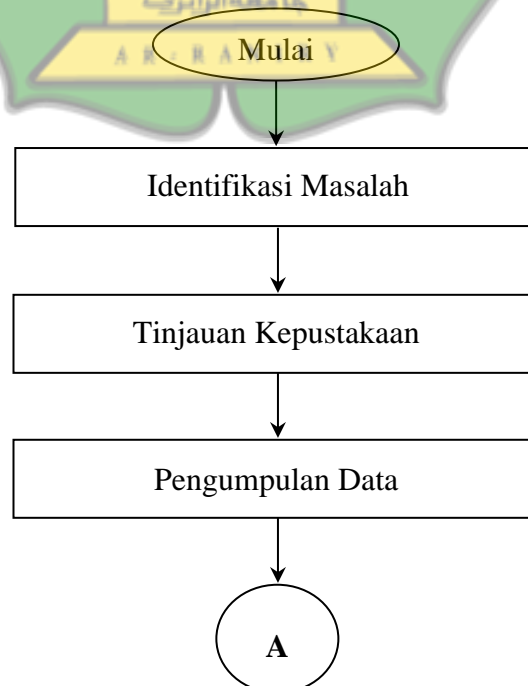
METODOLOGI PERENCANAAN

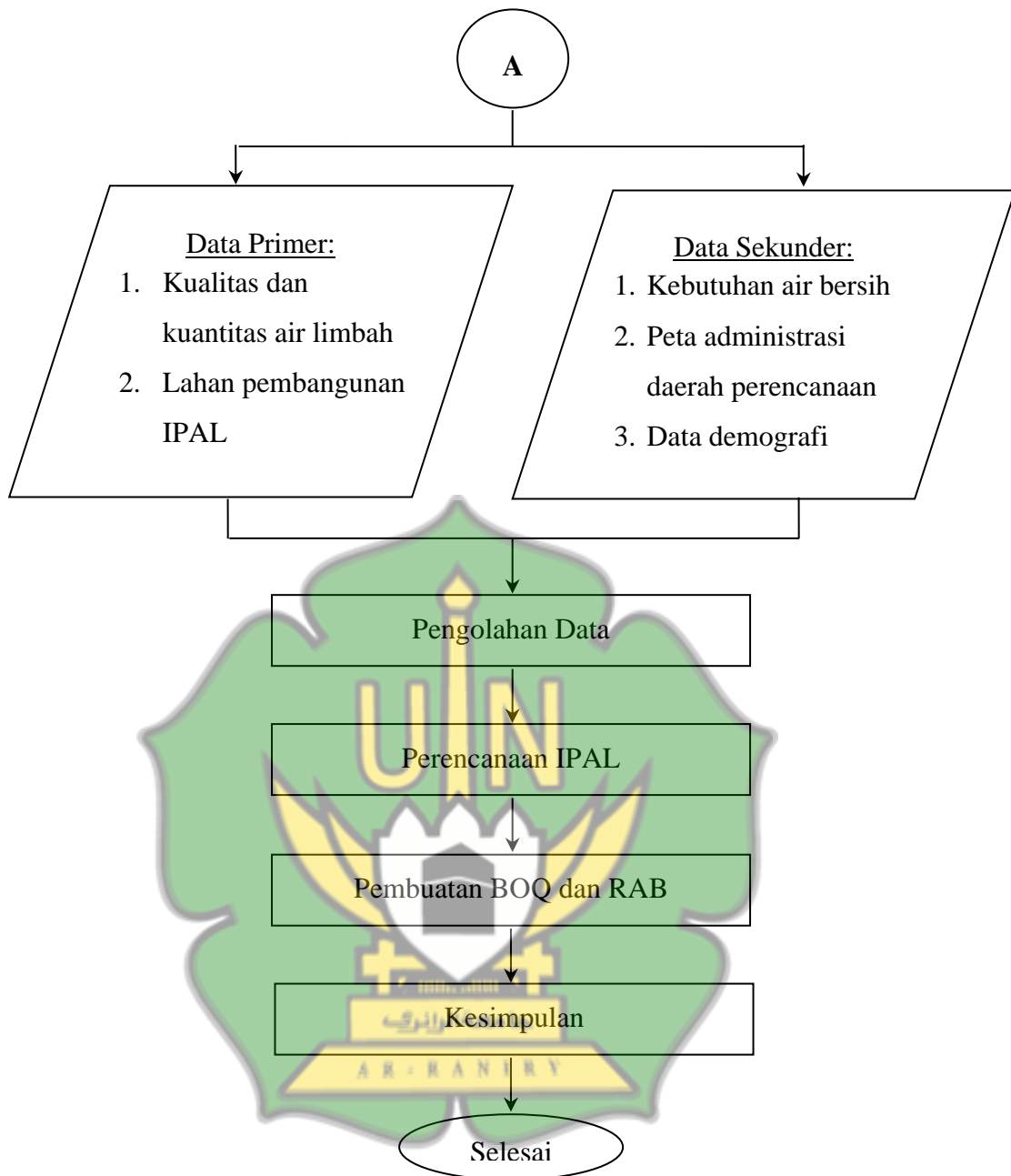
3.1. Umum

Metode perencanaan memainkan peran yang sangat penting dalam sebuah perencanaan. Metode perencanaan melingkupi semua kegiatan dan tahapan yang akan dilakukan dari awal hingga akhir perencanaan. Pada tugas akhir ini akan direncanakan sistem pengolahan air limbah domestik di Desa Jeulingke dengan menggunakan kombinasi metode *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)* dan *Constructed Wetland*. Hasil perencanaan IPAL akan didapatkan dimensi dan gambar DED dari setiap unit IPAL, *Bill of Quantity (BOQ)*, dan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Perencanaan IPAL akan dibuat untuk masa pelayanan 10 tahun ke depan.

3.2. Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan merupakan gambaran tahapan-tahapan yang akan dilakukan dari awal hingga akhir perencanaan. Kerangka perencanaan disusun secara sistematis yang bertujuan untuk mempermudah proses pelaksanaan perencanaan. Kerangka perencanaan yang telah disusun dapat dilihat pada Gambar 3.1. berikut.





Gambar 3. 1. Diagram Alir Perencanaan

3.2.1. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dilakukan untuk mengkaji permasalahan yang terdapat di sekitar daerah perencanaan. Perencanaan ini dilatarbelakangi oleh belum terlaksananya upaya sanitasi secara maksimal yang dapat ditandai dengan belum tersedianya akses masyarakat ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

komunal pada Dusun Rajawali, Desa Jeulingke, sehingga air limbah domestik *greywater* langsung dibuang ke saluran drainase setempat tanpa ada pengolahan terlebih dahulu dan pembuatan *septic tank* yang mayoritasnya masih menggunakan sistem cubluk yang belum memenuhi standar. Oleh karena itu, tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi solusi untuk mencegah terjadinya pencemaran kualitas air dan mengoptimalkan upaya sanitasi dalam meningkatkan kesehatan masyarakat.

3.2.2. Tinjauan Kepustakaan

Tinjauan kepustakaan dilakukan dengan mengkaji berbagai literatur untuk memperoleh teori yang mendukung sebagai panduan dasar perencanaan. Sumber literatur yang digunakan sebagai tinjauan kepustakaan berupa buku, jurnal, artikel ilmiah, skripsi, tesis, disertasi, dan laporan evaluasi yang relevan dengan perencanaan IPAL. Teori-teori yang ditinjau dalam tugas akhir ini meliputi pengetahuan umum mengenai air limbah domestik, IPAL dan perencanaannya, unit pengolahan *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)* dan *Constructed Wetland* serta kriteria desain keduanya, Permen LHK Nomor 68 Tahun 2016 sebagai baku mutu air limbah, dan SSH Pemerintah Aceh 2020 untuk perhitungan RAB perencanaan IPAL.

3.2.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk menunjang proses perencanaan. Data yang dikumpulkan dalam perencanaan ini berupa data primer dan data sekunder.

a. Data primer

Data primer didapatkan berdasarkan kondisi dari daerah rencana. Adapun data primer yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

1. Karakteristik air limbah domestik di Dusun Rajawali.

Data ini diperoleh dari hasil uji laboratorium terhadap sampel air limbah di daerah rencana. Karakteristik air limbah yang diuji meliputi parameter-parameter yang tercantum dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 yaitu parameter BOD, COD, pH, TSS, amonia, dan *total*

coliform. Tahapan pengambilan sampel yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- i. Sampel air limbah diambil pada tiga (3) titik yaitu pada tangki septik dan saluran/pipa pembuangan (*outlet*) rumah warga yang dianggap dapat merepresentasikan daerah rencana.
- ii. Sampel air limbah diambil pada waktu puncak yaitu pada pukul 06.00 WIB sampai dengan 08.00 WIB.
- iii. Sampel air limbah dianalisis di laboratorium untuk mendapatkan nilai dari setiap parameter baku mutu air limbah.

2. Kondisi lokasi rencana untuk lahan pembangunan IPAL

Data ini diperoleh melalui wawancara dan pengamatan langsung di lokasi rencana yang meliputi luas lahan dan elevasi lahan. Luas lahan dan elevasi tanah diukur dengan menggunakan bantuan aplikasi *google earth*.

b. Data sekunder

Data sekunder dikumpulkan sebagai pendukung data primer. Data sekunder didapatkan dari dinas atau instansi pemerintahan. Data-data sekunder yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Jumlah penduduk dan rumah di Dusun Rajawali dari Badan Pusat Statistik Kota Banda Aceh
2. Peta administrasi Dusun Rajawali dari Kantor Keuchik Jeulingke
3. Debit pemakaian air bersih dari PDAM Tirta Daroy
4. Kriteria desain dan efisiensi penurunan masing-masing unit IPAL

3.2.4. Pengolahan data

Pengolahan data yang dilakukan meliputi perhitungan proyeksi penduduk dan analisis kualitas serta estimasi kuantitas (debit) air limbah yang dihasilkan oleh penduduk di daerah rencana.

a. Proyeksi penduduk

Perhitungan proyeksi penduduk dilakukan dengan menggunakan data jumlah penduduk 5 tahun ke belakang untuk mengetahui angka pertumbuhan penduduk di Dusun Rajawali, Gampong Jeulingke, Kota Banda Aceh untuk

periode desain 10 tahun. Proyeksi penduduk dihitung dengan menggunakan metode yang paling tepat berdasarkan nilai standar deviasi terkecil dan koefisien korelasi yang paling mendekati angka satu pada ketiga metode proyeksi penduduk yang digunakan yaitu metode aritmatika, geometri, dan *least square*.

b. Analisis kualitas dan estimasi kuantitas air limbah

Analisis kualitas air limbah dilakukan dengan membandingkan hasil uji sampel air limbah dengan baku mutu air limbah yang terdapat pada Permen LHK Nomor 68 Tahun 2016. Kualitas air limbah yang diperoleh akan dijadikan sebagai nilai parameter inisial dalam menentukan unit pengolahan yang sesuai untuk diterapkan pada perencanaan IPAL.

Estimasi debit air limbah dilakukan berdasarkan persentase pemakaian air bersih per orang per hari. Besarnya air bersih yang akan menjadi air limbah diperkirakan sebanyak 50% hingga 80% dari pemakaian air bersih (Tchobanoglous dan Burton, 1991). Pada tugas akhir ini, asumsi debit air limbah yang digunakan adalah 80% dari pemakaian air bersih. Estimasi debit air limbah yang dilakukan meliputi debit air limbah rata-rata dan debit puncak dengan menggunakan persamaan 2.1 dan persamaan 2.2.

3.2.5. Perencanaan IPAL

Alternatif teknologi pengolahan air limbah ditentukan berdasarkan data kualitas dan kuantitas air limbah yang dihasilkan. Alternatif teknologi pengolahan air limbah yang digunakan dalam perencanaan IPAL ini adalah kombinasi unit *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)* dengan *Constructed Wetland* yang telah dahulu dianalisis kelebihan dan kekurangannya. Perencanaan IPAL dilakukan dengan merujuk pada data-data yang telah didapatkan serta kriteria perencanaan dari setiap unit IPAL yang direncanakan. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut.

- a. Menganalisis karakteristik dan estimasi debit air limbah yang dihasilkan
- b. Melakukan seleksi teknologi pengolahan air limbah yang sesuai
- c. Membuat skema pengolahan pada IPAL yang direncanakan
- d. Menghitung dan membuat diagram kesetimbangan massa

- e. Menyusun *Detail Engineering Design* yang meliputi perhitungan dimensi dan pembuatan gambar dari setiap unit pengolahan yang direncanakan
- f. Membuat rencana *layout* IPAL
- g. Menghitung profil hidrolis

3.2.6. Pembuatan BOQ dan RAB

Pembuatan *Bill of Quantity* (BOQ) bertujuan untuk mengkalkulasikan detail kebutuhan untuk pekerjaan pembangunan IPAL yang meliputi luas, volume, jumlah perpipaan, serta galian dari setiap unit ABR dan *Constructed Wetland* yang direncanakan. Pembuatan BOQ dilakukan berdasarkan hasil perhitungan *Detail Engineering Design* (DED) yang telah dilakukan sebelumnya. Sedangkan pembuatan Rencana Anggaran Biaya (RAB) bertujuan untuk mengkalkulasi dan merekapitulasi seluruh anggaran biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan IPAL. Pembuatan RAB dilakukan dengan mengalikan besaran volume pekerjaan dengan standar satuan harga berdasarkan Peraturan Gubernur Aceh Nomor 28 Tahun 2019 tentang Penetapan Standar Satuan Harga (SSH) Pemerintah Aceh Tahun 2020.

3.2.7. Kesimpulan

Bagian kesimpulan dalam tugas akhir ini berisi ringkasan hasil analisis dan pembahasan yang menjadi tujuan dari perencanaan IPAL yang telah dilakukan serta BOQ dan RAB yang dibutuhkan untuk pembangunan IPAL. Kesimpulan ini diharapkan dapat menjadi informasi ataupun acuan dalam perencanaan IPAL di Dusun Rajawali, Gampong Jeulingke, Kota Banda Aceh.

3.3. Asumsi Perencanaan

Subbab ini berisi uraian asumsi dan kriteria desain yang digunakan dalam perencanaan IPAL. Asumsi dan kriteria desain akan terbagi menjadi asumsi umum dan asumsi khusus. Asumsi umum merupakan asumsi-asumsi umum di luar kriteria desain unit pengolahan yang digunakan dalam perencanaan IPAL ini. Sedangkan asumsi khusus merupakan kriteria desain yang telah ditetapkan untuk perhitungan masing-masing unit pengolahan yang digunakan yaitu *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dan *Constructed Wetland* (CW). Asumsi-asumsi beserta

kriteria desain yang digunakan dalam perencanaan IPAL ini dapat dilihat pada Tabel 3.1. dan Tabel 3.2. berikut.

Tabel 3.1. Asumsi Umum yang Digunakan dalam Perencanaan IPAL

No.	Asumsi	Keterangan
1.	Jumlah hari dalam 1 tahun	365 hari
2.	Jumlah hari dalam 1 bulan	30 hari
3.	Jumlah jam dalam 1 hari	24 jam
4.	Jumlah detik dalam 1 jam	3600 detik
5.	Persentase air limbah	80 % dari pemakaian air bersih
6.	Viskositas kinematik air	$1,3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$
7.	Temperatur dalam ABR	28°C
8.	Nilai koefisien (k)	0,05
9.	Konsentrasi air	95 %
10.	Densitas air (ρ)	1 kg/L
11.	Konsentrasi padatan	5 %
12.	Densitas padatan (ρ)	2,65 kg/L
13.	Diameter partikel (d)	0,005 mm
14.	Nilai f	0,025
15.	Percepatan gravitasi (g)	9,81 m/s ²
16.	Ketebalan dinding	15 cm
17.	Ketebalan pasir urug	10 cm
18.	Ketebalan lantai	15 cm
19.	<i>Freeboard</i>	0,3 – 1,2 m

Tabel 3.2. Kriteria Desain yang Digunakan dalam Perencanaan IPAL

No.	Unit pengolahan	Kriteria desain	Keterangan
1.	<i>Anaerobic Baffled Reactor</i> (ABR)	Debit <i>inflow</i>	2 – 200 m ³ /hari
		<i>Upflow velocity</i>	< 2 m/jam
		Panjang <i>baffled</i>	50 – 60% kedalaman
		<i>Organic Loading Rate</i> (OLR)	< 3 kg COD/m ³ .hari
		<i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT)	12 – 96 jam
		Jarak antar <i>down-pipes</i>	< 75 cm
		Jumlah kompartemen	3 – 6 kompartemen
		Periode pengurasan	1 – 3 tahun
2.	<i>Horizontal Subsurface Constructed Wetland</i> (SSF-CW)	<i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT)	0,5 – 3 hari
		<i>Hydraulic Loading Rate</i> (HLR)	0,2 – 1 m ³ /m ² .hari
		Rasio P : L	4 : 1 – 10 : 1
		Kedalaman media	< 90 cm

BAB IV

HASIL PERENCANAAN

4.1. Proyeksi Penduduk

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal umumnya memerlukan proyeksi penduduk sebagai perkiraan kapasitas desain IPAL yang dibutuhkan hingga akhir periode desain. Periode desain yang digunakan dalam perencanaan IPAL ini adalah 10 tahun yaitu dari tahun 2024 – 2033 dengan *initial years* dari tahun 2021 – 2023 sehingga diperlukan proyeksi jumlah penduduk hingga tahun 2033. Proyeksi penduduk dilakukan untuk mengetahui kuantitas air limbah yang masuk ke unit pengolahan pada IPAL.

Wilayah perencanaan yang akan dihitung proyeksi penduduknya adalah pada Dusun Rajawali yang mempunyai jumlah kepala keluarga sebanyak 193 KK. Proyeksi penduduk pada tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan data jumlah penduduk Dusun Rajawali dari tahun 2017 – 2020 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. berikut.

Tabel 4.1. Jumlah Penduduk Dusun Rajawali Tahun 2017 – 2020

Tahun	Jumlah KK	Jumlah Penduduk (jiwa)
2017	212	718
2018	226	769
2019	185	629
2020	193	650

Sumber: *Profil Gampong Jeulingke Tahun 2020.*

Proyeksi penduduk dilakukan dengan menggunakan salah satu dari tiga metode proyeksi penduduk yaitu metode aritmatika, geometri, dan *least square*. Pemilihan metode proyeksi penduduk dilakukan berdasarkan nilai standar deviasi dan koefisien korelasi yang paling mendekati angka 1 (Kisman, 2007). Hasil perhitungan koefisien korelasi untuk ketiga metode dapat dilihat pada Lampiran 1. berdasarkan hasil perhitungan nilai koefisien korelasi didapatkan metode yang tepat dalam melakukan proyeksi penduduk di Dusun Rajawali adalah dengan menggunakan metode geometri. Adapun hasil perhitungan proyeksi penduduk

Dusun Rajawali pada tahun 2021 – 2033 dapat dilihat pada Tabel 4.2. sebagai berikut.

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Proyeksi Penduduk pada Dusun Rajawali Tahun 2021 - 2033

Tahun	Jumlah Penduduk
2017	718
2018	769
2019	729
2020	750
2021	759
2022	768
2023	777
2024	787
2025	796
2026	806
2027	815
2028	825
2029	835
2030	845
2031	855
2032	865
2033	876

4.2. Kualitas Air Limbah

Air limbah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah *greywater* dan *blackwater* yang berasal dari rumah warga Dusun Rajawali. Sampel air limbah diambil pada tiga rumah warga yaitu pada ujung pipa air buangan (*effluent*) kamar mandi sebagai sampel *greywater* dan pada tangki septik sebagai sampel *blackwater*. Ketiga sampel kemudian dihomogenkan untuk selanjutnya diuji kualitas air limbah. Pengujian sampel air limbah dilakukan oleh analis pada Laboratorium Kesehatan Daerah Dinas Kesehatan Aceh. Hasil pengujian kualitas dari ketiga sampel air limbah yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Kualitas Air Limbah

No.	Titik Sampling	pH	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)	Amonia (mg/L)	Total coliform (MPN/100 mL)
1.	TS 1	7,25	92	154	183	0,9	5700
2.	TS 2	6,32	68	128	169	0,6	4300
3.	TS 3	7,65	83	146	204	1,38	5900
Rata-rata		7,1	81	143	185	0,96	5300
Baku Mutu		6 – 9	30	100	30	10	3000
Keterangan		Sesuai baku mutu	Di atas baku mutu	Di atas baku mutu	Di atas baku mutu	Di bawah baku mutu	Di atas baku mutu

Standar baku mutu yang digunakan dalam Tugas Akhir ini sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Perbandingan antara hasil uji sampel air limbah dengan standar baku mutu air limbah dapat dilihat pada Tabel 4.3. Berdasarkan data hasil pengujian kualitas sampel air limbah pada Tabel 4.3. dapat diketahui bahwa karakteristik air limbah telah melebihi standar baku mutu yang telah ditetapkan. Parameter pH dan amonia merupakan parameter uji kualitas air limbah yang mempunyai konsentrasi yang rendah dan berada di bawah nilai baku mutu. Oleh karena itu diperlukan perencanaan sebuah Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk mengolah air limbah domestik pada Dusun Rajawali supaya kualitas air limbah yang disalurkan ke lingkungan sekitar telah memenuhi persyaratan baku mutu.

4.3. Kuantitas Air Limbah

Perhitungan debit air limbah yang dihasilkan pada wilayah perencanaan dilakukan berdasarkan persentase pemakaian air bersih per orang per hari. Persentase produksi air limbah diasumsikan sebesar 80% dari pemakaian air bersih. Data pemakaian air bersih oleh warga Dusun Rajawali diperoleh dari PDAM Tirta Daroy Kota Banda Aceh. Data pemakaian air bersih bulanan untuk Gampong Jeulingke pada tahun 2020 dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Data Pemakaian Air Bersih Bulanan pada Gampong Jeulingke Tahun 2020

No.	Bulan	Pemakaian air (m ³ /bulan)
1.	Januari	35.056
2.	Februari	31.955
3.	Maret	35.914
4.	April	30.986
5.	Mei	27.102
6.	Juni	25.361
7.	Juli	29.132
8.	Agustus	33.031
9.	September	31.050
10.	Oktober	26.213
11.	November	26.562
12.	Desember	27.576
Rata-rata		29.995

Berdasarkan data pada Tabel 4.5, maka dapat dihitung debit pemakaian air bersih rata-rata Gampong Jeulingke sebagai berikut.

$$Q_{\text{air bersih}} = \frac{\text{rata-rata pemakaian air bersih}}{\text{jumlah penduduk}} \quad (4.1)$$

Dengan debit rata-rata pemakaian air bersih bulanan Gampong Jeulingke sebesar 29.995 m³ dan jumlah penduduk Gampong Jeulingke pada tahun 2020 sebanyak 5.420 orang maka diperoleh debit pemakaian air bersih adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Q_{\text{air bersih}} &= \frac{\text{rata-rata pemakaian air bersih}}{\text{jumlah penduduk}} \\ &= \frac{29.995 \text{ m}^3}{5.420 \text{ orang}} \\ &= 5,53 \text{ m}^3/\text{orang/bulan} \end{aligned}$$

Dengan asumsi dalam 1 bulan ada 30 hari maka debit air bersih per orang per hari adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{air bersih}} &= \frac{5,53 \text{ m}^3/\text{orang/bulan}}{30 \text{ hari}} \\
 &= 0,1845 \text{ m}^3/\text{org/hari} \\
 &= 184,5 \text{ L/org/hari}
 \end{aligned}$$

Setelah diperoleh data pemakaian air bersih rata-rata Gampong Jeulingke sebesar 184,5 L/org/hari. maka dapat dihitung debit air limbah yang dihasilkan pada Dusun Rajawali sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{ave air limbah}} &= 80 \% \cdot Q_{\text{air bersih}} \\
 &= 80 \% \times 0,1845 \text{ m}^3/\text{org/hari} \\
 &= 0,148 \text{ m}^3/\text{org/hari}
 \end{aligned}$$

Dengan hasil proyeksi jumlah penduduk Dusun Rajawali sebanyak 876 orang maka dapat dihitung debit rata-rata harian air limbah yang dihasilkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{ave air limbah}} &= Q_{\text{air bersih}} \times \text{jumlah penduduk} \\
 &= 0,148 \text{ m}^3/\text{org/hari} \times 876 \text{ orang} \\
 &= 129,3 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Debit rencana yang digunakan sebagai debit masuk ke unit pengolahan merupakan debit puncak. Untuk menghitung debit puncak maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan faktor puncak (f_{peak}) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 f_{\text{peak}} &= \frac{18+P^{0,5}}{4+P^{0,5}} \\
 &= \frac{18+876^{0,5}}{4+876^{0,5}} \\
 &= 1,42
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan faktor puncak maka selanjutnya dapat dihitung debit puncak (Q_{peak}) air limbah yang dihasilkan pada Dusun Rajawali sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{peak}} &= f_{\text{peak}} \cdot Q_{\text{ave}} \\
 &= 1,42 \times 129,3 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 183,6 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

4.4. Pemilihan Alternatif Unit Pengolahan

Alternatif unit pengolahan yang digunakan dalam perencanaan IPAL ini ada tiga yaitu alternatif pertama berupa kombinasi unit pengolahan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dengan *Constructed Wetland* (CW), alternatif kedua berupa kombinasi unit pengolahan *Anaerobic Biofilter* (ABF) dengan *Constructed Wetland* (CW), dan alternatif ketiga berupa kombinasi unit pengolahan *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) dengan *Constructed Wetland* (CW). Pemilihan alternatif kombinasi unit pengolahan yang digunakan dalam perencanaan IPAL ini didasarkan pada beberapa kriteria yaitu efisiensi penurunan BOD, beban organik, bau pada effluent, beban hidrolis, pengolahan lumpur, operasional, kebutuhan area, kebutuhan energi. Matriks pemilihan ketiga kombinasi unit pengolahan dapat dilihat pada Tabel 4.5. berikut.

Tabel 4.5. Matriks Pemilihan Kombinasi Unit Pengolahan

Kriteria Pemilihan	ABR dan CW	ABF dan CW	UASB dan CW
Efisiensi penurunan BOD	80% – 95%	80% – 95%	85% – 95%
Beban organik	Fleksibel	Fleksibel	Kurang fleksibel
Bau pada <i>effluent</i>	Tidak berbau	Tidak berbau	Tidak berbau
Beban hidrolis	Fleksibel	Fleksibel	Kurang fleksibel
Pengolahan lumpur	Dapat langsung stabilisasi	Dapat langsung stabilisasi	Dapat langsung stabilisasi
Operasional	Tidak sulit	Cukup sulit	Cukup sulit
Kebutuhan area	Luas lahan lebih kecil	Luas lahan kecil	Luas lahan lebih besar
Kebutuhan energi	Relatif lebih kecil	Relatif kecil	Biaya listrik besar yang disebabkan oleh penggunaan alat mekanis

Sumber: Sakinah, 2018

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa kombinasi unit pengolahan *Anaerobic Baffled Reactor* dengan *Constructed Wetland* mempunyai beberapa keunggulan seperti operasional unit pengolahan yang tidak sulit, tingkat kebutuhan area dan energi yang lebih kecil dibandingkan dengan dua alternatif unit pengolahan lainnya sehingga alternatif kombinasi *Anaerobic Baffled Reactor*

dengan *Constructed Wetland* akan digunakan sebagai unit pengolahan dalam perencanaan IPAL ini.

4.5. Perhitungan Unit Pengolahan

4.5.1. *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR)

Unit pengolahan yang direncanakan merupakan unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) yang terintegrasi dengan bak pengendap sehingga desain unit ABR akan meliputi dua zona, yaitu zona pengendapan dan zona kompartemen. Perhitungan dimensi ABR adalah sebagai berikut.

Karakteristik rencana:

Jumlah penduduk terlayani IPAL = 876 orang

Q_{ave} = 129,3 m³/hari

Q_{peak} = 183,6 m³/hari

BOD_{in} = 81 mg/L

COD_{in} = 143 mg/L

TSS_{in} = 185 mg/L

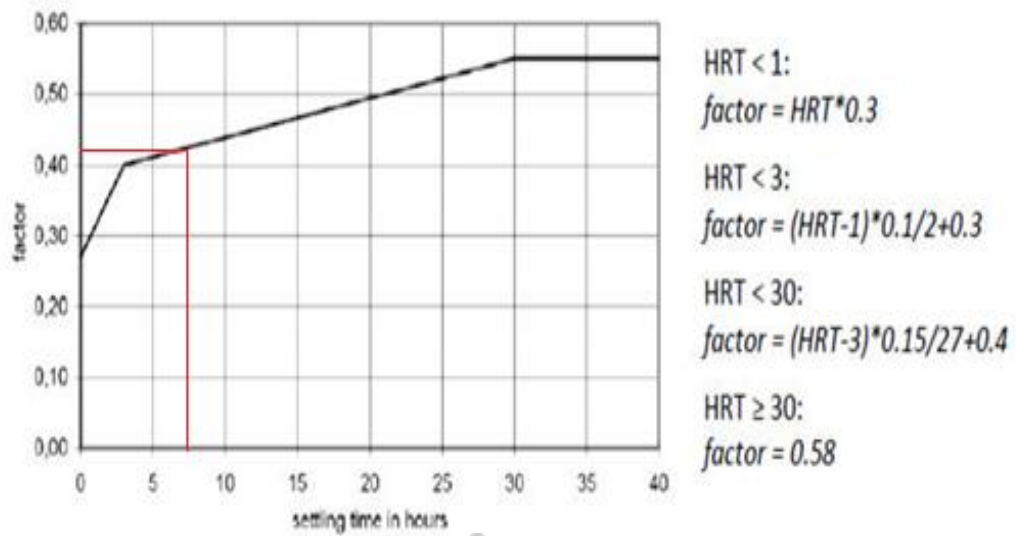
Temperatur = 28 °C

a. Efisiensi penyisihan

Langkah awal yang dilakukan untuk merencanakan sebuah IPAL adalah perkiraan efisiensi penyisihan polutan. Penyisihan akan terjadi pada dua tempat yaitu bak pengendap dan kompartemen.

- Bak pengendap

Efisiensi penyisihan COD dapat diketahui melalui faktor penyisihan COD. Faktor penyisihan COD dapat ditentukan melalui grafik faktor penyisihan COD terhadap HRT pada zona pengendapan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Hubungan antara Faktor Penyisihan COD terhadap HRT pada Bak Pengendap

Sumber: Götzenberger, 2009

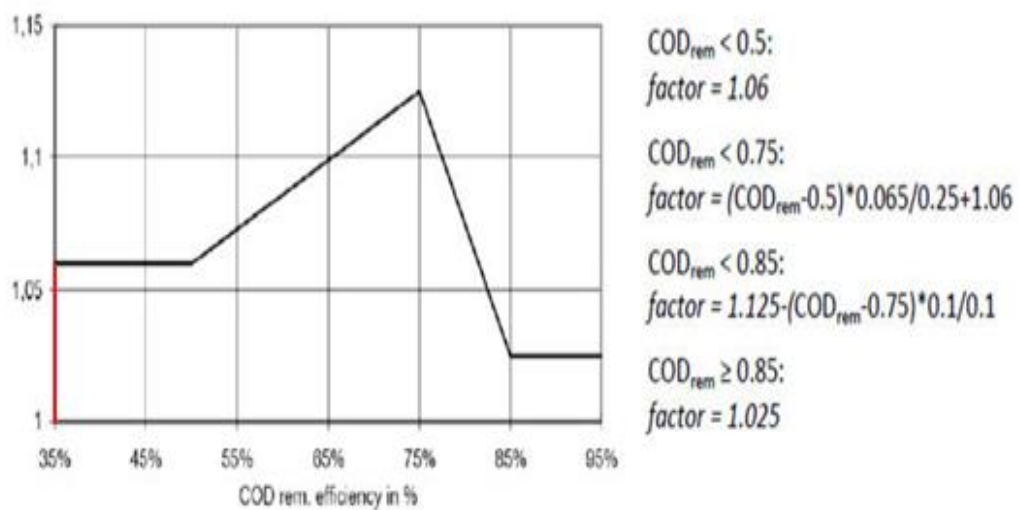
Pada perencanaan ini HRT yang direncanakan adalah 7 jam sehingga diperoleh faktor penyisihan COD sebesar 0,42 dan rasio SS/COD yang digunakan sebesar 0,4 maka untuk mengetahui efisiensi penyisihan COD dapat dihitung melalui persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{rem}} &= \frac{\text{faktor penyisihan COD} \times \text{rasio SS/COD}}{0,6} \times 100\% \\ &= \frac{0,42 \times 0,4}{0,6} \times 100\% \\ &= 28\% \end{aligned}$$

Dengan diketahui persentase penyisihan COD sebesar 28% maka konsentrasi COD pada air limbah yang akan masuk ke zona kompartemen adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{out}} &= (100 - 28) \% \times \text{COD}_{\text{in}} \\ &= 0,72 \times 143 \text{ mg/L} \\ &= 102,96 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui efisiensi penyisihan BOD maka perlu diketahui faktor penyisihan BOD. Faktor penyisihan BOD dapat diketahui melalui grafik faktor penyisihan BOD terhadap persentase penyisihan COD pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Hubungan antara Faktor Penyisihan BOD terhadap Persentase Penyisihan COD

Sumber: Götzenberger, 2009

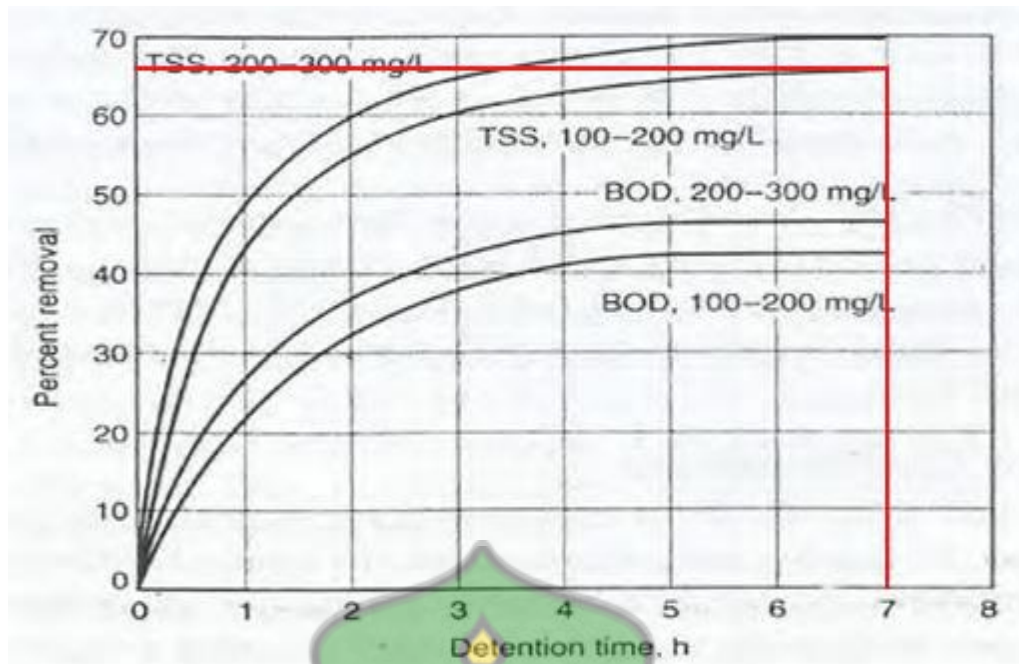
Dengan menggunakan persentase penyisihan COD sebesar 28% maka diperoleh faktor penyisihan BOD sebesar 1,06 sehingga persentase penyisihan BOD adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 BOD_{rem} &= \text{faktor penyisihan BOD} \times \text{persentase penyisihan COD} \\
 &= 1,06 \times 28\% \\
 &= 29,7\%
 \end{aligned}$$

Dengan diketahui persentase penyisihan BOD sebesar 29,68% maka konsentrasi BOD pada air limbah yang akan masuk ke zona kompartemen adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 BOD_{out} &= (100 - 29,7)\% \times BOD_{in} \\
 &= 0,703 \times 81 \text{ mg/L} \\
 &= 56,96 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Efisiensi penyisihan TSS pada bak pengendap dapat diketahui melalui grafik pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Hubungan antara Efisiensi Penyisihan BOD dan TSS terhadap Waktu

Sumber: Sachit, D. E., 2019

Dengan menggunakan waktu detensi (HRT) pada bak pengendap selama 7 jam dan konsentrasi TSS pada air limbah yang masuk ke bak pengendap sebesar 185 mg/L maka diperoleh efisiensi penyisihan TSS pada bak pengendap sebesar 66% sehingga konsentrasi TSS pada air limbah yang akan masuk ke zona kompartemen adalah sebagai berikut.

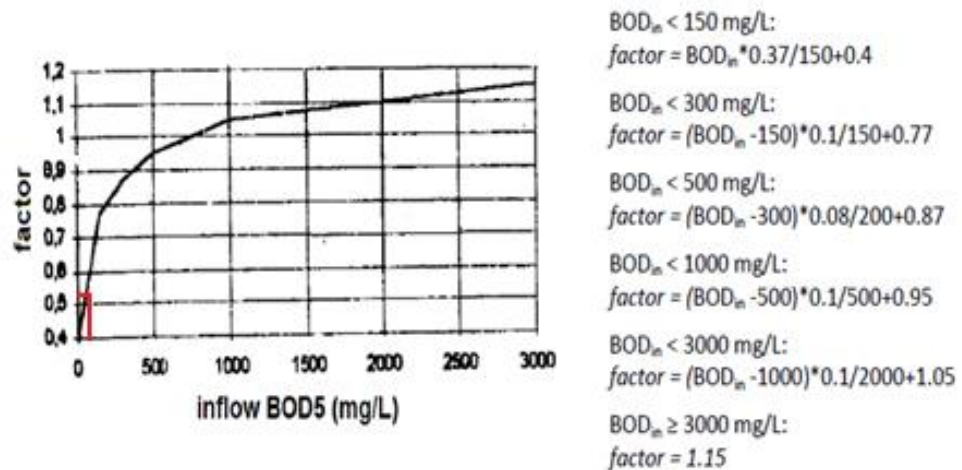
$$\begin{aligned}
 \text{TSS}_{\text{out}} &= (100 - 66)\% \times \text{TSS}_{\text{in}} \\
 &= 0,34 \times 185 \text{ mg/L} \\
 &= 62,9 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

- Zona kompartemen

Penentuan efisiensi penyisihan COD pada zona kompartemen dipengaruhi oleh lima faktor yaitu faktor *strength*, OLR, jumlah kompartemen, temperatur, dan HRT.

- Faktor *strength*

Faktor *strength* merupakan faktor efisiensi penyisihan BOD yang dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi BOD pada air limbah. Penentuan faktor *strength* dapat dilakukan melalui grafik pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Hubungan antara Faktor Penyisihan BOD terhadap Konsentrasi BOD Air Limbah

Sumber: Götzenberger, 2009

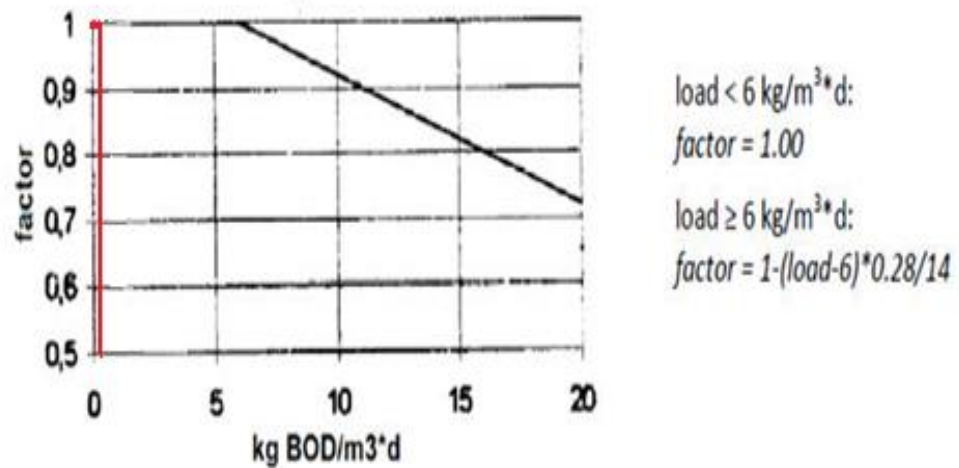
Konsentrasi BOD pada air limbah yang masuk ke zona kompartemen adalah 56,96 mg/L sehingga diperoleh faktor *strength* sebesar 0,54.

➤ Faktor OLR

Faktor *Organic Loading Rate* (OLR) merupakan faktor efisiensi penyisihan BOD terhadap beban massa BOD yang terdapat dalam air limbah. Penentuan faktor OLR dapat dilakukan dengan cara memplotkan nilai OLR BOD yang masuk ke zona kompartemen melalui grafik pada Gambar 4.5. Nilai OLR BOD pada air limbah yang masuk ke zona kompartemen adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 OLR_{BOD} &= \frac{Q \times BOD_{in}}{\text{Volume aktif zona kompartemen}} \\
 &= \frac{183,6 \text{ m}^3/\text{hari} \times 56,96 \text{ mg/L}}{102 \text{ m}^3} \\
 &= 102,5 \text{ mg/L. hari} \\
 &= 0,1 \text{ kg/m}^3. \text{ Hari}
 \end{aligned}$$

Nilai OLR BOD pada air limbah yang masuk ke zona kompartemen diperoleh sebesar 0,1 kg/m³.hari. Berdasarkan grafik pada gambar 4.5. dapat diketahui bahwa nilai faktor OLR BOD dengan *loading rate* kurang dari 6 kg/m³.hari adalah 1.

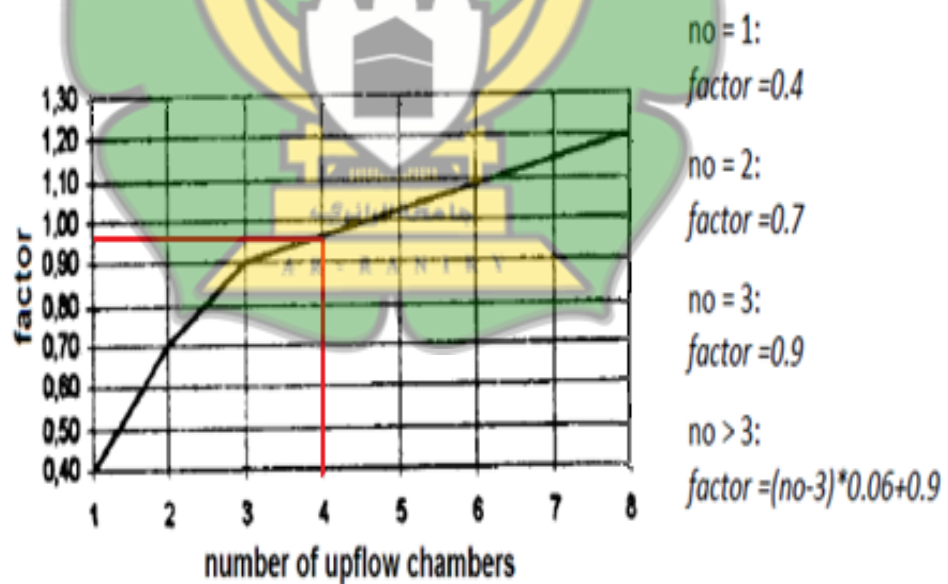


Gambar 4.5. Hubungan antara Faktor Penyisihan BOD terhadap *Organic Loading Rate (OLR)*

Sumber: Götzenberger, 2009

➤ Faktor jumlah kompartemen

Penentuan faktor penyisihan BOD berdasarkan jumlah kompartemen dapat dilakukan melalui grafik pada gambar 4.6. berikut.



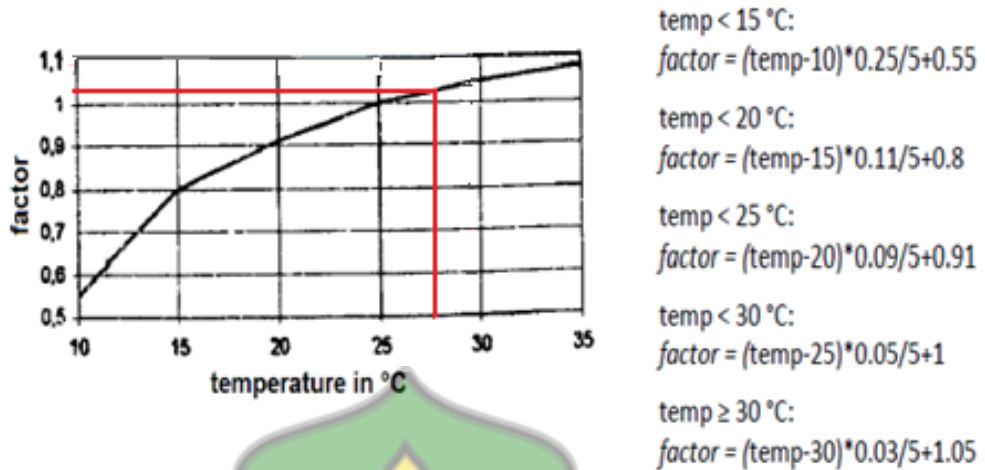
Gambar 4.6. Hubungan antara Faktor Penyisihan BOD terhadap Jumlah Kompartemen

Sumber: Götzenberger, 2009

Jumlah kompartemen yang direncanakan pada perencanaan ini adalah 4 kompartemen sehingga diperoleh faktor penyisihan BOD sebesar 0,96.

➤ Faktor temperatur

Penentuan faktor penyisihan BOD berdasarkan temperatur dapat dilakukan melalui grafik pada Gambar 4.7. berikut.



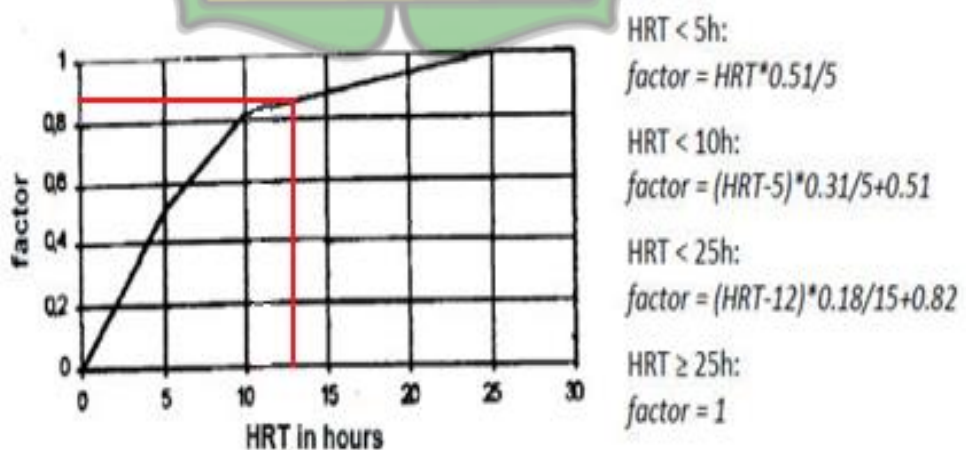
Gambar 4.7. Hubungan antara Faktor Penyisihan BOD terhadap Temperatur Air Limbah

Sumber: Götzenberger, 2009

Temperatur air limbah yang direncanakan dalam perencanaan ini adalah 28°C sehingga diperoleh faktor penyisihan BOD oleh temperatur sebesar 1,03.

➤ Faktor HRT

Penentuan faktor HRT dapat dilakukan melalui grafik pada Gambar 4.8. berikut.



Gambar 4.8. Hubungan antara Faktor Penyisihan BOD terhadap HRT

Sumber: Götzenberger, 2009

HRT yang telah dihitung pada zona kompartemen adalah 13,64 jam sehingga diperoleh faktor HRT sebesar 0,84.

Berdasarkan kelima faktor yang telah diperoleh maka dapat diketahui nilai efisiensi penyisihan COD secara teori adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{rem}} (\text{teori}) &= f. \textit{strength} \times f. \text{OLR} \times f. \text{kompartemen} \times f. \text{temperatur} \times f. \text{HRT} \\ &= 0,54 \times 1 \times 0,96 \times 1,03 \times 0,84 \\ &= 0,534 \\ &= 53,4 \% \end{aligned}$$

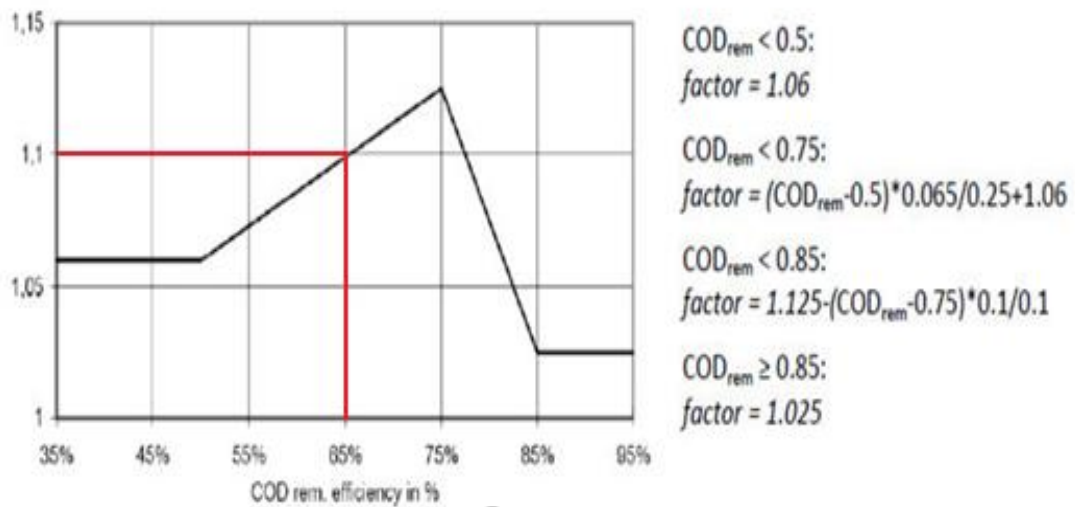
Penyisihan COD yang terjadi pada zona kompartemen adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{rem}} &= \text{COD}_{\text{rem}} \text{ teori} \times [1 - 0,37 \times (\text{COD}_{\text{rem}} \text{ teori} - 0,8)] \\ &= 53,4 \% \times [1 - 0,37 (53,4 \% - 0,8)] \\ &= 0,587 \\ &= 58,7 \% \end{aligned}$$

Dengan diketahui persentase penyisihan COD sebesar 58,7% maka konsentrasi COD pada *effluent* zona kompartemen adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{out}} &= (100 - 58,7)\% \times \text{COD}_{\text{in}} \\ &= 0,413 \times 102,96 \text{ mg/L} \\ &= 42,5 \text{ mg/L (OK, sesuai baku mutu: } < 100 \text{ mg/L)} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui efisiensi penyisihan BOD secara keseluruhan pada kompartemen maka perlu diketahui faktor penyisihan BOD. Faktor penyisihan BOD dapat diketahui melalui grafik faktor penyisihan BOD terhadap persentase penyisihan COD seperti pada gambar 4.9.



Gambar 4.9. Hubungan antara Faktor Penyisihan BOD terhadap Persentase Penyisihan COD

Sumber: Götzenberger, 2009

Dengan menggunakan persentase penyisihan COD sebesar 65% maka diperoleh faktor penyisihan BOD sebesar 1,1 sehingga total persentase penyisihan BOD adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Total } BOD_{rem} &= \text{faktor penyisihan BOD} \times \text{persentase penyisihan COD} \\
 &= 1,1 \times 58,7\% \\
 &= 64,6\%
 \end{aligned}$$

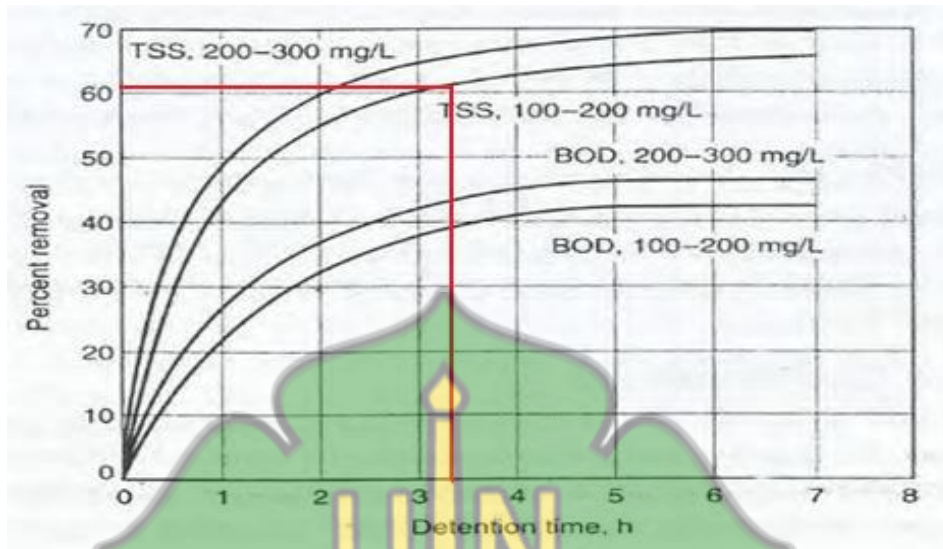
Dengan diketahui total persentase penyisihan BOD sebesar 64,6% maka konsentrasi BOD pada *effluent* zona kompartemen adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 BOD_{out} &= (100 - 64,6)\% \times BOD_{in} \\
 &= 0,354 \times 56,96 \text{ mg/L} \\
 &= 20,2 \text{ mg/L (OK, sesuai baku mutu: } < 30 \text{ mg/L)}
 \end{aligned}$$

Penyisihan BOD mempunyai persentase yang lebih tinggi dibandingkan dengan penyisihan COD. Hal ini dikarenakan unit ABR merupakan unit pengolahan air limbah yang terjadi secara biologis.

Penentuan efisiensi penyisihan TSS pada zona kompartemen dapat dilakukan melalui grafik pada Gambar 4.10. HRT pada tiap-tiap kompartemen adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{HRT tiap kompartemen} &= \frac{\text{HRT kompartemen}}{\text{jumlah kompartemen}} \\
 &= \frac{13,33 \text{ jam}}{4} \\
 &= 3,33 \text{ jam}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.10. Hubungan antara Efisiensi Penyisihan BOD dan TSS terhadap Waktu

Sumber: Sachit, D. E., 2019

Dengan menggunakan waktu detensi (HRT) pada tiap-tiap kompartemen selama 3,33 jam dan konsentrasi TSS pada air limbah yang masuk ke zona kompartemen sebesar 62,9 mg/L maka diperoleh efisiensi penyisihan TSS pada setiap kompartemen sekitar 61%.

b. Perhitungan Dimensi Kompartemen

Kriteria desain:

$$Q = 2 - 200 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$v_{up} = < 2 \text{ m/jam}$$

$$\text{HRT} = 12 - 96 \text{ jam}$$

$$\text{Panjang baffle} = 50 - 60 \% \text{ dari kedalaman}$$

$$\text{OLR} = < 3 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari}$$

Direncanakan:

Kedalaman aktif (D)	= 3 m
Upflow velocity (V_{up})	= 0,9 m/jam
Debit puncak (Q_{peak})	= 183,6 m ³ /hari
Jumlah kompartemen (n)	= 4 buah

Pada unit ABR ini ditetapkan proses pengolahan terjadi secara kontinu maka waktu operasional ABR adalah 24 jam sehingga debit air limbah yang masuk ke unit ABR adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Q &= Q_{peak} / 24 \text{ jam} \\
 &= 183,6 \text{ m}^3/\text{hari} / 24 \text{ jam} \\
 &= 7,65 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Panjang kompartemen (*baffle*) tidak boleh lebih dari 50 – 60% kedalaman kompartemen. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya *short flow* yang dapat mengakibatkan kurang optimalnya degradasi air limbah. Kedalaman unit ABR yang direncanakan adalah 3 m dan panjang kompartemen yang dipilih adalah 55% dari kedalaman sehingga panjang satu kompartemen menjadi:

$$\begin{aligned}
 P &= 55\% \times h \\
 &= 55\% \times 3\text{m} \\
 &= 1,65 \text{ m} \approx 1,7 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Luas permukaan untuk satu kompartemen (*baffled area*) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{Q_{ave}}{v_{up}} \\
 &= \frac{7,65 \text{ m}^3/\text{jam}}{0,9 \text{ m/jam}} \\
 &= 8,5 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Lebar kompartemen dapat ditentukan melalui persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{A}{P} \\
 &= \frac{8,5 \text{ m}^2}{1,7 \text{ m}} \\
 &= 5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Total volume aktif zona kompartemen adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V &= P \times L \times H \times \text{jumlah kompartemen} \\ &= 1,7 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 4 \\ &= 102 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

HRT dalam zona kompartemen adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{HRT} &= \frac{\text{total volume aktif zona kompartemen}}{\text{debit influent}} \\ &= \frac{102 \text{ m}^3}{7,65 \text{ m}^3/\text{jam}} \\ &= 13,33 \text{ jam} \end{aligned}$$

Cek kesesuaian kecepatan *upflow* dengan kriteria desain

$$\begin{aligned} V_{\text{up}} &= \frac{\text{debit influent}}{\text{luas per kompartemen}} \\ &= \frac{7,65 \text{ m}^3/\text{jam}}{8,5 \text{ m}^2} \\ &= 0,9 \text{ m/jam (OK, sesuai kriteria: } < 2 \text{ m/jam)} \end{aligned}$$

Pada perencanaan ini menggunakan jenis pengaliran air limbah antar kompartemen berupa *downpipes*. Berdasarkan DEWATS (2009), jarak antar pipa pengalir adalah kurang dari 75 cm. Penentuan jumlah pipa yang dapat digunakan sebagai *downpipes* berhubungan dengan kecepatan penggerusan (*scouring velocity*) di mana kecepatan pada pipa pengalir tidak boleh melebihi kecepatan penggerusan. Hal ini bertujuan untuk mencegah endapan lumpur yang ada dalam kompartemen untuk larut kembali dengan air limbah. Pada perencanaan ini, pipa yang digunakan untuk pengaliran air limbah antarkompartemen pipa berukuran 5 inci yang berjumlah 7 pipa dengan jarak antar pipa adalah 50 cm (OK, memenuhi kriteria < 75cm).

Diketahui:

$$\begin{aligned} Q \text{ air limbah} &= 183,6 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 2,1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

$$\text{Nilai koefisien (k)} = 0,05$$

$$\text{Densitas padatan } (\rho) = 2,65 \text{ kg/L}$$

$$\text{Percepatan gravitasi (g)} = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Diameter partikel (d)	= 0,005 mm = 5×10^{-6} m
Nilai f	= 0,025
Diameter pipa (D)	= pipa 5 inci (diameter dalam 129,2 mm) = 0,1292 m
Jumlah pipa (n)	= 7 buah

Kecepatan penggerusan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{scouring} &= \left(\frac{8k(\rho-1)g \cdot d}{f} \right)^{0,5} \\
 &= \left(\frac{8(0,05)(2,65-1)9,81 \cdot 5 \times 10^{-6}}{0,025} \right)^{0,5} \\
 &= 0,036 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Luas penampang pipa (A) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\pi D^2}{4} \\
 &= \frac{3,14 \times 0,1292^2}{4} \\
 &= 0,0131 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Kecepatan dalam pipa pengalir adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{\text{pipa}} &= \frac{Q/n}{A} \\
 &= \frac{(2,1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det})/7}{0,0131 \text{ m}^2} \\
 &= 0,023 \text{ m/s} \quad (\text{OK, sesuai syarat: } < 0,036 \text{ m/s})
 \end{aligned}$$

Unit ABR akan berfungsi dengan normal apabila aliran air limbah bersifat laminar ketika bergerak dari satu kompartemen ke kompartemen selanjutnya. Aliran laminar diperoleh apabila Bilangan Reynold (Re) adalah kurang dari 2300. Perhitungan Bilangan Reynold dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} = \frac{Q D}{\nu A} \quad (4.3)$$

Dimana:

- ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)
 V = kecepatan aliran (m/s)
 D = diameter pipa (m)
 μ = viskositas dinamis ($\text{Pa}\cdot\text{s} = \text{Ns/m}^2 = \text{kg/ms}$)
 ν = viskositas kinematik (m^2/det)
 Q = debit (kg/m^3)
 A = luas permukaan pipa (m^2)

Dengan viskositas kinematik air adalah $1,3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$ dan diameter dalam pipa dari pengalir yang digunakan adalah 105,8 mm atau 0,11 m. Debit air limbah yang mengalir pada tiap-tiap-pipa pengalir adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{tiap pipa}} &= \frac{Q}{\text{jumlah pipa}} \\
 &= \frac{2,1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}}{7} \\
 &= 3 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{det}
 \end{aligned}$$

Dengan luas penampang pipa sebesar $0,0131 \text{ m}^2$ maka Bilangan Reynold adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{QD}{\nu A} \\
 &= \frac{3 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \times 0,1292 \text{ m}}{1,3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \times 0,0131 \text{ m}^2} \\
 &= 2276 \quad (\text{OK, sesuai kriteria: } Re < 2300)
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Dimensi Bak Pengendap

HRT pada bak pengendap direncanakan selama 8 jam. Lebar dan kedalaman pada bak pengendap disesuaikan dengan dimensi kompartemen yang telah direncanakan yaitu:

- Lebar = 5 m
- Kedalaman = 3 m

Selanjutnya panjang bak pengendap dapat dihitung dengan cara berikut.

$$P = \frac{Q_{\text{peak}} \times \text{HRT}}{\text{Lebar} \times \text{Kedalaman}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{7,65 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8 \text{ jam}}{5 \text{ m} \times 3 \text{ m}} \\
 &= 4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka volume aktif bak pengendap adalah

$$\begin{aligned}
 V_s &= P \times L \times H \\
 &= 4 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \\
 &= 60 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dengan diketahui volume aktif bak pengendap sebesar 60 m^3 maka selanjutnya dapat dihitung volume ruang lumpur. Menurut Purnawan (2019), volume ruang lumpur adalah sebesar 10% dari volume bak rencana sehingga diperoleh volume ruang lumpur sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 V_{\text{ruang lumpur}} &= 60 \text{ m}^3 \times 10\% \\
 &= 6 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Ruang lumpur direncanakan berbentuk limas terpancung di mana panjang dan lebar pada sisi bagian atas berbeda dengan panjang dan lebar pada sisi bagian dasar. Ruang lumpur direncanakan dengan dimensi bagian atas mempunyai lebar yang sama dengan lebar bak secara keseluruhan yaitu 5 m, sedangkan panjang ruang lumpur direncanakan sebesar 2 m dengan kedalaman sebesar 1 m. Kriteria desain kemiringan dinding ruang lumpur adalah $45 - 60^\circ$ sehingga pada perencanaan ini dipilih sudut kemiringan dinding ruang lumpur sebesar 59° sehingga diperoleh dimensi bagian dasar ruang lumpur dengan lebar dasar menjadi 3,8 m dan panjang dasar ruang lumpur menjadi 0,8 m. Dengan diperoleh dimensi ruang lumpur rencana maka dapat dihitung volume ruang lumpur yang baru dengan menggunakan rumus volume limas terpancung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume}_{\text{ruang lumpur}} &= \frac{1}{3} h (A_{\text{sisi atas}} + A_{\text{sisi bawah}} + \sqrt{A_{\text{sisi atas}} \times A_{\text{sisi bawah}}}) \\
 &= \frac{1}{3} \times 1 \text{ m} (2 \text{ m} \times 5 \text{ m} + 0,8 \text{ m} \times 3,8 \text{ m} + \sqrt{2 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 3,8 \text{ m}}) \\
 &= \frac{1}{3} \times 1 \text{ m} (10 \text{ m}^2 + 3,04 \text{ m}^2 + \sqrt{10 \text{ m}^2 \times 3,04 \text{ m}^2}) \\
 &= \frac{1}{3} \text{ m} (13,04 \text{ m}^2 + \sqrt{13,04 \text{ m}^2}) \\
 &= 5,55 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dengan diperolehnya volume ruang lumpur maka dapat dihitung volume bak pengendap secara keseluruhan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V_{\text{total bak pengendap}} &= V_{\text{aktif bak pengendap}} + V_{\text{ruang lumpur}} \\ &= 60 \text{ m}^3 + 5,55 \text{ m}^3 \\ &= 65,55 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

HRT dalam bak pengendap adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{HRT} &= \frac{\text{Total volume bak pengendap}}{\text{debit influent}} \\ &= \frac{65,55 \text{ m}^3}{7,65 \text{ m}^3 / \text{jam}} \\ &= 8,57 \text{ jam} \end{aligned}$$

d. Dimensi ABR

Dimensi ABR secara keseluruhan merupakan gabungan dari dimensi bak pengendap dengan bak kompartemen. Dimensi ABR dapat dilihat seperti berikut.

- Panjang ABR = $P_{\text{pengendap}} + (P_{\text{kompartemen}} \times \text{jumlah kompartemen})$
 $= 4 \text{ m} + (1,7 \text{ m} \times 4)$
 $= 10,8 \text{ m}$
- Lebar ABR = 5 m
- Kedalaman ABR = 3 m + 0,5 m *freeboard* + 1 m kedalaman pada ruang lumpur

Dari dimensi yang telah diperoleh maka volume aktif ABR adalah

$$\begin{aligned} V_{\text{ABR}} &= P_{\text{ABR}} \times L_{\text{ABR}} \times H_{\text{ABR}} \\ &= 10,8 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \\ &= 162 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Bila volume ABR ditambah dengan volume ruang lumpur maka diperoleh volume ABR secara keseluruhan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V_{\text{ABR total}} &= V_{\text{ABR}} + V_{\text{ruang lumpur}} \\ &= 162 \text{ m}^3 + 5,55 \text{ m}^3 \\ &= 167,55 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Cek kesesuaian HRT ABR hasil perhitungan dengan kriteria desain adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{HRT}_{\text{ABR}} &= \frac{\text{Total volume aktif ABR}}{\text{debit influent}} \\ &= \frac{167,55 \text{ m}^3}{7,65 \text{ m}^3 / \text{jam}} \\ &= 21,90 \text{ jam} \quad (\text{OK, sesuai kriteria: } 12 - 96 \text{ jam}) \end{aligned}$$

Dengan ketebalan dinding yang direncanakan sebesar 25 cm maka luas lahan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Panjang total ABR} &= \text{panjang ABR} + 6 \text{ ketebalan dinding} \\ &= 10,8 \text{ m} + 6 (0,25 \text{ m}) \\ &= 12,3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar total ABR} &= \text{lebar ABR} + 2 \text{ ketebalan dinding} \\ &= 5 \text{ m} + 2 (0,25 \text{ m}) \\ &= 5,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka luas lahan yang dibutuhkan untuk pembangunan unit ABR adalah

$$\begin{aligned} A_{\text{lahan}} &= P_{\text{total ABR}} \times L_{\text{total ABR}} \\ &= 12,3 \text{ m} \times 5,5 \text{ m} \\ &= 67,65 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan unit pengolahan ABR dapat dilihat pada Tabel 4.6. sedangkan gambar DED beserta potongan pada unit pengolahan ABR dapat dilihat pada Lampiran 5.

Tabel 4.6. Perhitungan Dimensi Unit ABR

Sheet data awal untuk perhitungan Anaerobic Baffled Reactor (ABR)														
Q peak harian	Waktu pengaliran air limbah	Q per jam	BOD in	COD in	TSS in	Rasio COD/BOD	Rasio SS/COD	Temperatur	Waktu pengurasan lumpur	HRT bak pengendap	Organic Loading Rate (OLR)			
ditentukan	ditentukan	dihitung	ditentukan	ditentukan	ditentukan	dihitung	ditentukan	ditentukan	ditentukan	ditentukan	Dihitung			
m ³ /hari	jam	m ³ /jam	mg/L	mg/L	mg/L	-	-	°C	bulan	Jam	kg BOD/m ³ .hari			
183,6	24	7,65	81	143	185	1,765	0,42	28	24	7	0,1			
							0,35 - 0,45				< 3 kg BOD/m ³ .hari			
Pengolahan data														
Persentase penyisihan COD pada bak pengendap	Persentase penyisihan BOD pada bak pengendap	Persentase penyisihan TSS pada bak pengendap	Kualitas influent kompartemen			Faktor yang mempengaruhi perhitungan penyisihan COD pada kompartemen					Persentase penyisihan COD pada kompartemen	Persentase penyisihan BOD pada kompartemen	Persentase penyisihan TSS pada kompartemen	
dihitung	Dihitung	Dihitung	BOD	COD	TSS	Dihitung berdasarkan grafik					Dihitung	Dihitung	Dihitung	
%	%	%	mg/L	mg/L	mg/L	f - strength	f - OLR	f - kompartemen	f - temperatur	f - HRT	%	%	%	
28	29,7	66	56,96	102,96	62,9	0,54	1	0,96	1,03	0,84	58,7	64,6	61	
Dimensi Kompartemen							Dimensi Bak Pengendap							
Kedalaman kompartemen	Panjang kompartemen (55 % dari kedalaman)		Lebar kompartemen	Luas satu kompartemen	Volume total kompartemen	Kecepatan upflow	HRT pada kompartemen	Dimensi yang ditentukan untu unit ABR		Panjang bak pengendap	Luas bak pengendap	Volume bak pengendap	HRT bak pengendap	
ditentukan	Dihitung	Ditentukan	Dihitung	Dihitung	Dihitung	Ditentukan	Dihitung	Lebar	Kedalaman	Dihitung	Dihitung	Dihitung	Ditentukan	Dihitung
m	m	m	m	m ²	m ³	m/jam	jam	m	m	m	m ²	m ³	Jam	Jam
3	1,65	1,7	5	8,5	102	0,9	13,33	5	3	4	20	65,55	7	8,57
	50 – 60 %													
Status ABR							Efisiensi Pengolahan Unit ABR							
Jumlah kompartemen	Panjang total	Lebar total	Kedalaman total	Luas total	Volume total	Cek HRT	Cek kecepatan upflow	Total persentase penyisihan BOD	Konsentrasi BOD pada Effluent	Total persentase penyisihan COD	Konsentrasi COD pada Effluent	Total Laju penyisihan TSS	Konsentrasi TSS pada Effluent	
Ditentukan	Dihitung	Dihitung	Dihitung	Dihitung	Dihitung	Dihitung	Dihitung	Dihitung	Dihitung	Dihitung	Dihitung	Dihitung	Dihitung	
Buah	m	m	m	m ²	m ³	Jam	m/jam	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	
4	10,8	5	3	67,65	167,55	21,90	0,9	75,2	20,1	70,2	42,5	99,2	1,4	
3 – 6 buah			1 m ruang lumpur			12 – 96 jam	< 2 m/jam							

e. Produksi lumpur

Pengolahan air limbah dengan menggunakan unit ABR akan menghasilkan lumpur. Lumpur yang dihasilkan pada unit pengolahan ABR mempunyai kadar air rata-rata yang cukup tinggi yaitu sebesar 88% (Getahun, *et al*, 2020; Khansa dan Herumurti, 2020). Lumpur tersebut akan dihasilkan pada zona pengendapan dan kompartemen. Pada zona kompartemen, lumpur yang dihasilkan akan semakin berkurang pada setiap kompartemen. Berikut perhitungan volume dan tinggi lumpur yang dihasilkan pada unit ABR.

- Bak pengendap

Direncanakan:

Jumlah penduduk	= 876 jiwa
Q_{peak}	= 183,6 m ³ /hari
TSS_{in}	= 185 mg/L
Periode pengurasan	= 2 tahun
HRT	= 7 jam
Konsentrasi padatan	= 12 %
Densitas padatan	= 2,65 kg/L
Konsentrasi air	= 88%
Densitas air	= 1 kg/L

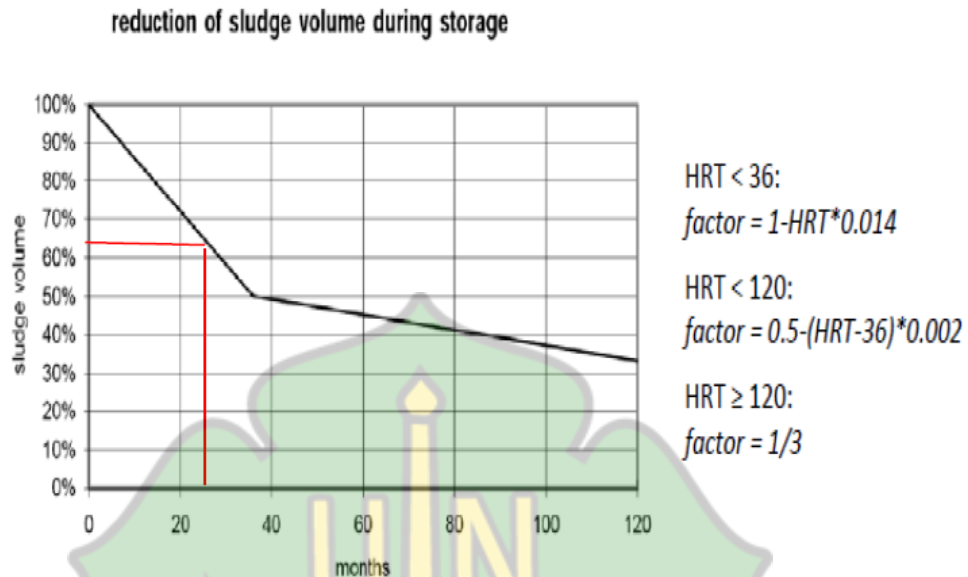
Berdasarkan perhitungan efisiensi penyisihan TSS pada bak pengendap sebelumnya diperoleh persentase penyisihan TSS sebesar 66% sehingga massa TSS yang tersisihkan setiap harinya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Massa } TSS_{rem} &= TSS_{in} \times \text{persentase penyisihan} \times Q_{peak} \\
 &= 185 \text{ mg/L} \times 66\% \times 183,6 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,185 \text{ kg/m}^3 \times 0,66 \times 183,6 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 22,42 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Sehingga massa lumpur yang dihasilkan selama 2 tahun adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Massa lumpur} &= \text{Massa } TSS_{rem} \times \text{durasi pengurasan} \\
 &= 22,4 \text{ kg/hari} \times 2 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari} \\
 &= 16.365,71 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

Massa lumpur akan mengalami stabilisasi seiring berjalannya waktu. Setelah dua tahun atau 24 bulan, stabilisasi massa lumpur yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan grafik hubungan pengurangan volume lumpur terhadap waktu seperti pada gambar berikut.



Gambar 4.11. Hubungan antara Pengurangan Volume Lumpur oleh Waktu
Sumber: Götzenberger, 2009

Berdasarkan grafik di atas diperoleh persentase pengurangan volume lumpur selama 24 bulan sebesar 66,4% sehingga massa lumpur selama dua tahun setelah mengalami stabilisasi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Massa lumpur 2 tahun} &= (100 - 66,4) \% \times \text{produksi lumpur} \\ &= 33,6 \% \times 16.365,71 \text{ kg} \\ &= 5.498,88 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan densitas lumpur untuk mengetahui volume dan tinggi lumpur.

$$\begin{aligned} \text{Densitas lumpur} &= \frac{\text{densitas padatan} \times \text{densitas air}}{(\% \text{ padatan} \times \text{densitas air}) + (\% \text{ air} \times \text{densitas padatan})} \\ &= \frac{2,65 \text{ kg/L} \times 1 \text{ kg/L}}{(12\% \times 1 \text{ kg/L}) + (88\% \times 2,65 \text{ kg/L})} \\ &= 1,08075 \text{ kg/L} \end{aligned}$$

Maka volume dan tinggi lumpur yang dihasilkan setelah stabilisasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume lumpur} &= \frac{\text{Massa lumpur}}{\text{Densitas lumpur}} \\
 &= \frac{5.498,88 \text{ kg}}{1,08075 \text{ kg/L}} \\
 &= 5.088 \text{ L} \\
 &= 5,09 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dengan hasil desain volume ruang lumpur yang telah dilakukan sebelumnya yaitu sebesar $5,55 \text{ m}^3$ maka lumpur yang dihasilkan akan sepenuhnya mengisi ruang lumpur yang tersedia yaitu dengan kedalaman 1 m.

- Kompartemen 1

Direncanakan:

Jumlah penduduk	= 876 jiwa
Q_{peak}	= $183,61 \text{ m}^3/\text{hari}$
TSS_{in}	= $62,9 \text{ mg/L}$
Periode pengurasan	= 2 tahun
HRT	= 3,33 jam
Densitas padatan	= $2,65 \text{ kg/L}$
Kadar padatan	= 12 %
Kd	= $0,06/\text{hari}$
Konsentrasi air	= 88%
Densitas air	= 1 kg/L

Berdasarkan perhitungan efisiensi penyisihan TSS pada kompartemen sebelumnya diperoleh persentase penyisihan TSS sebesar 61 % dengan HRT pada setiap kompartemen selama 3,4 jam dan konsentrasi TSS pada air limbah yang masuk ke zona kompartemen 1 adalah sebesar $62,16 \text{ mg/L}$ sehingga massa TSS yang tersisihkan setiap harinya pada kompartemen satu adalah sebagai berikut.

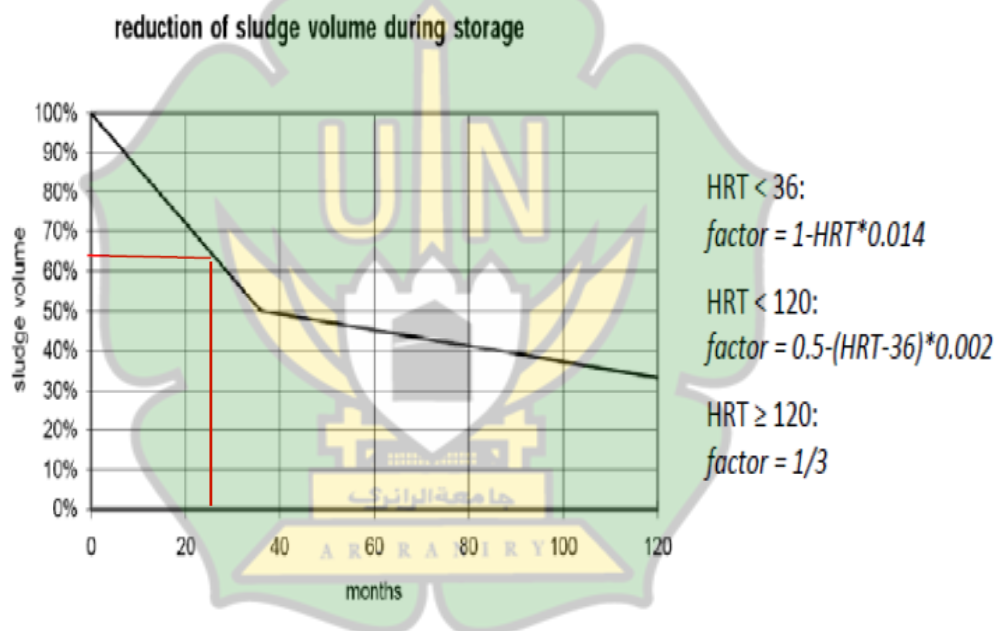
$$\begin{aligned}
 \text{Massa } TSS_{\text{rem}} &= TSS_{\text{in}} \times TSS_{\text{rem}} \times Q_{\text{peak}} \\
 &= 62,9 \text{ mg/L} \times 61\% \times 183,61 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,0629 \text{ kg/m}^3 \times 0,61 \times 183,6 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$= 7,045 \text{ kg/hari}$$

Sehingga massa lumpur yang dihasilkan selama 2 tahun adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Massa lumpur} &= \text{Massa TSS}_{\text{rem}} \times \text{durasi pengurasan} \\ &= 7,045 \text{ kg/hari} \times 2 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari} \\ &= 5.142,8 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Massa lumpur akan mengalami stabilisasi seiring berjalannya waktu. Setelah dua tahun atau 24 bulan, stabilisasi massa lumpur yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan grafik hubungan pengurangan volume lumpur terhadap waktu seperti pada gambar berikut.



Gambar 4.12. Hubungan antara Pengurangan Volume Lumpur oleh Waktu

Sumber: Götzenberger, 2009

Berdasarkan grafik di atas diperoleh persentase pengurangan volume lumpur selama 24 bulan sebesar 66,4% sehingga massa lumpur selama dua tahun setelah mengalami stabilisasi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Stabilisasi lumpur 2 tahun} &= (100 - 66,4) \% \times \text{produksi lumpur} \\ &= 33,6 \% \times 5.142,8 \text{ kg} \\ &= 1.728 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan densitas lumpur untuk mengetahui volume dan tinggi lumpur.

$$\begin{aligned} \text{Densitas lumpur} &= \frac{\text{densitas padatan} \times \text{densitas air}}{(\% \text{ padatan} \times \text{densitas air}) + (\% \text{ air} \times \text{densitas padatan})} \\ &= \frac{2,65 \text{ kg/L} \times 1 \text{ kg/L}}{(12\% \times 1 \text{ kg/L}) + (88\% \times 2,65 \text{ kg/L})} \\ &= 1,08075 \text{ kg/L} \end{aligned}$$

Maka volume dan tinggi lumpur yang dihasilkan setelah stabilisasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Volume lumpur} &= \frac{\text{massa lumpur}}{\text{densitas lumpur}} \\ &= \frac{1728 \text{ kg}}{1,08075 \text{ kg/L}} \\ &= 1.599 \text{ L} \\ &= 1,6 \text{ m}^3 \\ \text{Tinggi lumpur} &= \frac{\text{Volume lumpur}}{\text{luas penampang kompartemen}} \\ &= \frac{1,6 \text{ m}^3}{1,7 \text{ m} \times 5 \text{ m}} \\ &= 0,188 \text{ m} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan lumpur pada kompartemen berikutnya dapat dilihat pada Tabel 4.7. dibawah ini.

Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Produksi Lumpur pada Unit ABR selama Dua Tahun

Kompartemen	TSS <i>influent</i> (kg/m ³)	Massa TSS tersisihkan (kg/hari)	Stabilisasi massa lumpur per dua tahun (kg)	Volume Lumpur (m ³)	Tinggi Lumpur (m)
Bak pengendap	0,185	22,42	5.499	5,09	Memenuhi ruang lumpur
Kompartemen 1	0,063	7,045	1.728	1,6	0,188
Kompartemen 2	0,025	2,8	686,78	0,64	0,075
Kompartemen 3	0,01	1,12	274,72	0,25	0,03
Kompartemen 4	0,004	0,45	110,38	0,102	0,012

4.5.2. *Constructed Wetland (CW)*

Unit pengolahan *Constructed Wetland* yang direncanakan merupakan *Constructed Wetland* dengan tipe *Horizontal Subsurface Flow* dimana air limbah akan mengalir secara horizontal di bawah lapisan media tanam. Dalam Tugas Akhir ini, perencanaan unit *Constructed Wetland* terintegrasi dengan bak penampung yang berfungsi untuk menampung air hasil olahan sebelum disalurkan ke badan air terdekat. Perhitungan dimensi pada unit ini adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan dimensi *Constructed Wetland*

Kriteria desain:

HRT	= 0,5 – 3 hari	
HLR	= 0,2 – 1 m ³ /m ² .hari	(Ellis, 2003)
Rasio P:L	= 4 : 1 – 10 : 1	(Hlavinek, 2007)
Kedalaman media	= < 90 cm	

Direncanakan:

Jumlah CW (n)	= 1 buah
Kedalaman media	= 0,7 m
Jenis media yang digunakan	adalah <i>medium gravel</i> dengan porositas media (α) sebesar 0,4
Q_{peak}	= 183,6 m ³ /hari
BOD_{in}	= 20,1 mg/L
COD_{in}	= 42,5 mg/L
TSS_{in}	= 1,4 mg/L
Coliform	= 5300 MPN
Suhu (T)	= 28°C

a. Dimensi CW

Dalam menentukan dimensi CW maka perlu diketahui konstanta laju penyisihan BOD (K_T). Nilai K_T bergantung pada suhu air limbah dalam unit CW. Nilai K_T dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$K_T = K_{20} \cdot \theta_{20}^{(T-20)} \quad (4.2.)$$

Dimana:

- K_T = konstanta laju penyisihan pada suhu T (/hari)
 K_{20} = konstanta laju penyisihan pada suhu 20°C
 θ_{20} = koefisien suhu untuk konstanta laju penyisihan pada suhu 20°C
T = suhu air limbah (°C)

Jenis CW yang didesain dalam perencanaan ini adalah *Subsurface Flow Constructed Wetland* (CW – SSF). Nilai koefisien suhu untuk konstanta laju penyisihan pada CW – SSF dapat dilihat pada Tabel 4.8. berikut.

Tabel 4.8. Konstanta Laju Penyisihan untuk CW – SSF

No.	Parameter	Penyisihan BOD
1.	T_R	20°C
2.	Residu	6 mg/L
3.	K_R	1,104 /hari
4.	θ_R	1,06

Dengan begitu diperoleh nilai K_T sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 K_T &= K_{20} \cdot \theta_{20}^{(T-20)} \\
 &= 1,104 \times 1,06^{(28-20)} \\
 &= 1,76 \text{ /hari}
 \end{aligned}$$

Dalam perencanaan ini, konsentrasi BOD yang keluar dari unit CW ditargetkan sebesar 10 mg/L maka luas permukaan CW dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{Q (\ln BOD_{in} - \ln BOD_{out})}{K_T \cdot D \cdot \alpha} \\
 &= \frac{183,6 (\ln 20,1 - \ln 10)}{1,76 \cdot 0,7 \cdot 0,4} \\
 &= 260 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Rasio antara panjang dengan lebar unit CW adalah 4 : 1 sehingga diperoleh panjang dan lebar unit CW sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 4 L \cdot L &= 260 \text{ m}^2 \\
 4 L^2 &= 260 \text{ m}^2 \\
 L &= 8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Lebar unit CW adalah diperoleh sebesar 8 m sehingga panjang unit CW adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P &= 4 L \\ &= 4 (8 \text{ m}) \\ &= 32 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh panjang unit CW adalah 32 m. Namun, dikarenakan bentuknya yang memanjang dan untuk memaksimalkan lahan yang ada, maka bentuk unit CW akan diubah menjadi berbentuk persegi dengan dimensi 16 m x 16 m dengan pembuatan sekat sepanjang 12 m di bagian tengahnya sehingga diharapkan panjang lintasan air limbah dalam unit CW tetap sepanjang 32 m dan lebar unit CW tetap 8 m. Oleh karena itu, dimensi unit CW yang baru adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Panjang (P)} &= 16 \text{ m} \\ \text{Lebar (L)} &= 16 \text{ m} \\ \text{Kedalaman (D)} &= \text{kedalaman media} + \text{freeboard} \\ &= 0,7 \text{ m} + 0,5 \text{ m} \\ &= 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan luas permukaan unit CW yang baru yaitu:

$$\begin{aligned} A_{CW} &= P \times L \\ &= 16 \text{ m} \times 16 \text{ m} \\ &= 256 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Waktu detensi yang dibutuhkan oleh air limbah dalam unit CW adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T_d &= \frac{A_{CW} \cdot D \cdot \alpha}{Q} \\ &= \frac{256 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,4}{183,6 \text{ m}^3/\text{hari}} \\ &= 0,56 \text{ hari} \quad (\text{OK, sesuai kriteria: } 0,5 - 3 \text{ hari}) \end{aligned}$$

Laju beban hidrolis (HLR) yang masuk ke unit CW adalah sebagai berikut.

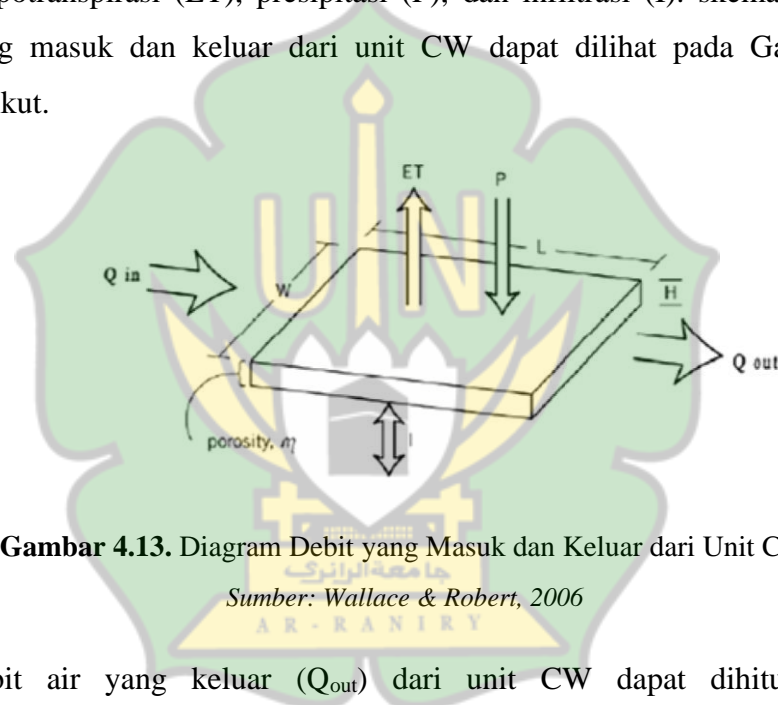
$$\text{HLR} = \frac{Q}{A_{CW}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{183,6 \text{ m}^3/\text{hari}}{520,2 \text{ m}^2} \\
 &= 0,35 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} \quad (\text{OK, sesuai kriteria: } 0,2 - 1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari})
 \end{aligned}$$

Gambar DED serta potongan untuk unit pengolahan *Constructed Wetland* dapat dilihat pada Lampiran 5.

b. Debit *effluent*

Debit air limbah yang masuk (Q_{in}) ke dalam unit CW berbeda dengan debit yang keluar (Q_{out}) dari unit CW. Hal ini terjadi karena adanya proses evapotranspirasi (ET), presipitasi (P), dan infiltrasi (I). skema debit yang masuk dan keluar dari unit CW dapat dilihat pada Gambar 4.13. berikut.



Gambar 4.13. Diagram Debit yang Masuk dan Keluar dari Unit CW

Sumber: Wallace & Robert, 2006

Debit air yang keluar (Q_{out}) dari unit CW dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Q_{out} = Q_{in} - Q_{ET} + Q_P + Q_I \quad (4.3)$$

Dimana:

Q_{out} = debit yang keluar

Q_{in} = debit yang masuk

Q_{ET} = debit evapotranspirasi

Q_P = debit presipitasi

Q_I = debit infiltrasi

Konstruksi CW dilengkapi dengan lapisan pada dasar *wetland*. Secara umum lapisan tersebut bisa berupa *clay* (tanah liat), *synthetic liner* (lapisan geomembran), ataupun beton. Pelapisan pada dasar *wetland* ini bertujuan untuk mengurangi infiltrasi. Oleh karena itu debit infiltrasi dapat diabaikan dan dianggap sama dengan nol.

Nilai evapotranspirasi diperoleh dari rata-rata evapotranspirasi ketiga tanaman yang digunakan yaitu tanaman kana, bintang air, dan bambu air. Nilai evapotranspirasi yang terjadi pada ketiga tanaman tersebut secara berturut-turut adalah 28,5 mm/hari, 41,9 mm/hari, dan 19 mm/hari sehingga nilai evapotranspirasi rata-rata diperoleh sebesar 29,82 mm/hari.

Nilai presipitasi diperoleh dari data curah hujan rata-rata Kota Banda Aceh pada Stasiun Pengamatan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) data curah hujan Kota Banda Aceh dapat dilihat pada lampiran 3. Data curah hujan rata-rata Kota Banda Aceh diperoleh sebesar 2,7 mm/hari. Perhitungan debit air yang keluar (Q_{out}) dari unit CW adalah sebagai berikut.

Diketahui:

$$Q_{in} = 183,6 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$A_{CW} = 256 \text{ m}^2$$

$$I = 0 \text{ mm/hari}$$

$$ET = 29,82 \text{ mm/hari}$$

$$P = 2,7 \text{ mm/hari}$$

Maka nilai Q_{ET} dan Q_P adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Q_{ET} &= \frac{ET}{1000} \times A_{CW} \\ &= \frac{29,82 \text{ mm/hari}}{1000} \times 256 \text{ m}^2 \\ &= 7,63 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$Q_P = \frac{P}{1000} \times A_{CW}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2,7 \text{ mm/hari}}{1000} \times 256 \text{ m}^2 \\
 &= 0,7 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Karena debit infiltrasi diabaikan maka debit air yang keluar dari unit CW adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{out}} &= Q_{\text{in}} - Q_{\text{ET}} + Q_{\text{P}} + Q_{\text{I}} \\
 &= 183,6 \text{ m}^3/\text{hari} - 7,63 \text{ m}^3/\text{hari} + 0,7 \text{ m}^3/\text{hari} + 0 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 176,7 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Dengan mengetahui debit air yang keluar (Q_{out}) maka selanjutnya dapat dihitung diameter pipa *effluent* yang digunakan.

Direncanakan:

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang pipa outlet (L)} &= 1 \text{ m} \\
 \text{Debit yang keluar (Q}_{\text{out}}) &= 176,7 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,002 \text{ m}^3/\text{det} \\
 \text{Koefisien kekasaran pipa (C)} &= 130 \\
 \text{Slope (S)} &= 0,01 \\
 \text{Head loss pipa (Hf)} &= S \cdot L \\
 &= 0,01 \times 1 \\
 &= 0,01
 \end{aligned}$$

Perhitungan diameter pada pipa *outlet* CW dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 H_f &= \left(\frac{Q}{0,2785 \cdot C \cdot D^{2,63}} \right)^{1,85} \cdot L \\
 0,01 &= \left(\frac{0,002}{0,2785 \cdot 130 \cdot D^{2,63}} \right)^{1,85} \cdot 1 \\
 D &= 0,062 \text{ m} \\
 &= 62 \text{ mm} \approx 76 \text{ mm (diameter pipa pasaran: pipa 2 - } \frac{1}{2} \text{ inch)}
 \end{aligned}$$

Kecepatan aliran dalam pipa *outlet* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{4 Q}{\pi \cdot D^2} \\
 &= \frac{4 (0,002 \text{ m}^3/\text{hari})}{3,14 \cdot (0,076 \text{ m})^2}
 \end{aligned}$$

$$= 0,44 \text{ m/s}$$

c. Efisiensi *Constructed Wetland*

➤ Penyisihan BOD

Proses degradasi pada unit CW dibantu oleh media, tanaman, dan *rhizobacteria* yaitu koloni bakteri yang hidup dan bersimbiosis secara mutualisme dengan akar tanaman. *Rhizobacteria* menggunakan air limbah sebagai sumber bahan makanan untuk keberlangsungan hidupnya. Menurut Diaz (2014), unit CW yang menggunakan tanaman (*planted CW*) mempunyai efisiensi penyisihan BOD 4,4 % lebih tinggi dibandingkan dengan CW yang tidak menggunakan tanaman (*unplanted CW*). Perhitungan penyisihan BOD pada unit CW dapat dilihat sebagai berikut.

• Penyisihan BOD oleh tanaman (BOD_{dt})

$$BOD_{in} = 20,1 \text{ mg/L}$$

$$BOD_{dt} = 4,4 \% \cdot BOD_{in}$$

$$= 0,044 \cdot 20,1 \text{ mg/L}$$

$$= 0,88 \text{ mg/L}$$

• Penyisihan BOD oleh media (BOD_{dm})

$$BOD_{out \text{ rencana}} = BOD_{out} + BOD_{dt}$$

$$= 5 \text{ mg/L} + 0,88 \text{ mg/L}$$

$$= 5,88 \text{ mg/L}$$

$$BOD_{dm} = BOD_{in} - BOD_{out \text{ rencana}}$$

$$= 20,1 \text{ mg/L} - 5,88 \text{ mg/L}$$

$$= 14,22 \text{ mg/L}$$

$$BOD_{dm} \text{ (rem)} = \frac{BOD_{dm}}{BOD_{in}} \times 100 \%$$

$$= \frac{14,22 \text{ mg/L}}{20,1 \text{ mg/L}} \times 100 \%$$

$$= 70,7 \%$$

Sehingga konsentrasi BOD pada *outlet* CW adalah sebagai berikut.

$$BOD_{ef \text{ CW}} = BOD_{in} - BOD_{dt} - BOD_{dm}$$

$$\begin{aligned}
 &= 20,1 \text{ mg/L} - 0,88 \text{ mg/L} - 14,22 \text{ mg/L} \\
 &= 5 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Konsentrasi BOD pada *outlet* CW sebesar 5 mg/L telah memenuhi syarat baku mutu konsentrasi BOD air limbah dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik yaitu sebesar 30 mg/L. Berdasarkan data yang telah diperoleh maka dapat dihitung efisiensi penyisihan BOD pada unit CW sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{BOD}_{\text{rem}} &= \frac{\text{BOD}_{\text{in}} - \text{BOD}_{\text{out}}}{\text{BOD}_{\text{in}}} \times 100 \% \\
 &= \frac{20,1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 5 \text{ mg/L}}{20,1 \text{ mg/L}} \times 100 \% \\
 &= 75,1 \%
 \end{aligned}$$

➤ Penyisihan COD

Persentase penyisihan COD lebih kecil dari penyisihan BOD. Hal ini dikarenakan unit CW mengolah air limbah secara biologis. Menurut Puspira (2004), kemampuan penyisihan COD oleh sejumlah CW di Indonesia berkisar antara 73 – 97% maka efisiensi penyisihan COD oleh air limbah diestimasikan sebesar 73 % sehingga konsentrasi COD pada *outlet* CW adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{COD}_{\text{out}} &= (1 - 0,73) \cdot \text{COD}_{\text{in}} \\
 &= 0,27 \cdot 42,5 \text{ mg/L} \\
 &= 11,5 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Konsentrasi COD pada *outlet* CW sebesar 11,5 mg/L telah memenuhi baku mutu konsentrasi COD air limbah dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik yaitu sebesar 100 mg/L.

➤ Penyisihan TSS

Perhitungan penyisihan TSS pada unit CW dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{TSS}_{\text{out}} &= \text{TSS}_{\text{in}} (0,1058 + 0,0011 \text{ HLR}) \\
 &= 1,4 \text{ mg/L} (0,1058 + 0,0011 \times 0,35) \\
 &= 0,15 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh efisiensi penyisihan TSS (TSS_{rem}) pada unit CW adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{TSS}_{\text{rem}} &= \frac{\text{TSS}_{\text{in}} - \text{TSS}_{\text{out}}}{\text{TSS}_{\text{in}}} \times 100 \% \\
 &= \frac{1,4 \text{ mg/L} - 0,15 \text{ mg/L}}{1,4 \text{ mg/L}} \times 100 \% \\
 &= 89,3 \%
 \end{aligned}$$

➤ Penyisihan *Coliform*

Perhitungan penyisihan *coliform* pada unit CW dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Coliform}_{\text{out}} &= \frac{\text{Coliform}_{\text{in}}}{(1 + T_d \times K_T)^n} \\
 &= \frac{5300}{(1 + 0,8 \times 1,76)^1} \\
 &= 2201 \text{ MPN}
 \end{aligned}$$

Konsentrasi *coliform* pada outlet CW sebesar 2201 MPN telah memenuhi syarat baku mutu konsentrasi *coliform* pada air limbah dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik yaitu sebesar 3000 MPN. Berdasarkan data yang telah diperoleh maka dapat dihitung efisiensi penyisihan *coliform* pada unit CW adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Coliform}_{\text{rem}} &= \frac{\text{Coliform}_{\text{in}} - \text{Coliform}_{\text{out}}}{\text{Coliform}_{\text{in}}} \times 100 \% \\
 &= \frac{5300 \text{ MPN} - 2201 \text{ MPN}}{5300 \text{ MPN}} \times 100 \% \\
 &= 58,5 \%
 \end{aligned}$$

d. Kebutuhan tanaman

Tanaman yang digunakan dalam perencanaan unit CW adalah kombinasi dari tanaman kana (*Canna indica*), tanaman bintang air (*Cyperus papyrus*), dan tanaman bambu air (*Equisetum hyemale*). Menurut Suswati (2013), CW

mempunyai kinerja yang lebih efektif dalam menyisihkan polutan jika mengkombinasikan beberapa jenis tumbuhan dibandingkan dengan hanya ditumbuhi satu jenis tanaman saja.

Kerapatan tanaman yang digunakan dalam perencanaan unit CW ini adalah sebanyak 3 tanaman per meter persegi sehingga diperoleh jumlah tanaman yang dibutuhkan dalam perencanaan unit CW adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} A_{\text{media}} &= 240 \text{ m}^2 \\ \text{Kebutuhan tanaman} &= A_{\text{media}} \times \text{kerapatan tanaman} \\ &= 240 \text{ m}^2 \times 3 \\ &= 720 \text{ tanaman} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Dimensi Bak Penampung

Bak penampung berfungsi sebagai tempat penampungan air limbah hasil olahan unit CW sebelum dialirkan ke badan air terdekat. Perhitungan dimensi bak penampung adalah sebagai berikut.

Direncanakan:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah bak} &= 1 \\ \text{Rasio P : L} &= 1 : 2 \\ \text{Td (< 10 menit)} &= 5 \text{ menit} \\ &= 300 \text{ detik} \\ \text{Kedalaman (D)} &= 0,7 \text{ m} + \text{freeboard } 0,5 \text{ m} \\ \text{Q air limbah} &= 169,5 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,002 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

Volume bak penampung yang direncanakan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V &= Q \times \text{Td} \\ &= 0,002 \text{ m}^3/\text{det} \times 300 \text{ detik} \\ &= 0,6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berdasarkan angka volume bak penampung maka dapat dihitung luas permukaan bak penampung sebagai berikut.

$$A = \frac{V}{D}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,6 \text{ m}^3}{0,7 \text{ m}} \\
 &= 0,86 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Dengan rasio perbandingan antara panjang dengan lebar adalah 1 : 2 maka panjang dan lebar bak penampung adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 P \cdot 2P &= 0,86 \text{ m}^2 \\
 2 P^2 &= 0,86 \text{ m}^2 \\
 P &= 0,66 \text{ m} \approx 1 \text{ m} \\
 L &= 2 P \\
 &= 2 (1 \text{ m}) \\
 &= 2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi dimensi bak penampung adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 P &= 1 \text{ m} \\
 L &= 2 \text{ m} \\
 D &= 0,7 \text{ m} + \text{freeboard } 0,5\text{m} \\
 &= 1,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.6. *Mass Balance*

Perhitungan *mass balance* dilakukan untuk mengetahui kesetimbangan massa pada unit pengolahan di mana massa yang masuk adalah sama dengan jumlah massa yang tertinggal pada unit pengolahan ditambah dengan massa yang keluar dari unit pengolahan. Perhitungan *mass balance* juga bertujuan untuk mengetahui efisiensi penyisihan (*removal*) pada tiap unit pengolahan.

4.6.1. *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)*

Perhitungan kesetimbangan massa (*mass balance*) pada unit ABR terbagi ke dalam dua tahap yaitu pada bak pengendap dan kompartemen. Berikut perhitungan *mass balance* pada unit ABR.

- **Bak pengendap**

Diketahui:

$$Q \text{ air limbah} = 183,6 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BOD}_c \text{ (in)} &= 81 \text{ mg/L} \\
 &= 0,081 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{BOD}_m \text{ (in)} &= \text{BOD}_c * Q \\
 &= 0,081 \text{ kg/m}^3 \cdot 183,6 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 14,87 \text{ kg/hari} \\
 \text{COD}_c \text{ (in)} &= 143 \text{ mg/L} \\
 &= 0,143 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{COD}_m \text{ (in)} &= \text{COD}_c * Q \\
 &= 0,143 \text{ kg/m}^3 \cdot 183,6 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 26,25 \text{ kg/hari} \\
 \text{TSS}_c \text{ (in)} &= 185 \text{ mg/L} \\
 &= 0,185 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{TSS}_m \text{ (in)} &= \text{TSS}_c * Q \\
 &= 0,185 \text{ kg/m}^3 \cdot 183,6 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 33,97 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

- **Removal**

Penyisihan BOD

$$\begin{aligned}
 \text{BOD}_c \text{ (rem)} &= \text{BOD}_c \text{ (in)} * 29,7\% \\
 &= 81 \text{ mg/L} * 0,297 \\
 &= 24,1 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BOD}_m \text{ (rem)} &= \text{BOD}_m \text{ (in)} * 29,7\% \\
 &= 14,87 \text{ kg/hari} * 0,297 \\
 &= 4,42 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Penyisihan COD

$$\begin{aligned}
 \text{COD}_c \text{ (rem)} &= \text{COD}_c \text{ (in)} * 28\% \\
 &= 143 \text{ mg/L} * 0,28 \\
 &= 40 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{COD}_m \text{ (rem)} &= \text{COD}_m \text{ (in)} * 28\% \\
 &= 26,25 \text{ kg/hari} * 0,28 \\
 &= 7,35 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Penyisihan TSS

$$\begin{aligned} \text{TSS}_c (\text{rem}) &= \text{TSS}_c (\text{in}) * 66\% \\ &= 185 \text{ mg/L} * 0,66 \\ &= 122,1 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TSS}_m (\text{rem}) &= \text{TSS}_m (\text{in}) * 66\% \\ &= 33,97 \text{ kg/hari} * 0,66 \\ &= 22,42 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

- ***Effluent***

Effluent BOD

$$\begin{aligned} \text{BOD}_c (\text{out}) &= \text{BOD}_c (\text{in}) - \text{BOD}_c (\text{rem}) \\ &= 81 \text{ mg/L} - 24,1 \text{ mg/L} \\ &= 56,9 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD}_m (\text{out}) &= \text{BOD}_m (\text{in}) - \text{BOD}_m (\text{rem}) \\ &= 14,87 \text{ kg/hari} - 4,42 \text{ kg/hari} \\ &= 10,45 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Effluent COD

$$\begin{aligned} \text{COD}_c (\text{out}) &= \text{COD}_c (\text{in}) - \text{COD}_c (\text{rem}) \\ &= 143 \text{ mg/L} - 40 \text{ mg/L} \\ &= 103 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD}_m (\text{out}) &= \text{COD}_m (\text{in}) - \text{COD}_m (\text{rem}) \\ &= 26,25 \text{ kg/hari} - 7,35 \text{ kg/hari} \\ &= 18,9 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Effluent TSS

$$\begin{aligned} \text{TSS}_c (\text{out}) &= \text{TSS}_c (\text{in}) - \text{TSS}_c (\text{rem}) \\ &= 185 \text{ mg/L} - 122,1 \text{ mg/L} \\ &= 62,9 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TSS}_m (\text{out}) &= \text{TSS}_m (\text{in}) - \text{TSS}_m (\text{rem}) \\ &= 33,97 \text{ kg/hari} - 22,42 \text{ kg/hari} \\ &= 11,55 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

- **Kompartemen**

Diketahui:

$$Q \text{ air limbah} = 183,6 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{BOD}_c \text{ (in)} = 56,9 \text{ mg/L}$$

$$\text{BOD}_m \text{ (in)} = 10,45 \text{ kg/hari}$$

$$\text{COD}_c \text{ (in)} = 103 \text{ mg/L}$$

$$\text{COD}_m \text{ (in)} = 18,9 \text{ kg/hari}$$

$$\text{TSS}_c \text{ (in)} = 62,9 \text{ mg/L}$$

$$\text{TSS}_m \text{ (in)} = 11,55 \text{ kg/hari}$$

- **Removal**

Penyisihan BOD

$$\begin{aligned} \text{BOD}_c \text{ (rem)} &= \text{BOD}_c \text{ (in)} * 64,6\% \\ &= 56,9 \text{ mg/L} * 0,646 \\ &= 36,8 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD}_m \text{ (rem)} &= \text{BOD}_m \text{ (in)} * 64,6\% \\ &= 10,45 \text{ kg/hari} * 0,646 \\ &= 6,75 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Penyisihan COD

$$\begin{aligned} \text{COD}_c \text{ (rem)} &= \text{COD}_c \text{ (in)} * 58,7\% \\ &= 103 \text{ mg/L} * 0,587 \\ &= 60,5 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD}_m \text{ (rem)} &= \text{COD}_m \text{ (in)} * 58,7\% \\ &= 18,9 \text{ kg/hari} * 0,587 \\ &= 11,1 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Penyisihan TSS

- Penyisihan TSS pada kompartemen 1:

$$\begin{aligned} \text{TSS}_c \text{ (rem}_1) &= \text{TSS}_c \text{ (in)} * 61\% \\ &= 62,9 \text{ mg/L} * 0,61 \\ &= 38,4 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TSS}_m (\text{rem}_1) &= \text{TSS}_m (\text{in}) * 61\% \\ &= 11,55 \text{ kg/hari} * 0,61 \\ &= 7,05 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

- Penyisihan TSS pada kompartemen 2:

$$\begin{aligned} \text{TSS}_c (\text{rem}_2) &= \text{TSS}_c (\text{in}) * 61\% \\ &= 24,5 \text{ mg/L} * 0,61 \\ &= 14,9 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TSS}_m (\text{rem}_2) &= \text{TSS}_m (\text{in}) * 61\% \\ &= 4,5 \text{ kg/hari} * 0,61 \\ &= 2,75 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

- Penyisihan TSS pada kompartemen 3:

$$\begin{aligned} \text{TSS}_c (\text{rem}_3) &= \text{TSS}_c (\text{in}) * 61\% \\ &= 9,6 \text{ mg/L} * 0,61 \\ &= 5,9 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TSS}_m (\text{rem}_3) &= \text{TSS}_m (\text{in}) * 61\% \\ &= 1,75 \text{ kg/hari} * 0,61 \\ &= 1,07 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

- Penyisihan TSS pada kompartemen 4:

$$\begin{aligned} \text{TSS}_c (\text{rem}_4) &= \text{TSS}_c (\text{in}) * 61\% \\ &= 3,7 \text{ mg/L} * 0,61 \\ &= 2,3 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TSS}_m (\text{rem}_4) &= \text{TSS}_m (\text{in}) * 61\% \\ &= 0,68 \text{ kg/hari} * 0,61 \\ &= 0,41 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

- ***Effluent***

Effluent BOD

$$\begin{aligned} \text{BOD}_c (\text{out}) &= \text{BOD}_c (\text{in}) - \text{BOD}_c (\text{rem}) \\ &= 56,9 \text{ mg/L} - 36,8 \text{ mg/L} \\ &= 20,1 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BOD}_m(\text{out}) &= \text{BOD}_m(\text{in}) - \text{BOD}_m(\text{rem}) \\
 &= 10,45 \text{ kg/hari} - 6,75 \text{ kg/hari} \\
 &= 3,7 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Effluent COD

$$\begin{aligned}
 \text{COD}_c(\text{out}) &= \text{COD}_c(\text{in}) - \text{COD}_c(\text{rem}) \\
 &= 103 \text{ mg/L} - 60,5 \text{ mg/L} \\
 &= 42,5 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

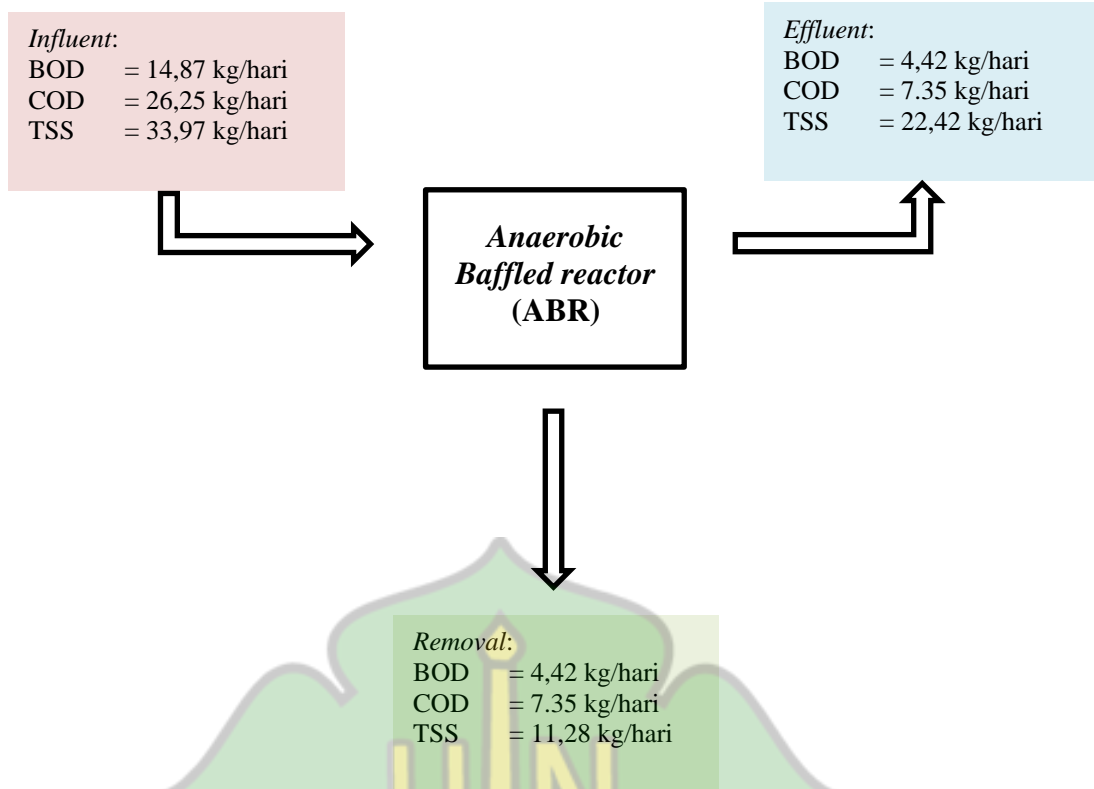
$$\begin{aligned}
 \text{COD}_m(\text{out}) &= \text{COD}_m(\text{in}) - \text{COD}_m(\text{rem}) \\
 &= 18,9 \text{ kg/hari} - 11,1 \text{ kg/hari} \\
 &= 7,8 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Effluent TSS

$$\begin{aligned}
 \text{TSS}_c(\text{out}) &= \text{TSS}_c(\text{in}) - \text{TSS}_c(\text{rem}) \\
 &= 3,7 \text{ mg/L} - 2,3 \text{ mg/L} \\
 &= 1,4 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{TSS}_m(\text{out}) &= \text{TSS}_m(\text{in}) - \text{TSS}_m(\text{rem}) \\
 &= 0,69 \text{ kg/hari} - 0,41 \text{ kg/hari} \\
 &= 0,28 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan *mass balance* yang telah dilakukan maka dapat dibuat diagram *mass balance* pada unit ABR seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.14. berikut.



Gambar 4.14. Diagram *Mass Balance* pada Unit ABR

Berdasarkan diagram *mass balance* pada Gambar 4.14. maka dapat ditentukan efisiensi penyisihan secara keseluruhan oleh ABR yang telah direncanakan sebagai berikut.

- **Efisiensi Penyisihan BOD**

$$\begin{aligned}
 \text{Total } BOD_{rem} &= 1 - \frac{BOD_{out}}{BOD_{in}} \\
 &= 1 - \frac{20,1 \text{ mg/L}}{81 \text{ mg/L}} \\
 &= 75,2 \%
 \end{aligned}$$

- **Efisiensi Penyisihan COD**

$$\begin{aligned}
 \text{Total } COD_{rem} &= 1 - \frac{COD_{out}}{COD_{in}} \\
 &= 1 - \frac{42,5 \text{ mg/L}}{143 \text{ mg/L}} \\
 &= 70,2 \%
 \end{aligned}$$

- **Efisiensi Penyisihan TSS**

$$\begin{aligned}
 Total\ TSS_{rem} &= 1 - \frac{TSS_{out}}{TSS_{in}} \\
 &= 1 - \frac{1,4\ mg/L}{185\ mg/L} \\
 &= 99,2\ \%
 \end{aligned}$$

4.6.2. *Constructed Wetland (CW)*

Perhitungan kesetimbangan massa (*mass balance*) pada unit CW adalah sebagai berikut.

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 Q_{in}\ \text{air limbah} &= 183,6\ m^3/\text{hari} \\
 BOD_c\ (\text{in}) &= 20,1\ mg/L \\
 BOD_m\ (\text{in}) &= 3,7\ kg/\text{hari} \\
 COD_c\ (\text{in}) &= 42,5\ mg/L \\
 COD_m\ (\text{in}) &= 7,8\ kg/\text{hari} \\
 TSS_c\ (\text{in}) &= 1,4\ mg/L \\
 TSS_m\ (\text{in}) &= 0,28\ kg/\text{hari} \\
 Coliform\ (\text{in}) &= 5300\ MPN
 \end{aligned}$$

- **Removal**

Penyisihan debit

$$Q_{ET} = 15,51\ m^3/\text{hari}$$

$$Q_P = 1,4\ m^3/\text{hari}$$

Penyisihan BOD oleh tumbuhan

$$\begin{aligned}
 BOD_c\ (\text{dt}) &= BOD_c\ (\text{in}) \cdot 4,4\ \% \\
 &= 20,1\ mg/L \cdot 0,044 \\
 &= 0,88\ mg/L
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 BOD_m\ (\text{dt}) &= BOD_m\ (\text{in}) \cdot 4,4\ \% \\
 &= 3,7\ kg/\text{hari} \cdot 0,044 \\
 &= 0,163\ kg/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Penyisihan BOD oleh media

$$\begin{aligned}
 \text{BOD}_c (\text{dm}) &= \text{BOD}_c (\text{in}) \cdot 70,7 \% \\
 &= 20,1 \text{ mg/L} \cdot 0,707 \\
 &= 14,22 \text{ mg/L} \\
 \text{BOD}_m (\text{dm}) &= \text{BOD}_m (\text{in}) \cdot 70,7 \% \\
 &= 3,7 \text{ kg/hari} \cdot 0,707 \\
 &= 2,62 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Penyisihan BOD secara keseluruhan

$$\begin{aligned}
 \text{BOD}_c (\text{rem}) &= \text{BOD}_c (\text{in}) \cdot 75,1 \% \\
 &= 20,1 \text{ mg/L} \cdot 0,751 \\
 &= 15,1 \text{ mg/L} \\
 \text{BOD}_m (\text{rem}) &= \text{BOD}_m (\text{in}) \cdot 75,1 \% \\
 &= 3,7 \text{ kg/hari} \cdot 0,751 \\
 &= 2,78 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Penyisihan COD

$$\begin{aligned}
 \text{COD}_c (\text{rem}) &= \text{COD}_c (\text{in}) \cdot 73 \% \\
 &= 42,5 \text{ mg/L} \cdot 0,73 \\
 &= 31,025 \text{ mg/L} \\
 \text{COD}_m (\text{rem}) &= \text{COD}_m (\text{in}) \cdot 73 \% \\
 &= 7,8 \text{ kg/hari} \cdot 0,73 \\
 &= 5,69 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Penyisihan TSS

$$\begin{aligned}
 \text{TSS}_c (\text{rem}) &= \text{TSS}_c (\text{in}) \cdot 89,3 \% \\
 &= 1,4 \text{ mg/L} \cdot 0,893 \\
 &= 1,25 \text{ mg/L} \\
 \text{TSS}_m (\text{rem}) &= \text{TSS}_m (\text{in}) \cdot 89,3 \% \\
 &= 0,28 \text{ kg/hari} \cdot 0,893 \\
 &= 0,25 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Penyisihan *coliform*

$$\begin{aligned} \text{Coliform (rem)} &= \text{Coliform}_{in} \cdot 59,5 \% \\ &= 5300 \text{ MPN} \cdot 0,585 \\ &= 3099 \text{ MPN} \end{aligned}$$

- ***Effluent***

Effluent debit

$$\begin{aligned} Q_{out} &= Q_{in} - Q_{ET} + Q_P \\ &= 183,6 \text{ m}^3/\text{hari} - 15,51 \text{ m}^3/\text{hari} + 1,4 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 169,5 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Effluent BOD

$$\begin{aligned} \text{BOD}_c \text{ (out)} &= \text{BOD}_c \text{ (in)} - \text{BOD}_c \text{ (rem)} \\ &= 20,1 \text{ mg/L} - 15,1 \text{ mg/L} \\ &= 5 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD}_m \text{ (out)} &= \text{BOD}_m \text{ (in)} - \text{BOD}_m \text{ (rem)} \\ &= 3,7 \text{ kg/hari} - 2,78 \text{ kg/hari} \\ &= 0,92 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Effluent COD

$$\begin{aligned} \text{COD}_c \text{ (out)} &= \text{COD}_c \text{ (in)} - \text{COD}_c \text{ (rem)} \\ &= 42,5 \text{ mg/L} - 31,025 \text{ mg/L} \\ &= 11,5 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD}_m \text{ (out)} &= \text{COD}_m \text{ (in)} - \text{COD}_m \text{ (rem)} \\ &= 7,8 \text{ kg/hari} - 5,69 \text{ kg/hari} \\ &= 2,11 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Effluent TSS

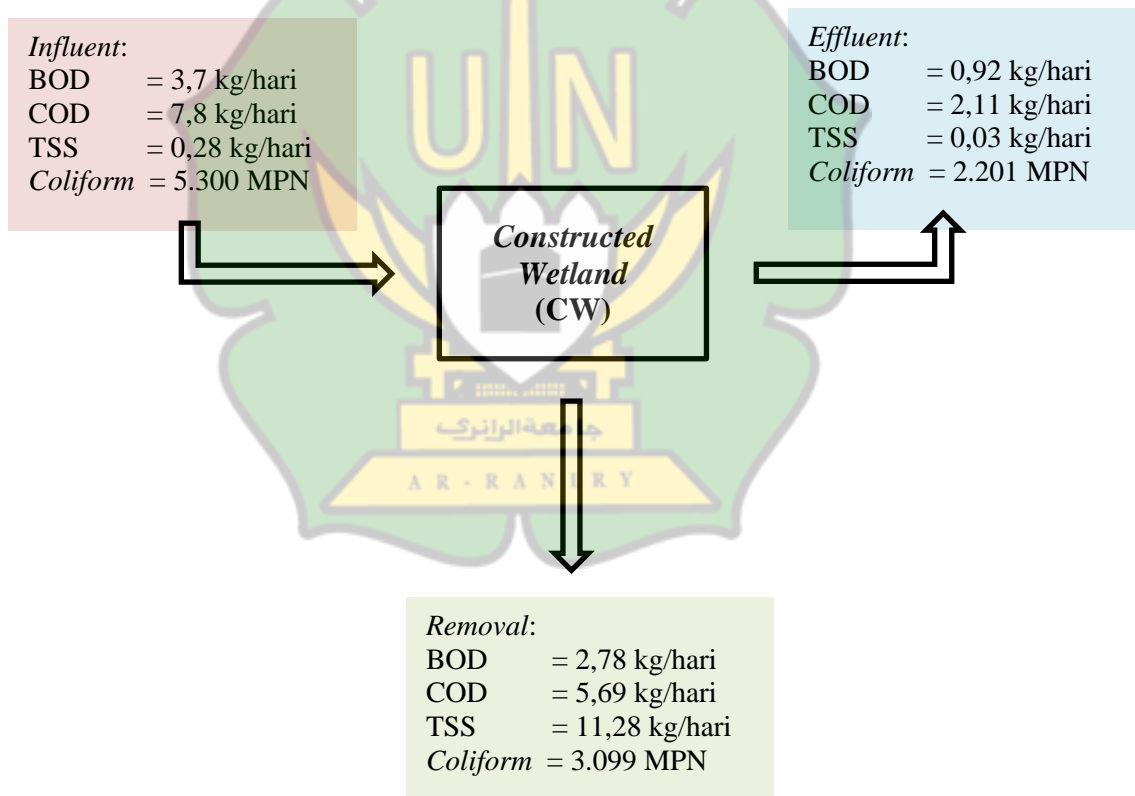
$$\begin{aligned} \text{TSS}_c \text{ (out)} &= \text{TSS}_c \text{ (in)} - \text{TSS}_c \text{ (rem)} \\ &= 1,4 \text{ mg/L} - 1,25 \text{ mg/L} \\ &= 0,15 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{TSS}_m (\text{out}) &= \text{TSS}_m (\text{in}) - \text{TSS}_m (\text{rem}) \\
 &= 0,28 \text{ kg/hari} - 0,25 \text{ kg/hari} \\
 &= 0,03 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Effluent coliform

$$\begin{aligned}
 \text{Coliform} (\text{out}) &= \text{coliform} (\text{in}) - \text{coliform} (\text{rem}) \\
 &= 5300 \text{ MPN} - 3099 \text{ MPN} \\
 &= 2201 \text{ MPN}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan *mass balance* yang telah dilakukan maka dapat dibuat diagram *mass balance* pada unit CW seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.15 berikut.



Gambar 4.15. Diagram *Mass Balance* pada Unit CW

Berdasarkan diagram *mass balance* pada Gambar 4.15. maka dapat ditentukan efisiensi penyisihan secara keseluruhan oleh unit CW yang telah direncanakan sebagai berikut.

- **Efisiensi Penyisihan BOD**

$$\begin{aligned} \text{Total } BOD_{rem} &= 1 - \frac{BOD_{out}}{BOD_{in}} \\ &= 1 - \frac{5 \text{ mg/L}}{20,1 \text{ mg/L}} \\ &= 75,1 \% \end{aligned}$$

- **Efisiensi Penyisihan COD**

$$\begin{aligned} \text{Total } COD_{rem} &= 1 - \frac{COD_{out}}{COD_{in}} \\ &= 1 - \frac{11,5 \text{ mg/L}}{42,5 \text{ mg/L}} \\ &= 73 \% \end{aligned}$$

- **Efisiensi Penyisihan TSS**

$$\begin{aligned} \text{Total } TSS_{rem} &= 1 - \frac{TSS_{out}}{TSS_{in}} \\ &= 1 - \frac{0,15 \text{ mg/L}}{1,4 \text{ mg/L}} \\ &= 89,3 \% \end{aligned}$$

- **Efisiensi Penyisihan Total Coliform**

$$\begin{aligned} \text{Total } coliform_{rem} &= 1 - \frac{coliform_{out}}{coliform_{in}} \\ &= 1 - \frac{2201 \text{ MPN}}{5300 \text{ MPN}} \\ &= 58,5 \% \end{aligned}$$

4.7. Profil Hidrolis IPAL

Profil hidrolis merupakan gambaran perbedaan muka air dengan elevasi tanah. Perhitungan profil hidrolis dilakukan untuk melihat besarnya penurunan muka air limbah (*head loss*) dari *inlet* hingga *outlet* IPAL akibat adanya gesekan, belokan, dan terjunan ketika air mengalir dari satu unit ke unit selanjutnya.

4.7.1. Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

Perhitungan profil hidrolis pada unit ABR adalah sebagai berikut.

Diketahui :

Jumlah pipa tiap kompartemen (n)	= 7 buah
Debit pada tiap pipa (Q)	= $3 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{det}$
Diameter luar pipa	= 140 mm
Diameter dalam pipa (D)	= 129,2 mm
	= 0,1292 m
Koefisien kekasaran pipa PVC	= 150
Panjang pipa (L)	= 3,1 m

Perhitungan *head loss* pada unit ABR meliputi *head loss mayor* dan *head loss minor*. Berikut perhitungan *head loss* pada unit ABR

a. *Head loss mayor*

Head loss mayor dipengaruhi oleh panjang pipa pengalir. Berikut perhitungan *head loss mayor*.

$$\begin{aligned}
 Hf_m &= \left(\frac{Q}{0,2785 \cdot C \cdot D^{2,63}} \right)^{1,85} \cdot L \\
 &= \left(\frac{3 \times 10^{-4}}{0,2785 \cdot 150 \cdot 0,1292^{2,63}} \right)^{1,85} \cdot 3,1 \\
 &= 2 \times 10^{-5} \text{ m} \\
 &= 0,00002 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b. *Head loss minor*

Head loss minor dipengaruhi oleh kecepatan aliran dan belokan akibat aksesoris yang digunakan pada pipa pengalir. Berikut perhitungan *head loss minor*.

- *Head loss* akibat kecepatan aliran (H_v)

$$H_v = \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)^2}{2g}$$

$$= \frac{\left(\frac{3 \times 10^{-4}}{0,0131}\right)^2}{2 (9,81)}$$

$$= 2,67 \times 10^{-5} \text{ m}$$

- *Head loss* akibat aksesoris pipa

Aksesoris yang digunakan pada pipa pengalir adalah *tee* dan *elbow* 90°. Pada setiap pipa pengalir akan dipasang dua buah *tee* dan satu buah *elbow* 90°. Nilai *k* dari *tee* dan *elbow* 90° secara berturut-turut adalah 0,9 dan 1,5 sehingga *head loss* yang terjadi akibat adanya aksesoris pipa adalah sebagai berikut.

$$H_{f_{tee}} = n \cdot k \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)^2}{2g}$$

$$= 2 \times 0,9 \times 2,67 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$= 4,81 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$H_{f_{elbow}} = n \cdot k \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)^2}{2g}$$

$$= 1 \times 1,5 \times 2,67 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$= 4,01 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Maka total *head loss minor* menjadi

$$= H_v + H_{f_{tee}} + H_{f_{elbow\ 90^\circ}}$$

$$= 2,67 \times 10^{-5} \text{ m} + 4,81 \times 10^{-5} \text{ m} + 4,01 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$= 11,5 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$= 0,000115 \text{ m}$$

Head loss total yang terjadi pada setiap kompartemen adalah sebagai berikut.

$$H_{f_{total}} = H_{f_{mayor}} + H_{f_{minor}}$$

$$= 0,00002 \text{ m} + 0,000115 \text{ m}$$

$$= 0,000135 \text{ m}$$

Sehingga *head loss* total yang terjadi pada unit ABR adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} H_{f_{ABR}} &= H_{f_{total}} \times \text{jumlah kompartemen} \\ &= 0,000135 \text{ m} \times 4 \\ &= 0,00054 \text{ m} \end{aligned}$$

4.7.2. *Constructed Wetland (CW)*

Perhitungan profil hidrolis pada unit CW meliputi *head loss* pada media tanam dan media penyangga. Media tanam yang digunakan pada unit CW adalah *medium gravel* dengan nilai *k* sebesar 10.000 m³/m².hari sedalam 0,7 meter. Selain media tanam, perencanaan unit CW juga dilengkapi dengan media penyangga yang terletak pada sisi *inlet* dan *outlet* CW. Jenis media yang digunakan pada media penyangga adalah *coarse gravel* dengan nilai *k* sebesar 100.000 m³/m².hari sepanjang 1 m sehingga luas permukaan pada masing-masing media penyangga CW adalah 10,2 m². Perhitungan *head loss* pada unit CW adalah sebagai berikut.

Diketahui:

Luas permukaan ($A_{\text{media tanam}}$)	= 499,8 m ²
Luas permukaan ($A_{\text{media penyangga}}$)	= 10,2 m ²
Debit air limbah (Q)	= 183,6 m ³ /hari
Lebar CW (L)	= 10,2 m
Kedalaman media (D)	= 0,7 m
Nilai <i>k</i> untuk <i>medium gravel</i>	= 10.000 m ³ /m ² .hari
Nilai <i>k</i> untuk <i>coarse gravel</i>	= 100.000 m ³ /m ² .hari

Perhitungan *head loss* pada media tanam unit CW dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} H_{f_{\text{media tanam}}} &= \frac{A_{\text{media tanam}} \cdot Q}{k \cdot D \cdot L^2} \\ &= \frac{499,8 \text{ m}^2 \cdot 183,6 \text{ m}^3/\text{hari}}{10.000 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} \cdot 0,7 \text{ m} \cdot (10,2 \text{ m})^2} \\ &= 0,126 \text{ m} \end{aligned}$$

Sedangkan perhitungan *head loss* pada media penyangga unit CW adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Hf_{\text{media penyangga}} &= \frac{A_{\text{media penyangga}} \cdot Q}{k \cdot D \cdot L^2} \\
 &= \frac{10,2 \text{ m}^2 \cdot 183,6 \text{ m}^3/\text{hari}}{100.000 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} \cdot 0,7 \text{ m} \cdot (10,2 \text{ m})^2} \\
 &= 0,00026 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sehingga total *head loss* yang terjadi pada media tanam di unit CW adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Hf_{\text{total}} &= Hf_{\text{penyangga inlet}} + Hf_{\text{media tanam}} + Hf_{\text{penyangga outlet}} \\
 &= 0,00026 \text{ m} + 0,126 \text{ m} + 0,00026 \text{ m} \\
 &= 0,123 \text{ m} \\
 &= 12,3 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

4.8. *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Bill of Quantity (BOQ) merupakan perincian volume seluruh pekerjaan yang akan dilaksanakan selama proses konstruksi. Penyusunan BOQ bertujuan untuk memudahkan perincian RAB yang meliputi biaya material, peralatan, dan tenaga kerja. Sedangkan Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan perhitungan rekapitulasi biaya konstruksi yang dilakukan berdasarkan BOQ yang telah disusun. Penyusunan RAB dilakukan dengan mengalikan besaran volume pekerjaan pada BOQ dengan standar satuan harga berdasarkan Peraturan Gubernur Aceh Nomor 28 Tahun 2019 tentang Penetapan Standar Satuan Harga (SSH) Pemerintah Aceh Tahun 2020.

4.8.1. *Bill of Quantity* (BOQ)

a. BOQ unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR)

Perhitungan volume pekerjaan untuk unit ABR meliputi volume pembersihan lahan, penggalian tanah, pengurugan pasir yang dipadatkan, pekerjaan beton, pembesian, bekisting, urugan tanah, dan pemasangan perpipaan.

- Volume pembersihan lahan

Luas lahan yang harus dibersihkan untuk pembangunan unit ABR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$A = \text{panjang total unit ABR} \times \text{lebar total unit ABR}$$

Dengan ketebalan dinding yang direncanakan adalah 25 cm maka panjang dan lebar total unit ABR adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P &= \text{panjang unit ABR} + \text{tebal dinding} \\ &= 10,8 \text{ m} + (6 \times 0,25 \text{ m}) \\ &= 12,3 \text{ m} \end{aligned}$$

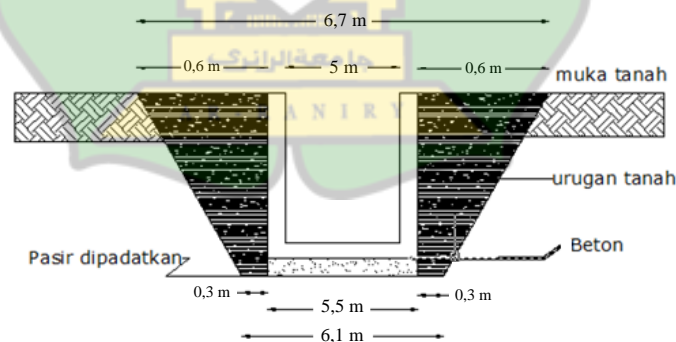
$$\begin{aligned} L &= \text{lebar unit ABR} + \text{tebal dinding} \\ &= 5 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m}) \\ &= 5,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh luas lahan yang dibutuhkan untuk pembangunan unit ABR adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} A &= \text{panjang total unit ABR} \times \text{lebar total unit ABR} \\ &= 12,3 \text{ m} \times 5,5 \text{ m} \\ &= 67,65 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Volume penggalian tanah

Tanah untuk bangunan ABR akan digali dengan penampang samping galian berbentuk trapesium seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.16 berikut.



Gambar 4.16. Penampang Ukuran Galian Unit ABR

Volume galian tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$V = \frac{1}{3} D (A_{\text{sisi atas}} + A_{\text{sisi bawah}} + \sqrt{A_{\text{sisi atas}} + A_{\text{sisi bawah}}})$$

Dimana

$$\begin{aligned} L_1 &= 0,6 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 5 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 0,6 \text{ m} \\ &= 6,7 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_2 &= 0,3 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 5 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\ &= 6,1 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= 0,6 \text{ m} + 12,3 \text{ m} + 0,6 \text{ m} \\ &= 13,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= 0,3 \text{ m} + 12,3 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\ &= 12,9 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \text{kedalaman bangunan} + \text{freeboard} + \text{tebal pasir} + \text{tebal lantai} \\ &= 3 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 0,1 \text{ m} + 0,30 \text{ m} \\ &= 3,9 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh volume galian tanah untuk unit ABR adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{3} D (A_{\text{sisi atas}} + A_{\text{sisi bawah}} + \sqrt{A_{\text{sisi atas}} \times A_{\text{sisi bawah}}}) \\ &= \frac{1}{3} \times 3,9 \text{ m} (13,5 \text{ m} \times 6,7 \text{ m} + 12,9 \text{ m} \times 6,1 \text{ m} + \sqrt{(13,5 \text{ m} \times 6,7 \text{ m}) \times (12,9 \text{ m} \times 6,1 \text{ m})}) \\ &= \frac{1}{3} \times 3,9 \text{ m} (90,45 \text{ m}^2 + 78,69 \text{ m}^2 + \sqrt{90,45 \text{ m}^2 \times 78,69 \text{ m}^2}) \\ &= 329,6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Volume pengurugan pasir yang dipadatkan

Ketebalan pasir urug yang direncanakan adalah 10 cm sehingga perhitungan volume pasir urug yang dibutuhkan untuk konstruksi unit ABR adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V &= \text{luas unit ABR} \times \text{tebal pasir} \\ &= 67,65 \text{ m}^2 \times 0,1 \text{ m} \\ &= 6,77 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Volume pekerjaan beton

Perhitungan volume pekerjaan beton yang dilakukan meliputi volume lantai kerja, dinding, dan atap unit ABR.

- Perhitungan volume lantai kerja beton

Ketebalan lantai kerja beton yang direncanakan adalah 30 cm sehingga volume lantai kerja pada bak pengendap dan kompartemen adalah sebagai berikut.

Sebagian volume lantai pada bak pengendap terpakai untuk ruang lumpur yang berbentuk limas terpancung sehingga keseluruhan volume lantai bak pengendap terdiri atas lantai ruang lumpur ditambah dengan sisa lantai bak pengendap.

$$\begin{aligned}
 V_{\text{lantai (ruang lumpur)}} &= V_{\text{total ruang lumpur}} - V_{\text{aktif ruang lumpur}} \\
 &= (D_{\text{total ruang lumpur}} \times L_{\text{ruang lumpur}} \times P_{\text{ruang lumpur}}) - V_{\text{aktif}} \\
 &= (1,3 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 2 \text{ m}) - 5,55 \text{ m}^3 \\
 &= 13 \text{ m}^3 - 5,55 \text{ m}^3 \\
 &= 7,45 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{lantai (bak pengendap)}} &= V_{\text{lantai ruang lumpur}} + V_{\text{sisa lantai bak pengendap}} \\
 &= 7,45 \text{ m}^3 + (2 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}) \\
 &= 7,45 \text{ m}^3 + 3 \text{ m}^3 \\
 &= 10,45 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{lantai (kompartemen)}} &= 4 (P_{\text{kompartemen}} \times L_{\text{kompartemen}} \times \text{tebal lantai}) \\
 &= 4 (1,7 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}) \\
 &= 10,2 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga total volume lantai kerja pada unit ABR adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{\text{total}} &= V_{\text{bak pengendap}} + V_{\text{kompartemen}} \\
 &= 10,45 \text{ m}^3 + 10,2 \text{ m}^3 \\
 &= 20,65 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

○ Perhitungan volume dinding beton

Perhitungan volume dinding beton pada unit ABR meliputi dinding beton pada bak pengendap dan kompartemen. Diameter pipa yang digunakan adalah 140 mm dan dengan tebal dinding 25 cm maka didapatkan volume pipa sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{\text{pipa}} &= \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right) \cdot \text{tebal dinding} \\
 &= \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,14 \text{ m})^2 \right) \cdot 0,25 \text{ m} \\
 &= 0,0038 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga dapat dihitung volume dinding bak pengendap sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{\text{dinding (bak pengendap)}} &= \{ (L \cdot D \cdot \text{tebal dinding}) - V_{\text{pipa}} \} + \\
 &\quad 2 (P \cdot D \cdot \text{tebal dinding}) + \\
 &\quad \{ (L \cdot D \cdot \text{tebal dinding}) - 7 (V_{\text{pipa}}) \} \\
 &= \{ (5,5 \text{ m} \cdot 3,9 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m}) - 0,0038 \text{ m}^3 \} + \\
 &\quad 2 (4 \text{ m} \cdot 3,9 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m}) + \\
 &\quad \{ (5,5 \text{ m} \cdot 3,9 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m}) - 7 (0,0038 \text{ m}^3) \} \\
 &= 18,5 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{dinding (kompartemen)}} &= 4 \{ 2 (P \cdot D \cdot \text{tebal dinding}) \} + \\
 &\quad \{ 3 (L \cdot D \cdot \text{tebal dinding}) - 7 (V_{\text{pipa}}) \} + \\
 &\quad \{ (L \cdot D \cdot \text{tebal dinding}) - V_{\text{pipa}} \} \\
 &= 4 \{ 2 (1,7 \times 3,9 \times 0,25) \} + \\
 &\quad \{ 3 (5,5 \times 3,9 \times 0,25) - 7 (0,0038) \} + \\
 &\quad \{ (5,5 \times 3,9 \times 0,25) - 0,0038 \} \\
 &= 34,63 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Total volume dinding beton pada unit ABR adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{\text{total}} &= V_{\text{bak pengendap}} + V_{\text{kompartemen}} \\
 &= 18,5 \text{ m}^3 + 34,63 \text{ m}^3 \\
 &= 53,13 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

o Perhitungan volume atap

Perhitungan volume atap pada unit ABR dipengaruhi oleh *manhole*. *Manhole* yang digunakan pada unit ABR berukuran 60 x 60 cm yang terletak di atas masing-masing bak sehingga jumlah *manhole* yang digunakan adalah sebanyak 5 *manhole*.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume}_{\text{manhole}} &= 0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} \\
 &= 0,036 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume}_{\text{atap}} (\text{bak pengendap}) &= (P \cdot L \cdot \text{tebal atap}) - \text{volume}_{\text{manhole}} \\
 &= (4,5 \text{ m} \times 5,5 \text{ m} \times 0,10 \text{ m}) - 0,036 \text{ m}^3 \\
 &= 2,44 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume}_{\text{atap}} (\text{kompertemen}) &= 4 \{ (P \cdot L \cdot \text{tebal}_{\text{atap}}) - \text{volume}_{\text{manhole}} \} \\
 &= 4 \{ (1,95 \text{ m} \times 5,5 \text{ m} \times 0,10 \text{ m}) - 0,036 \text{ m}^3 \} \\
 &= 4,15 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga volume atap pada unit ABR secara keseluruhan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{\text{total}} &= V_{\text{bak pengendap}} + V_{\text{kompertemen}} \\
 &= 2,44 \text{ m}^3 + 4,15 \text{ m}^3 \\
 &= 6,6 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

- Volume pekerjaan pembesian

Pekerjaan pembesian dilakukan dengan menggunakan besi polos. Pekerjaan pembesian dilakukan untuk pekerjaan dinding, lantai, dan atap unit ABR. Besi yang digunakan adalah besi dengan berat 150 kg/m^3 .

- Pekerjaan pembesian untuk lantai

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya diperoleh volume beton untuk pekerjaan lantai adalah $20,65 \text{ m}^3$ sehingga berat besi yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat besi} &= \text{volume lantai beton} \times \text{berat besi} \\
 &= 20,65 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 3.097,5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Pekerjaan pembesian untuk dinding

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya diperoleh volume beton untuk pekerjaan dinding adalah $53,13 \text{ m}^3$ sehingga berat besi yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat besi} &= \text{volume dinding beton} \times \text{berat besi} \\
 &= 53,13 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 7.969,5 \text{ kg} \\
 &= 7.970 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Pekerjaan pembesian untuk atap

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya diperoleh volume beton untuk pekerjaan atap adalah $6,6 \text{ m}^3$ sehingga berat besi yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Berat besi} &= \text{volume atap beton} \times \text{berat besi} \\ &= 6,6 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 \\ &= 990 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Volume pekerjaan bekisting

Perhitungan pekerjaan bekisting meliputi bekisting untuk pekerjaan dinding dan atap unit ABR.

- Pekerjaan bekisting untuk dinding

Perhitungan volume pekerjaan bekisting untuk dinding adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Bekisting dinding} &= 2 (P_{\text{luar abr}} \cdot D_{\text{luar abr}}) + 2 (L_{\text{luar abr}} \cdot D_{\text{luar abr}}) + \\ &8 (L_{\text{dalam abr}} \cdot D_{\text{dalam abr}}) + 2 (P_{\text{dalam pengendap}} \cdot \\ &D_{\text{dalam pengendap}}) + 8 (P_{\text{dalam baffled}} \cdot D_{\text{dalam baffled}}) + \\ &2 (L_{\text{dalam}} \cdot D_{\text{dalam}}) \\ &= 2 (13,3 \text{ m} \times 3,8 \text{ m}) + 2 (5,5 \text{ m} \times 3,8 \text{ m}) + \\ &8 (5 \text{ m} \times 3,8 \text{ m}) + 2 (4 \text{ m} \times 3,8 \text{ m}) + 8 (1,7 \text{ m} \times \\ &3,8 \text{ m}) + 2 (5 \text{ m} \times 3,8 \text{ m}) \\ &= 415 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Pekerjaan bekisting untuk atap

Perhitungan volume pekerjaan bekisting untuk atap unit ABR adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Bekisting atap} &= \text{panjang total} \times \text{lebar total} \\ &= 12,3 \text{ m} \times 5,5 \text{ m} \\ &= 67,65 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Volume pekerjaan pengurugan tanah

Perhitungan volume pekerjaan pengurugan tanah dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$V = \text{Volume galian} - \text{volume bangunan}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \text{Volume bangunan} &= P \times L \times D \\ &= 12,3 \text{ m} \times 5,5 \text{ m} \times 3,9 \text{ m} \\ &= 263,8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Maka volume pengurangan tanah menjadi

$$\begin{aligned} &= V \text{ galian} - V \text{ bangunan} \\ &= 329,6 \text{ m}^3 - 263,8 \text{ m}^3 \\ &= 65,8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Volume pekerjaan pemasangan perpipaan

Penggunaan pipa pada unit ABR adalah sebagai pipa inlet, outlet, dan pipa pengalir antar kompartemen (*down-pipes*). Pipa yang digunakan adalah pipa PVC berdiameter 140 mm atau setara dengan pipa 5 inchi. Jumlah pipa yang digunakan pada tiap kompartemen adalah 7 pipa. Panjang pipa yang diperlukan pada unit ABR adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_{\text{pipa inlet}} &= P_{\text{pipa outlet}} = 1 \text{ m} \\ P_{\text{down-pipes}} &= 28 (2,6 \text{ m}) \\ &= 72,8 \text{ m} \approx 73 \text{ m} \\ P_{\text{total}} &= 1 \text{ m} + 1 \text{ m} + 73 \text{ m} \\ &= 75 \text{ m} \end{aligned}$$

b. *Constructed Wetlands (CW)*

Perhitungan volume pekerjaan untuk unit CW meliputi volume pembersihan lahan, penggalian tanah, pengurangan pasir yang dipadatkan, pekerjaan beton, pembesian, bekisting, urugan tanah, pemasangan perpipaan, dan pengisian media tanam.

- Volume pembersihan lahan

Luas lahan yang harus dibersihkan untuk pembangunan unit CW meliputi luas lahan untuk pembangunan CW dan luas lahan yang dibutuhkan untuk bak penampung. Dengan ketebalan dinding yang direncanakan adalah 25 cm

maka luas lahan total unit CW dan bak penampung adalah sebagai berikut adalah sebagai berikut.

- Luas lahan unit CW

Panjang dan lebar unit CW adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P &= \text{panjang unit CW} + \text{tebal dinding} \\ &= 16 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m}) \\ &= 16,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \text{lebar unit CW} + \text{tebal dinding} \\ &= 16 \text{ m} + (3 \times 0,25 \text{ m}) \\ &= 16,75 \text{ m} \end{aligned}$$

Dengan begitu luas lahan yang dibutuhkan untuk pembangunan dan pembersihan lahan untuk unit CW adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} A &= \text{panjang total unit CW} \times \text{lebar total unit CW} \\ &= 16,5 \text{ m} \times 16,75 \text{ m} \\ &= 276,4 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Luas lahan bak penampung

Panjang dan lebar untuk bak penampung adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P &= \text{panjang bak penampung} + \text{tebal dinding} \\ &= 1 \text{ m} + 0,25 \text{ m} \\ &= 1,25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \text{lebar bak penampung} + \text{tebal dinding} \\ &= 2 \text{ m} + (2 \times 0,25 \text{ m}) \\ &= 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Dengan begitu luas lahan yang dibutuhkan untuk pembangunan dan pembersihan lahan untuk bak penampung adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} A &= \text{panjang total bak penampung} \times \text{lebar total bak penampung} \\ &= 1,25 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \\ &= 3,125 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh luas lahan total untuk pembersihan lahan adalah sebagai berikut.

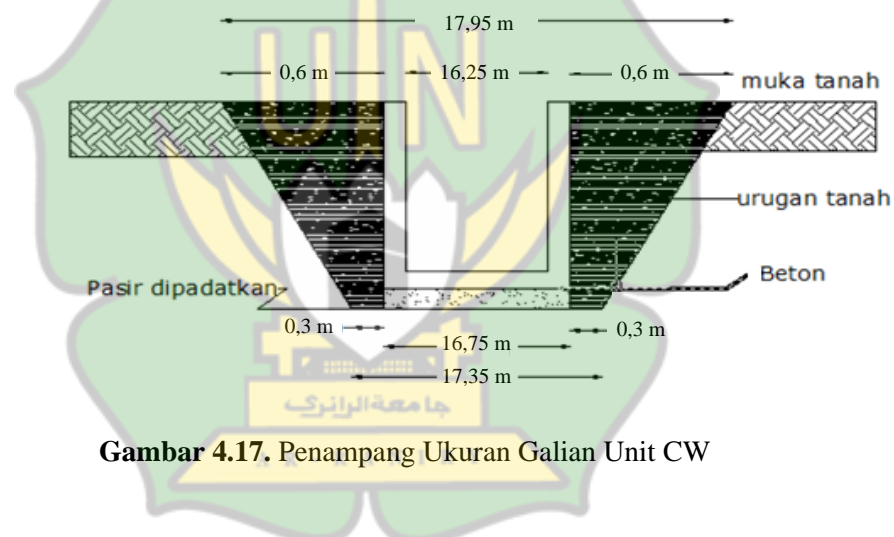
$$\begin{aligned} A_{\text{lahan total}} &= A_{\text{unit CW}} + A_{\text{bak penampung}} \\ &= 276,4 \text{ m}^2 + 3,125 \text{ m}^2 \\ &= 279,53 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Volume penggalian tanah

Volume galian tanah yang dilakukan meliputi volume galian untuk unit CW dan bak penampung.

- Galian tanah unit CW

Tanah untuk galian bangunan CW akan digali dengan penampang samping galian berbentuk trapesium seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.17. berikut.



Gambar 4.17. Penampang Ukuran Galian Unit CW

Volume galian tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$V = \frac{1}{3} D (A_{\text{sisi atas}} + A_{\text{sisi bawah}} + \sqrt{A_{\text{sisi atas}} + A_{\text{sisi bawah}}})$$

Dimana:

$$\begin{aligned} L_1 &= 0,6 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 16,25 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 0,6 \text{ m} \\ &= 17,95 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_2 &= 0,3 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 16,25 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\ &= 17,35 \text{ m} \end{aligned}$$

$$P_1 = 0,6 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 16 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 0,6 \text{ m}$$

$$= 17,7$$

$$P_2 = 0,3 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 16 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 0,3 \text{ m}$$

$$= 17,1 \text{ m}$$

$$D = \text{kedalaman bangunan} + \textit{freeboard} + \text{tebal lantai} + \text{tebal pasir}$$

$$= 0,7 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,10 \text{ m}$$

$$= 1,6 \text{ m}$$

Sehingga diperoleh volume galian tanah untuk unit CW sebagai berikut.

$$V = \frac{1}{3} D (A_{\text{sisi atas}} + A_{\text{sisi bawah}} + \sqrt{A_{\text{sisi atas}} \times A_{\text{sisi bawah}}})$$

$$= \frac{1}{3} \times 1,6 \text{ m} (17,7 \text{ m} \times 17,95 \text{ m} + 17,1 \text{ m} \times 17,35 \text{ m}$$

$$+ \sqrt{(17,7 \text{ m} \times 17,95 \text{ m}) \times (17,1 \text{ m} \times 17,35 \text{ m})})$$

$$= \frac{1}{3} \times 1,6 \text{ m} (317,72 \text{ m}^2 + 296,7 \text{ m}^2 + \sqrt{317,72 \text{ m}^2 \times 296,7 \text{ m}^2})$$

$$= 491,25 \text{ m}^3$$

o Galian tanah bak penampung

Volume galian tanah untuk bak penampung adalah sebagai berikut.

$$L_1 = 0,6 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 2 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 0,6 \text{ m}$$

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

$$L_2 = 0,3 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 2 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 0,3 \text{ m}$$

$$= 3,1 \text{ m}$$

$$P_1 = 0,6 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 1 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 0,6 \text{ m}$$

$$= 2,7$$

$$P_2 = 0,3 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 1 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 0,3 \text{ m}$$

$$= 2,1 \text{ m}$$

$$D = \text{kedalaman bangunan} + \textit{freeboard} + \text{tebal lantai} + \text{tebal pasir}$$

$$= 0,7 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,1 \text{ m}$$

$$= 1,6 \text{ m}$$

Sehingga diperoleh volume galian tanah untuk bak penampung adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{3} D (A_{\text{sisi atas}} + A_{\text{sisi bawah}} + \sqrt{A_{\text{sisi atas}} \times A_{\text{sisi bawah}}}) \\
 &= \frac{1}{3} \times 1,6 \text{ m} (3,7 \text{ m} \times 2,7 \text{ m} + 3,1 \text{ m} \times 2,1 \text{ m} \\
 &\quad + \sqrt{(3,7 \text{ m} \times 2,7 \text{ m}) \times (3,1 \text{ m} \times 2,1 \text{ m})}) \\
 &= \frac{1}{3} \times 1,6 \text{ m} (10 \text{ m}^2 + 6,5 \text{ m}^2 + \sqrt{10 \text{ m}^2 \times 6,5 \text{ m}^2}) \\
 &= 13,1 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dengan begitu diperoleh volume galian total untuk galian adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{\text{galian total}} &= V_{\text{galian unit CW}} + V_{\text{galian bak penampung}} \\
 &= 491,25 \text{ m}^3 + 13,1 \text{ m}^3 \\
 &= 504,35 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

- Volume pengurangan pasir yang dipadatkan

Ketebalan pasir urug yang direncanakan adalah 10 cm sehingga perhitungan volume pasir urug yang dibutuhkan untuk konstruksi unit CW dan bak penampung adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{\text{pasir unit CW}} &= \text{luas unit CW} \times \text{tebal pasir} \\
 &= 276,4 \text{ m}^2 \times 0,1 \text{ m} \\
 &= 27,64 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{pasir bak penampung}} &= \text{luas bak penampung} \times \text{tebal pasir} \\
 &= 3,125 \text{ m}^2 \times 0,1 \text{ m} \\
 &= 0,31 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dengan begitu volume pasir yang dibutuhkan untuk pengurangan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V_{\text{pasir urug}} &= V_{\text{pasir unit CW}} + V_{\text{pasir bak penampung}} \\
 &= 27,64 \text{ m}^3 + 0,31 \text{ m}^3 \\
 &= 27,95 \text{ m}^3 \\
 &= 28 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

- Volume pekerjaan beton

Perhitungan volume pekerjaan beton yang dilakukan meliputi volume lantai kerja dan dinding unit CW dan bak penampung.

- Perhitungan volume lantai kerja beton

Ketebalan lantai kerja beton yang direncanakan adalah 30 cm sehingga volume lantai kerja beton pada unit CW dan bak penampung adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V_{\text{lantai unit CW}} &= \text{luas unit CW} \times \text{tebal lantai} \\ &= (16,5 \text{ m} \times 16,75 \text{ m}) \times 0,3 \text{ m} \\ &= 82,9 \text{ m}^3 \\ &= 83 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{lantai bak penampung}} &= \text{luas bak penampung} \times \text{tebal lantai} \\ &= (1,25 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}) \times 0,3 \text{ m} \\ &= 0,94 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dengan begitu volume lantai beton total adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V_{\text{total lantai}} &= V_{\text{lantai unit CW}} + V_{\text{lantai bak penampung}} \\ &= 83 \text{ m}^3 + 0,94 \text{ m}^3 \\ &= 83,94 \text{ m}^3 \\ &= 84 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Perhitungan volume dinding beton

Tebal dinding yang direncanakan adalah 15 cm. Perhitungan volume dinding beton meliputi volume dinding pada unit CW dan bak penampung.

$$\begin{aligned} V_{\text{dinding CW}} &= 2 (P \times D \times \text{tebal dinding}) + 2(L \times D \times \text{tebal dinding}) \\ &= 2 (16,5 \times 1,5 \times 0,25) + 2 (16,75 \times 1,5 \times 0,25) \\ &= 25 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{bak penampung}} &= 2 (P \cdot D \cdot \text{tebal dinding}) + (L \cdot D \cdot \text{tebal dinding}) \\ &= 2 (1,25 \times 1,5 \times 0,25) + (2,5 \times 1,5 \times 0,25) \\ &= 2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dengan begitu volume dinding beton total adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V_{\text{total dinding}} &= V_{\text{dinding unit CW}} + V_{\text{dinding bak penampung}} \\ &= 25 \text{ m}^3 + 2 \text{ m}^3 \\ &= 27 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Volume pekerjaan pembesian

Pekerjaan pembesian dilakukan dengan menggunakan besi polos. Pekerjaan pembesian dilakukan untuk pekerjaan dinding dan lantai unit CW dan bak penampung. Besi yang digunakan adalah besi dengan berat 150 kg/m^3 .

- Pekerjaan pembesian untuk lantai

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya diperoleh volume beton untuk pekerjaan lantai adalah 84 m^3 sehingga berat besi yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Berat besi} &= \text{volume lantai beton} \times \text{berat besi} \\ &= 84 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 \\ &= 12.600 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Pekerjaan pembesian untuk dinding

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya diperoleh volume beton untuk pekerjaan dinding adalah 27 m^3 sehingga berat besi yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Berat besi} &= \text{volume dinding beton} \times \text{berat besi} \\ &= 27 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 \\ &= 4.050 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dengan begitu besi yang dibutuhkan untuk pengerjaan unit CW adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Berat besi}_{\text{total}} &= \text{berat besi}_{\text{lantai}} + \text{berat besi}_{\text{dinding}} \\ &= 12.600 \text{ kg} + 4.050 \text{ kg} \\ &= 15.003 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Volume pekerjaan bekisting

Pekerjaan bekisting yang dilakukan adalah untuk pekerjaan dinding pada unit CW dan bak penampung. Perhitungan volume pekerjaan bekisting untuk dinding adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Bekisting unit CW} &= 2 (P_{\text{luar}} \cdot D_{\text{luar}}) + 2 (L_{\text{luar}} \cdot D_{\text{luar}}) + \\
 &\quad 2 (P_{\text{dalam}} \cdot D_{\text{dalam}}) + 2 (L_{\text{dalam}} \cdot D_{\text{dalam}}) \\
 &= 2 (16,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}) + 2 (16,75 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}) + \\
 &\quad 2 (16 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}) + 2 (16,25 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}) \\
 &= 196,5 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bekisting bak penampung} &= 2 (P_{\text{luar}} \cdot D_{\text{luar}}) + (L_{\text{luar}} \cdot D_{\text{luar}}) + \\
 &\quad 2 (P_{\text{dalam}} \cdot D_{\text{dalam}}) + (L_{\text{dalam}} \cdot D_{\text{dalam}}) \\
 &= 2 (1,25 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}) + (2,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}) + \\
 &\quad 2 (1 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}) + (2 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}) \\
 &= 13,5 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Dengan begitu volume pekerjaan bekisting yang dibutuhkan untuk pengerjaan unit CW adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Bekisting total} &= \text{bekisting CW} + \text{bekisting bak penampung} \\
 &= 196,5 \text{ m}^2 + 13,5 \text{ m}^2 \\
 &= 210 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- Volume pekerjaan pemasangan perpipaan

Penggunaan pipa pada unit CW dan bak penampung adalah sebagai pipa inlet dan pipa outlet. Pipa yang digunakan adalah pipa PVC berdiameter Ø140 mm (5 inchi) untuk pipa inlet dan pipa Ø 76 mm atau setara dengan pipa 2 ½ inchi untuk pipa outlet. Panjang pipa yang diperlukan pada unit CW dan bak penampung adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{pipa inlet CW}} &= P_{\text{pipa inlet}} + P_{\text{perforated pipe}} \\
 &= 11,2 \text{ m} + 8 \text{ m} \\
 &= 19,2 \text{ m} \approx 20 \text{ m pipa } \text{Ø}140 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{pipa outlet CW}} = 0,5 \text{ m}$$

$$P_{\text{pipa outlet bak penampung}} = 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{outlet total}} &= P_{\text{pipa outlet CW}} + P_{\text{outlet bak penampung}} \\
 &= 0,5 + 1 \text{ m} \\
 &= 1,5 \text{ m pipa } \varnothing 76 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Volume media dan tanaman

- Volume media tanam

Volume media tanam yang dibutuhkan unit CW adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V &= \text{luas media tanam} \times \text{kedalaman media} \\
 &= (15 \text{ m} \times 16 \text{ m}) \times 0,7 \text{ m} \\
 &= 168 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

- Volume media penyangga

Volume media penyangga yang dibutuhkan unit CW adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 V &= \text{luas media penyangga} \times \text{kedalaman media penyangga} \\
 &= (2 (1 \text{ m} \times 8 \text{ m})) \times 0,7 \text{ m} \\
 &= 11,2 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

- Volume tanaman

Jumlah tanaman yang dibutuhkan unit CW adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tanaman} &= \text{luas CW} \times \text{kerapatan tanam} \\
 &= (16 \text{ m} \times 15 \text{ m}) \times 3 \text{ tanaman/m}^2 \\
 &= 720 \text{ tanaman}
 \end{aligned}$$

- Volume pekerjaan pengurugan tanah

Perhitungan volume pekerjaan pengurugan tanah dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$V_{\text{urugan tanah}} = \text{Volume galian} - \text{volume bangunan}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bangunan CW} &= 16,5 \text{ m} \times 16,75 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} \\
 &= 442,2 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume bak penampung} &= 1,25 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} \\ &= 5 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Sehingga volume total bangunan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}V_{\text{bangunan total}} &= V_{\text{CW}} + V_{\text{bak penampung}} \\ &= 442,2 \text{ m}^3 + 5 \text{ m}^3 \\ &= 447,2 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Dengan begitu diperoleh volume pekerjaan pengurugan tanah total sebagai berikut.

$$\begin{aligned}V_{\text{urugan tanah}} &= \text{Volume galian} - \text{volume bangunan} \\ &= 491,25 \text{ m}^3 - 447,2 \text{ m}^3 \\ &= 44,05 \text{ m}^3\end{aligned}$$

4.8.2. Rencana Anggaran Biaya

Perhitungan RAB dilakukan berdasarkan hasil Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP). Tahapan pekerjaan dalam konstruksi IPAL terdiri atas 6 tahapan, yaitu tahap pekerjaan persiapan, tahap pekerjaan tanah, tahap pekerjaan beton, tahap pekerjaan perpipaan, pekerjaan lain-lain, dan tahap pekerjaan *finishing*. Rincian anggaran biaya berdasarkan tahapan pekerjaan konstruksi IPAL dapat dilihat pada Tabel 4.9. dan Tabel 4.10. berikut.

Tabel 4.9. Uraian Tahapan Pekerjaan pada Konstruksi ABR

No.	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Jumlah harga (Rp.)
Tahap Pekerjaan Persiapan				
1.	Pembersihan lahan ringan dan perataan tanah	67,65	m ²	Rp 544.992
2.	Pengukuran dan pemasangan <i>bouwplank</i>	84,15	m ²	Rp 8.312.311
Tahap Pekerjaan Tanah				
1.	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	329,6	m ³	Rp 8.274.773
2.	Pengurugan pasir dipadatkan	6,77	m ³	Rp 1.233.437
3.	Pengurugan tanah kembali	65,8	m ³	Rp 725.734
Tahap Pekerjaan Beton				
1.	Pekerjaan pembesian dinding	7.970	kg	Rp 117.455.194
2.	Pekerjaan bekisting dinding	415	m ²	Rp 143.227.201

3.	Pekerjaan dinding beton	53,13	m ³	Rp	46.322.807
4.	Pekerjaan pembesian lantai	3.098	kg	Rp	45.648.364
5.	Pekerjaan lantai beton	20,65	m ³	Rp	17.994.134
6.	Pekerjaan pembesian atap	990	kg	Rp	14.589.792
7.	Pekerjaan bekisting atap	67,65	m ²	Rp	23.347.759
8.	Pekerjaan atap beton	6,6	m ³	Rp	7.013.635
Tahap Pekerjaan Perpipaan					
1.	Pemasangan pipa air limbah Ø 140 mm	19	batang	Rp	5.375.766
2.	Pemasangan aksesoris pipa	91	buah	Rp	2.724.579
Tahap Pekerjaan Finishing					
3.	Pembersihan lapangan setelah konstruksi	67,65	m ²	Rp	544.992
1.	Pengangkutan tanah keluar proyek	263,8	m ³	Rp	15.257.651
Total Biaya				Rp	458.593.122

Tabel 4.10. Uraian Tahapan Pekerjaan pada Konstruksi CW

No.	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Jumlah harga (Rp.)
Tahap Pekerjaan Persiapan				
1.	Pembersihan lahan ringan dan perataan tanah	279,53	m ²	Rp 2.251.908
2.	Pengukuran dan pemasangan <i>bouwplank</i>	346,75	m ²	Rp 34.251.857
Tahap Pekerjaan Tanah				
1.	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	504,35	m ³	Rp 12.661.959
2.	Pengurugan pasir dipadatkan	28	m ³	Rp 5.101.365
3.	Pengurugan tanah kembali	44,05	m ³	Rp 485.845
Tahap Pekerjaan Beton				
1.	Pekerjaan pembesian dinding	4.050	kg	Rp 59.685.513
2.	Pekerjaan bekisting dinding	210	m ²	Rp 72.476.415
3.	Pekerjaan dinding beton	27	m ³	Rp 23.540.625
4.	Pekerjaan pembesian lantai	12.600	kg	Rp 185.688.161
5.	Pekerjaan lantai beton	84	m ³	Rp 73.196.339
Tahap Pekerjaan Perpipaan				
1.	Pemasangan pipa air limbah Ø 140 mm dan Ø 76 mm	6	batang	Rp 1.515.466

2.	Pemasangan aksesoris pipa	5	buah	Rp	156.029
Tahap Pekerjaan Lainnya					
1.	Pengadaan media dan tanaman	180,2	m ³	Rp	24.377.710
Tahap Pekerjaan Finishing					
1.	Pembersihan lapangan setelah konstruksi	279,53	m ²	Rp	2.251.908
2.	Pengangkutan tanah keluar proyek	447,2	m ³	Rp	25.865.131
Total Biaya				Rp	523.506.230

Berdasarkan Tabel 4.9. dan Tabel 4.10. dapat diketahui total Rencana Anggaran Biaya (RAB) pembangunan IPAL Komunal Gampong Jeulingke adalah sebesar Rp. 982.099.353,00.



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir perencanaan IPAL di Gampong Jeulingke adalah sebagai berikut.

1. IPAL yang direncanakan dari segi kuantitas mampu menampung dan mengolah air limbah domestik dari seluruh warga Dusun Rajawali hasil proyeksi penduduk pada tahun 2033 sedangkan dari segi kualitas mampu menghasilkan *effluent* yang berada di bawah persyaratan baku mutu dalam PERMEN LHK No. 68 Tahun 2016 untuk parameter BOD, COD, TSS, dan *total coliform*.
2. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh dimensi unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) adalah 10,8 m x 5 m x 3 m kedalaman kompartemen dan ditambah 1 meter untuk ruang lumpur pada bak pengendap dengan lahan yang dibutuhkan untuk pembangunan ABR adalah seluas 67,65 m² sedangkan dimensi unit *Constructed Wetland* (CW) adalah 16,5 m x 16,75 m x 1 m dengan lahan yang dibutuhkan untuk pembangunan CW adalah 276,4 m².
3. Biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan IPAL di Gampong Jeulingke adalah Rp. 982.099.353,00.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan verifikasi kembali dengan data dilapangan supaya diperoleh hasil yang lebih baik dan detail sehingga dapat diimplementasikan di wilayah Gampong Jeulingke.
2. Penentuan data penggunaan air bersih sebaiknya dilakukan berdasarkan time series sehingga diperoleh data kebutuhan air bersih yang lebih aktual.
3. Perlu dilakukan survei mengenai kemauan masyarakat terkait pembangunan IPAL di wilayah perencanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Eddy. (2008). *Karakteristik Limbah Cair*. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan. 2 (2): 20.
- Ellis, J. B., Shutes R. B. E., and Revitt, D. M. (2003). *Guidance Manual for Constructed Wetlands*. United Kingdom: Environment Agency.
- Filliazati, M., Apriani, I., dan Zahara, T. A. (2013). Pengolahan Limbah Cair Domestik dengan Biofilter Aerob Menggunakan Media *Bioball* dan Tanaman Kiambang. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*. 1 (1): 1 –10.
- Götzenberger, J. (2009). *Praxis Oriented Training Manual Decentralized Wastewater Treatment Systems (DEWATS)*. DHAN Foundation, Centre for Urban Water Resources (CURE): Madurai, India.
- Hartati, Indrawati, Sitepu, R., dan Tamba, N. (2016). Metode Geometri, Metode Aritmatika, dan Metode Eksponensial untuk Memproyeksikan penduduk Provinsi Sumatera Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Sains Matematika Informatika dan Aplikasinya IV*. Fakultas MIPA, Universitas Lampung. Vol. 4, Buku 4: 7 – 18.
- Herrari, S. (2015). Perencanaan Teknologi Sanitasi sebagai Upaya Bebas Buang Air Besar Sembarangan di Kecamatan Tegalsari Kota Surabaya. *Skripsi*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Hibban, M., Rezagama, A., dan Purwono. (2016). Studi Penurunan Konsentrasi Amonia dalam Limbah Cair Domestik dengan Teknologi Biofilter Aerob Media Tubular Plastik pada Awal Pengolahan. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 5 (2): 1 – 9.
- Hijosa, M. H. (2010). Optimization of Performance Assesment and Design Characteristics in Constructed Wetland for The Removal of Organic Matter. *Chemospher*. 81: 651 – 657.
- Hlavinek, Petr, Bonacci, O., Marsalek, J., and Mahrikova, I. (2007). *Dangerous Pollutants (Xenobiotics) in Urban Water Cycle*. Springer: Lednice, Czech Republic.
- Husnabilah, A. (2016). Perencanaan *Constructed Wetland* untuk Pengolahan *Greywater* Menggunakan Tumbuhan *Canna indica* (Studi Kasus:

- Kelurahan Keputih Surabaya). *Skripsi*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2016). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Khambali. (2011). *Teknologi Bioenergi*. Bogor: PT Agromedia Pustaka.
- Lestari, D. E. (2012). Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Domestik dengan Metode Rawa Buatan (*Constructed Wetland*). *Skripsi*. Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Islam Negeri Alauddin. Makassar.
- Morel, A. dan Diener. (2006). *Greywater Management in Low and Middle Income Countries, Review of Different Treatment Systems for Households or Neighbourhoods*. Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.
- Muttamara, S. (1996). Wastewater Characteristics. *Resources, Conservation and Recycling*.16: 145 – 159.
- Nanga, K. O. M. P. P. (2017). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Kelurahan Lemahputro dan Kelurahan Sidokare Kecamatan Sidoarjo Kabupaten Sidoarjo. *Skripsi*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Pemerintah Aceh. (2019). Keputusan Gubernur Aceh Nomor 28 Tahun 2019 Tentang Penetapan Standar Satuan Harga Pemerintah Aceh Tahun 2020.
- Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Pokja Sanitasi Kota Banda Aceh. (2019). Pemutakhiran Strategi Sanitasi Kota (SSK) Kota Banda Aceh 2020-2014.
- Pratiwi, R. S. (2015). Perencanaan Pengelolaan Air Limbah Domestik di Kelurahan Keputih Surabaya. *Skripsi*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Sachit, D. E. (2019). Wastewater Treatment Plants. *Thesis*. Environmental Engineering Department, Mustansiriyah University, Iraq

- Safroedin, A. dan Mangkoedihardjo, S. (2016). Desain IPAL Pengolahan *Grey Water* dengan Teknologi *Subsurface Flow Constructed Wetland* di Rusunawa Grudo Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*. 5 (2): 198 – 207.
- Said, N. I. (2000). Teknologi Pengolahan Air Limbah dengan Proses Biofilm Tercelup. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 1 (2).
- Said, N. I. (2008). *Pengolahan Air Limbah Domestik di DKI Jakarta: Tinjauan Permasalahan, Strategi, dan Teknologi Pengolahan*. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).
- Said, N. I. (2017). *Teknologi Pengolahan Air Limbah: Teori dan Aplikasi*. Jakarta: Erlangga.
- Sakinah, D. S. (2018). Perencanaan IPAL Pengolahan Limbah Cair Industri PanganSkala Rumah Tangga. *Skripsi*. Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Sasse, L., Gutterer, B., Panzerbieter, T., dan Reckerzurgel, T. (2009). *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries*. Germany: Bremen Research and Development Association (BORDA).
- Siregar, S. A. (2005). *Instalasi Pengolahan Air Limbah*. Yogyakarta: Kanisius.
- Sudewo, A. R. (2016). *Hybrid Constructed Wetland (HCW)* sebagai Upaya Pengolahan Air Limbah Domestik pada Pemukiman Padat Penduduk di Daerah Bantaran Sungai (Studi Kasus: Kejawan Gebang Kelurahan Gebang Putih Surabaya). *Skripsi*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Supradata. (2005). Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias *Cyperus alternifolius*, L. dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah permukaan (SSF-Wetlands). *Tesis*. Program Pasca Sarjana, Universitas Diponegoro. Semarang.
- Suswati, A. C. S. P. dan Gunawan, W. (2013). Pengolahan Limbah Domestik dengan Teknologi Taman Tanaman Air (*Constructed Wetland*). *Indonesian Green Technology Journal*. 2 (2): 70 – 77.
- Tchobanoglous, G. and Burton, F. L. (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*. International Edition. Singapore: McGraw-Hill inc.

- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., dan Stensel, H. D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th Edition. United State: McGraw-Hill inc.
- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., and Zurbrügg, C. (2014). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. 2nd Revised Edition. Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. ISBN 978-3-906484-57-0.
- Umar, M. A. (2011). Peran Masyarakat dan Pemerintah dalam Pengelolaan Air Limbah Domestik di Wilayah Ternate Tengah. *Majalah Geografi Indonesia*. 25 (1): 42 – 54.
- Wang J.L., Huang, Y. H., and Zhao, X. (2004). Performance and Characteristics of an Anaerobic Baffled Reactor. *Bioresearch Technology*. 93: 205 – 208.
- Wisjnuprpto. (2007). *Pengelolaan Limbah Industri*. Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung. Bandung.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Proyeksi Penduduk

Tabel 1.1. Jumlah penduduk dan angka pertumbuhan penduduk Dusun Rajawali tahun 2017 – 2020.

Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)	Pertumbuhan Penduduk	
		Jiwa	%
2017	718	0	0
2018	769	51	7,103
2019	729	-40	-5,202
2020	750	21	2,881
Jumlah			4,782
Rata-rata pertumbuhan penduduk			1,2
Standar deviasi			5,17
Deviasi maksimum			6,37
Deviasi minimum			-3,97

Tabel 1.2. Perhitungan koefisien korelasi (R) menggunakan metode aritmatika

Tahun	Jumlah Penduduk	Selisih tahun (X)	Selisih jumlah penduduk (Y)	XY	X ²	Y ²
2017	718	0	0	0	0	0
2018	769	1	51	51	1	2601
2019	729	2	-40	-80	4	1600
2020	750	3	21	63	9	441
Jumlah	2966	6	32	34	14	4642
R					-0,094538503	

Tabel 1.3. Perhitungan koefisien korelasi (R) menggunakan metode geometri

Tahun	Jumlah Penduduk	Nomor tahun (X)	Jumlah penduduk (Ln Y)	XY	X ²	Y ²
2017	718	1	6,576	6,576	1	43,250
2018	769	2	6,645	13,290	4	44,157
2019	729	3	6,592	19,775	9	43,450
2020	750	4	6,620	26,480	16	43,825
Jumlah	2966	10	26,433	66,122	30	174,683
R					0,328	

Tabel 1.4. Perhitungan koefisien korelasi (R) menggunakan metode *least square*

Tahun	Jumlah Penduduk	Nomor tahun (X)	Jumlah penduduk (Y)	XY	X ²	Y ²
2017	718	1	718	718	1	515524
2018	769	2	769	1538	4	591361
2019	729	3	729	2187	9	531441
2020	750	4	750	3000	16	562500
Jumlah	2966	10	2966	7443	30	2200826
R					0,319	

Contoh perhitungan proyeksi penduduk dengan menggunakan metode geometri adalah sebagai berikut.

Diketahui:

$$P_0 = \text{jumlah penduduk tahun 2020}$$

$$= 750 \text{ orang}$$

$$r = 1,2 \% = 0,012$$

$$n \text{ tahun 2025} = 5$$

Maka jumlah penduduk pada tahun 2025 adalah sebagai berikut.

$$P_n = P_0 (1 + r)^n$$

$$P_{25} = P_0 (1 + r)^5$$

$$= 750 (1 + 0,012)^5$$

$$= 796 \text{ jiwa}$$

Perhitungan proyeksi penduduk Dusun Rajawali tahun 2021 – 2033 dapat dilihat pada Tabel 1.5. berikut.

Tabel 1.5. Hasil perhitungan proyeksi penduduk Dusun Rajawali tahun 2021 – 2033

Tahun	Jumlah Penduduk
2017	718
2018	769
2019	729
2020	750
2021	759
2022	768
2023	777
2024	787
2025	796
2026	806
2027	815
2028	825
2029	835
2030	845
2031	855
2032	865
2033	876

Lampiran 2. Lembar Hasil Uji Kualitas Air Limbah



PEMERINTAH ACEH
DINAS KESEHATAN
UPTD BALAI LABORATORIUM KESEHATAN



Jl. Tgk. H. Mohd. Daud Beureueh No. 168 Telp. (0651) 23834 Fax. (0651) 23834 Banda Aceh
E-mail: labkes_aceh@yahoo.com Website: http://labkes-aceh.blogspot.com

HASIL UJI ANALISA AIR

No Order : 288
 No. Sampel : 247 / 1 / IV / 2021
 Nama Pengirim : Raihan Rani
 Alamat : -
 Petugas Pengambil : Raihan Rani
 Tanggal Ambil : 12 April 2021 Jam : 07.05 Wib
 Tanggal Terima : 12 April 2021 Jam : 09.40 Wib
 Tanggal Analisa : 12 s/d 26 April 2021
 Jenis sampel : Air Limbah
 Lokasi : Jeulingke 1 Kec. Syiah Kuala
 Abnormalitas : -
 Baku Mutu : PerMenLHK RI : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016
 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Acuan Metode
1	pH*	-	-	7,25	SNI 06-6989.11-2004
2	BOD ₅	mg/l	30	92	Manual Book
3	COD	mg/l	100	154	SNI 6989.73 : 2009
4	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/l	30	183	Manual Book
5	Amoniak (NH ₃)	mg/l	10	0,90	Merck 1.00599.0002

FR.IV/KKT.02/Rev:1

Ket : * Parameter yang terakreditasi
 PH di analisa di LabKes atas permintaan pelanggan

Catatan :

- Lembar hasil pemeriksaan tidak diumumkan & hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
- Lembar hasil pemeriksaan tidak boleh digandakan & disebarluaskan tanpa persetujuan dari Kepala UPTD Balai Laboratorium Kesehatan Aceh
- Parameter pemeriksaan ini sesuai dengan PerMenLHK RI No : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016
- Pengambilan sampel tidak dilakukan oleh petugas LabKes, Laboratorium hanya bertanggung jawab terhadap sampel yang diterima oleh LabKes

Banda Aceh, 29 April 2021
 Penanggung Jawab Teknis



Rekha Melati, SKM

Nip. 19720602 199403 2 003

**PEMERINTAH ACEH
DINAS KESEHATAN
UPTD BALAI LABORATORIUM KESEHATAN**
Jl. Tgk. H. Mohd. Daud Beureueh No. 168 Telp. (0651) 23834 Fax (0651) 23834 Banda Aceh
E-mail: labkes_aceh@yahoo.com Website: <http://labkes.aceh.blogspot.com>



No. Lab	Lokasi dan jenis sample	HASIL PEMERIKSAAN MIKROBIOLOGI						Keterangan		
		Damir /g / Jam Diperiksa /g / Jam	Parameter	Satuan	Kual. Maksimum yang diperbolehkan Perkol/Lak Ri No : P.66/Menik Setjen/Kem. 1/6/2016	MPN Colform / 100 ml	MPN E.Coli / 100 ml		TPC / ml	
288	Air Limbah Jeulangka 1 Kec Syiah Kuala Sumber : IPAL	12/04/2021 Jam 07.05 12/04/2021 Jam 12.30	Colform	Jumlah per 100 ml sampel	Colform 3.000	5.700	-	9	10	Trak Memenuhi Syarat sesuai Baku Mutu Perkol/Lak Ri No : P.66/ Menik/Serjen/Kem. 1/6/ 2016

REVISI/HEBAT/REV 0
Revisi : Revisi Baru
Catatan : - Pengambilan sample tidak dilakukan oleh petugas labkes
- Laboratorium hanya bertanggung jawab terhadap sample yang diterima oleh Labkes





**PEMERINTAH ACEH
DINAS KESEHATAN
UPTD BALAI LABORATORIUM KESEHATAN**



Jl. Tgk. H. Mohd. Daud Beureuh No. 168 Telp. (0651) 23834 Fax. (0651) 23834 Banda Aceh
E-mail: labkes_aceh@yahoo.com Website: http://labkes-aceh.blogspot.com

HASIL UJI ANALISA AIR

No Order : 289
 No. Sampel : 248 / 2 / IV / 2021
 Nama Pengirim : Raihan Rani
 Alamat : -
 Petugas Pengambil : Raihan Rani
 Tanggal Ambil : 12 April 2021 Jam : 07.17 Wib
 Tanggal Terima : 12 April 2021 Jam : 09.40 Wib
 Tanggal Analisa : 12 s/d 26 April 2021
 Jenis sampel : Air Limbah
 Lokasi : Jeulingke 2 Kec. Syiah Kuala
 Abnormalitas : -
 Baku Mutu : PerMenLHK RI : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016
 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Acuan Metode
1	pH*	-	-	6,32	SNI 06-6989.11-2004
2	BOD ₅	mg/l	30	68	Manual Book
3	COD	mg/l	100	128	SNI 6989.73 : 2009
4	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/l	30	169	Manual Book
5	AmoniaK (NH ₃)	mg/l	10	0,60	Merck 1.00599.0002

FR.IV/KKT.02/Rev:1

Ket : * Parameter yang terakreditasi
 PH di analisa di LabKes atas permintaan pelanggan

Catatan :

- Lembar hasil pemeriksaan tidak diumumkan & hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
- Lembar hasil pemeriksaan tidak boleh digandakan & disebarluaskan tanpa persetujuan dan Kepala UPTD Balai Laboratorium Kesehatan Aceh
- Parameter pemeriksaan ini sesuai dengan PerMenLHK RI No : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016
- Pengambilan sampel tidak dilakukan oleh petugas LabKes, Laboratorium hanya bertanggung jawab terhadap sampel yang diterima oleh LabKes

Banda Aceh, 29 April 2021
 Kepala Pengung Jawab Teknis



Rekha Melati, SKM
 Nip. 19720602 199403 2 003



**PEMERINTAH ACEH
DINAS KESEHATAN
UPTD BALAI LABORATORIUM KESEHATAN**
Jl. Tgk. H. Mhd. Daud Beureueh No. 168 Telp. (0651) 23834 Fax (0651) 23834 Banda Aceh
E-mail: labkes_aceh@yahoo.com Website: <http://labkes-aceh.blogspot.com>

No. Lab	Lokasi dan jenis sampel	HASIL PEMERIKSAAN MIKROBIOLOGI						Keterangan	
		Diambil tgl / Jam Dipernis tgl / Jam	Parameter	Satuan	Kodar Polonium yang disumbangkan Perkecukuk ID No : P.01/HS/01 (Setjen/ Kum.10/2016)	MPI Colform / 100 ml	HASIL PEMERIKSAAN MPI E Coli / 100 ml		TPC / ml
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
209	Air Limbah Jeulingga 2 kec. Syiah Kuala Sumber : IPAL	12/04/2021 Jam 07.17 ⁰⁰ 12/04/2021 Jam 12.35 ⁰⁰	Colform	Jumlah per 100 ml sampel	Colform - 3.000	4.300	-	-	Tidak Memenuhi Syarat sesuai Baku Mutu Peraturan No : P.007/ Menab/Satjen/Kum.1/00/ 2016

FR/VI/19-B.01/Rev-0

Penugas : Bahan Buri

Cacatan : - Pengambilan sampel tidak dilakukan oleh petugas labkes

- Laboratorium hanya bertanggung jawab terhadap sampel yang diterima oleh Labkes

PEMERINTAH ACEH
UPTD BALAI LABORATORIUM KESEHATAN
Banda Aceh, 16 April 2021
Validator





PEMERINTAH ACEH
DINAS KESEHATAN
UPTD BALAI LABORATORIUM KESEHATAN



Jl. Tgk. H. Mohd. Daud Beureueh No. 168 Telp. (0651) 23834 Fax. (0651) 23834 Banda Aceh
E-mail: labkes_aceh@yahoo.com Website: http://labkes-aceh.blogspot.com

HASIL UJI ANALISA AIR

No Order : 290
No. Sampel : 249 / 3 / IV / 2021
Nama Pengirim : Raihan Rani
Alamat : -
Petugas Pengambil : Raihan Rani
Tanggal Ambil : 12 April 2021 Jam : 07.29 Wib
Tanggal Terima : 12 April 2021 Jam : 09.40 Wib
Tanggal Analisa : 12 s/d 26 April 2021
Jenis sampel : Air Limbah
Lokasi : Jeulingke 3 Kec. Syiah Kuala
Abnormalitas : -
Baku Mutu : PerMenLHK RI : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016
Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Acuan Metode
1	pH*	-	-	7,65	SNI 06-6989.11-2004
2	BOD ₅	mg/l	30	83	Manual Book
3	COD	mg/l	100	146	SNI 6989.73 : 2009
4	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/l	30	204	Manual Book
5	AmoniaK (NH ₃)	mg/l	10	1,38	Merck 1.00599.0002

FR.IV/KKT.02/Rev:1

Ket : * Parameter yang terakreditasi
PH di analisa di LabKes atas permintaan pelanggan

Catatan :

- Lembar hasil pemeriksaan tidak diumumkan & hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
- Lembar hasil pemeriksaan tidak boleh digandakan & disebarluaskan tanpa persetujuan dari Kepala UPTD Balai Laboratorium Kesehatan Aceh
- Parameter pemeriksaan ini sesuai dengan PerMenLHK RI No : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016
- Pengambilan sampel tidak dilakukan oleh petugas LabKes, Laboratorium hanya bertanggung jawab terhadap sampel yang diterima oleh LabKes

Banda Aceh, 29 April 2021
Penanggung Jawab Teknis



**PEMERINTAH ACEH
DINAS KESEHATAN
UPTD BALAI LABORATORIUM KESEHATAN**



Jl. Tgk. H. Mohd. Daud Beureuh No. 168 Telp. (0651) 23834 Fax (0651) 23834 Banda Aceh
E-mail: labkes_aceh@yahoo.com Website: <http://labkes-aceh.blogspot.com>

No. Lab	Lokasi dan jenis sample	HASIL PEMERIKSAAN MIKROBIOLOGI					HASIL PEMERIKSAAN			Keterangan
		Diambil tgl / Jam Diperiksa tgl / Jam	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan PerMenLHK RI No : P.68/MenLHK /Setjen/ Kum.1/8/2016	MPN Coliform / 100 ml	MPN E.Coli / 100 ml	TPC / ml		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
290	Air Limbah Jeulinge 3 Kec. Syiah Kuala Sumber : IPAL	12/04/2021 Jam 07.29 ^{wb} 12/04/2021 Jam 12.40 ^{wb}	Coliform	Jumlah per 100 ml sampel	Coliform 3.000	5.900	-	-	Tidak Memenuhi Syarat sesuai Baku Mutu PerMenLHK RI No - P.68/ MenLHK/Setjen/Kum.1/8/ 2016	

FR.IV/HP.B.01/Rev:0

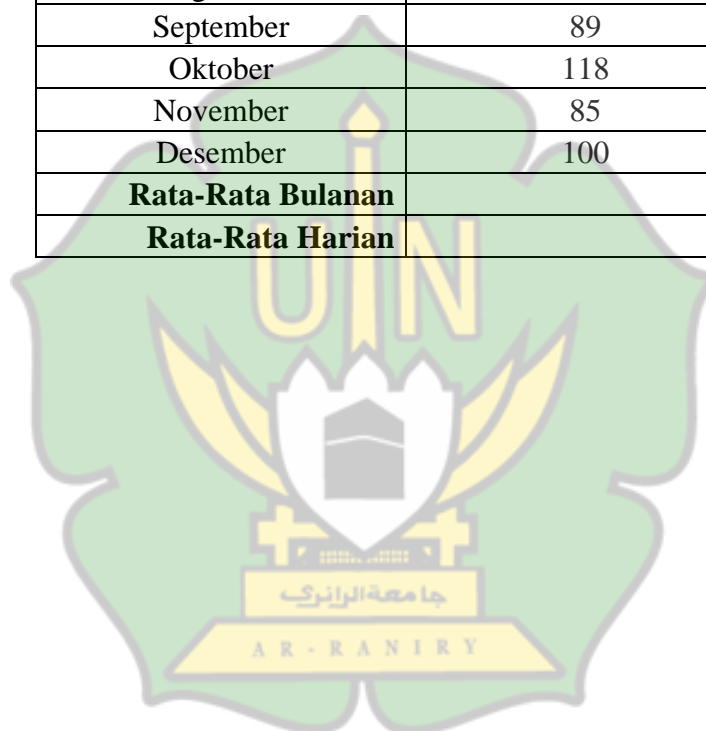
Pelugas : Rahan Rami
Cacatan : - Pengambilan sampel tidak dilakukan oleh petugas labkes
- Laboratorium hanya bertanggung jawab terhadap sampel yang diterima oleh LabKes



Yusnaini, SKM
NIP.19640621.198403.2.002

Lampiran 3. Data Curah Hujan Kota Banda Aceh 2020 (BPS Kota Banda Aceh)

Bulan	Jumlah Curah Hujan (mm/bulan)
Januari	106
Februari	93
Maret	80
April	73
Mei	58
Juni	49
Juli	92
Agustus	60
September	89
Oktober	118
November	85
Desember	100
Rata-Rata Bulanan	84
Rata-Rata Harian	2,8



Lampiran 4. Analisa Harga Satuan Pokok Kegiatan

Tabel 4.1. Analisa Harga Satuan Pokok Kegiatan Pembangunan Unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR)

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Volume Pekerjaan	Jumlah Harga	
1.	Pembersihan Lahan Ringan dan Perataan Tanah						
	Tenaga Kerja:						
	Mandor	O.H	0,025	Rp 113.442	67,65	Rp 191.859	
	Pembantu Tukang	O.H	0,06	Rp 87.000		Rp 353.133	
Total Harga						Rp 544.992	
2.	Pengukuran dan Pemasangan <i>Bouwplank</i>						
	Tenaga Kerja:						
	Mandor	O.H	0,0045	Rp 113.442	84,15	Rp 42.958	
	Kepala Tukang Kayu	O.H	0,01	Rp 130.000		Rp 109.395	
	Tukang Kayu	O.H	0,1	Rp 98.000		Rp 824.670	
	Pembantu Tukang	O.H	0,1	Rp 87.000		Rp 732.105	
	Bahan:						
	Paku Biasa 2" – 5"	Doz	0,05	Rp 28.200		Rp 118.652	
	Kayu Meranti (Usuk 4/6, 5/7)	m ³	0,012	Rp 4.188.000		Rp 4.229.042	
	Kayu Meranti (Bekisting)	m ³	0,008	Rp 3.350.400	Rp 2.255.489		
Total Harga						Rp 8.312.311	
3.	Galian Tanah Biasa untuk Konstruksi						
	Tenaga Kerja:						
	Mandor	O.H	0,025	Rp 113.442	329,6	Rp 934.762	
Operator	O.H	0,075	Rp 170.206	Rp 4.207.492			
Alat:							

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Volume Pekerjaan	Jumlah Harga	
	Sewa excavator	jam	0,0528	Rp 180.000		Rp 3.132.518	
	Total Harga						Rp 8.274.773
4.	Pengurugan Pasir Dipadatkan						
	Tenaga Kerja:						
	Mandor	O.H	0,01	Rp 113.442	6,77	Rp 7.680	
	Pembantu Tukang	O.H	0,3	Rp 87.000		Rp 176.697	
	Bahan:						
	Pasir urug	m ³	1,2	Rp 129.131		Rp 1.049.060	
	Total Harga						Rp 1.233.437
5.	Pengurugan Tanah Kembali						
	Tenaga Kerja:						
	Mandor	O.H	0,019	Rp 113.442	65,8	Rp 141.825	
	Pembantu Tukang	O.H	0,102	Rp 87.000		Rp 583.909	
	Total Harga						Rp 725.734
6.	Pekerjaan Pembesian Dinding						
	Tenaga Kerja:						
	Mandor	O.H	0,0004	Rp 113.442	7.970	Rp 361.653	
	Kepala Tukang Besi	O.H	0,0007	Rp 131.724		Rp 734.888	
	Tukang Besi	O.H	0,007	Rp 98.000		Rp 5.467.420	
	Pembantu Tukang	O.H	0,007	Rp 87.000		Rp 4.853.730	
	Bahan:						
	Besi Beton polos diameter 6 mm	Kg	1,05	Rp 12.440		Rp 104.104.140	
	Kawat Beton	Kg	0,015	Rp 16.172		Rp 1.933.363	
	Total Harga						Rp 117.455.194

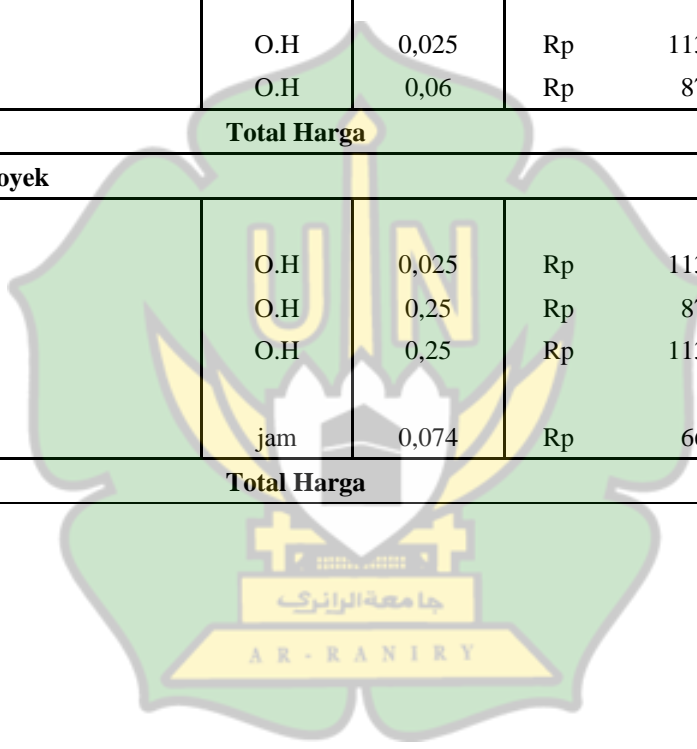
No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Volume Pekerjaan	Jumlah Harga	
7.	Pekerjaan Bekisting Dinding						
	Tenaga Kerja:						
	Mandor	O.H	0,033	Rp 113.442	415	Rp 1.553.588	
	Kepala Tukang Kayu	O.H	0,033	Rp 130.000		Rp 1.780.350	
	Tukang Kayu	O.H	0,33	Rp 98.000		Rp 13.421.100	
	Pembantu Tukang	O.H	0,66	Rp 87.000		Rp 23.829.300	
	Bahan:						
	Paku Kayu	Kg	0,4	Rp 16.787		Rp 2.786.642	
	Plywood ukuran 122 mm x 244 mm x 9 mm	Lembar	0,35	Rp 121.400		Rp 17.633.350	
	Kayu Kamper Balok 4/6 , 5/7	m ³	0,02	Rp 4.711.500		Rp 39.105.450	
	Kayu Meranti Bekisting	m ³	0,03	Rp 3.350.400		Rp 41.712.480	
	Minyak Bekisting	Liter	0,2	Rp 16.927		Rp 1.404.941	
Total Harga						Rp 143.227.201	
8.	Pekerjaan Dinding Beton K - 100						
	Tenaga kerja:						
	Mandor:	O.H	0,083	Rp 113.442	53,13	Rp 500.255	
	Kepala Tukang Batu	O.H	0,028	Rp 131.724		Rp 195.958	
	Tukang Batu	O.H	0,275	Rp 98.000		Rp 1.431.854	
	Pembantu Tukang	O.H	1,65	Rp 87.000		Rp 7.626.812	
	Bahan:						
	Semen Portland (40 kg)	Zak	6,175	Rp 67.148		Rp 22.029.765	
	Pasir Beton	m ³	0,5431	Rp 225.979		Rp 6.520.602	
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m ³	0,5258	Rp 287.000		Rp 8.017.561	
Total Harga						Rp 46.322.807	

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Volume Pekerjaan	Jumlah Harga
9.	Pekerjaan Pembesian Lantai					
	Tenaga Kerja:					
	Mandor	O.H	0,0004	Rp 113.442	3.097,50	Rp 140.555
	Kepala Tukang Besi	O.H	0,0007	Rp 131.724		Rp 285.611
	Tukang Besi	O.H	0,007	Rp 98.000		Rp 2.124.885
	Pembantu Tukang	O.H	0,007	Rp 87.000		Rp 1.886.378
	Bahan:					
	Besi Beton polos diameter 6 mm	Kg	1,05	Rp 12.440	Rp 40.459.545	
	Kawat Beton	Kg	0,015	Rp 16.172	Rp 751.392	
Total Harga						Rp 45.648.364
10.	Pekerjaan Lantai Beton K – 225 (used 100)					
	Tenaga Kerja:					
	Mandor	O.H	0,083	Rp 113.442	20,65	Rp 194.434
	Kepala Tukang Batu	O.H	0,028	Rp 131.724		Rp 76.163
	Tukang Batu	O.H	0,27	Rp 98.000		Rp 546.399
	Pembantu Tukang	O.H	1,65	Rp 87.000		Rp 2.964.308
	Bahan:					
	Semen Portland (40 kg)	Zak	6,175	Rp 67.148	Rp 8.562.293	
	Pasir Beton	m ³	0,5431	Rp 225.979	Rp 2.534.358	
Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m ³	0,5258	Rp 287.000	Rp 3.116.180		
Total Harga						Rp 17.994.134
11.	Pekerjaan Atap Beton K – 175 (used: K – 225)					
	Tenaga Kerja:				6,6	
	Mandor	O.H	0,083	Rp 113.442		Rp 62.144

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Volume Pekerjaan	Jumlah Harga	
	Kepala Tukang Batu	O.H	0,028	Rp 131.724		Rp 24.343	
	Tukang Batu	O.H	0,27	Rp 98.000		Rp 174.636	
	Pembantu Tukang	O.H	1,65	Rp 87.000		Rp 947.430	
	Bahan:						
	Semen Portland (40 kg)	Zak	9,275	Rp 67.148		Rp 4.110.465	
	Pasir Beton	m ³	0,4363	Rp 225.979		Rp 650.725	
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m ³	0,5511	Rp 287.000		Rp 1.043.894	
	Total Harga						Rp 7.013.635
12.	Pekerjaan Bekisting Atap						
	Tenaga Kerja:						
	Mandor	O.H	0,033	Rp 113.442		Rp 253.254	
	Kepala Tukang Kayu	O.H	0,033	Rp 130.000		Rp 290.219	
	Tukang Kayu	O.H	0,33	Rp 98.000		Rp 2.187.801	
	Pembantu Tukang	O.H	0,66	Rp 87.000		Rp 3.884.463	
	Bahan:				67,65		
	Paku Kayu	Kg	0,4	Rp 16.787		Rp 454.256	
	Plywood ukuran 122 mm x 244 mm x 9 mm	Lembar	0,35	Rp 121.400		Rp 2.874.449	
	Kayu Kamper Balok 4/6 , 5/7	m ³	0,02	Rp 4.711.500		Rp 6.374.660	
	Kayu Meranti Bekisting	m ³	0,03	Rp 3.350.400		Rp 6.799.637	
	Minyak Bekisting	Liter	0,2	Rp 16.927		Rp 229.022	
	Total Harga						Rp 23.347.759
13.	Pekerjaan Pemesian Atap						
	Tenaga Kerja:				990		
	Mandor	O.H	0,0004	Rp 113.442		Rp 44.923	

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Volume Pekerjaan	Jumlah Harga
	Kepala Tukang Besi	O.H	0,0007	Rp 131.724		Rp 91.285
	Tukang Besi	O.H	0,007	Rp 98.000		Rp 679.140
	Pembantu Tukang	O.H	0,007	Rp 87.000		Rp 602.910
	Bahan:					
	Besi Beton polos diameter 6 mm	Kg	1,05	Rp 12.440		Rp 12.931.380
	Kawat Beton	Kg	0,015	Rp 16.172		Rp 240.154
	Total Harga					Rp 14.589.792
14.	Pemasangan Pipa Air Limbah Ø 140 mm					
	Tenaga Kerja:					
	Mandor	O.H	0,027	Rp 113.442		Rp 3.063
	Kepala Tukang Batu	O.H	0,009	Rp 131.724		Rp 1.186
	Tukang Batu	O.H	0,09	Rp 98.000		Rp 8.820
	Pembantu Tukang	O.H	0,054	Rp 87.000		Rp 4.698
	Bahan:					
	Pipa PVC Ø 140 mm panjang 4 m	Batang	19	Rp 282.000		Rp 5.358.000
	Total Harga					Rp 5.375.766
15.	Pemasangan Aksesoris Pipa					
	Tenaga Kerja:					
	Mandor	O.H	0,02	Rp 113.442		Rp 2.269
	Pembantu Tukang	O.H	0,08	Rp 87.000		Rp 6.960
	Bahan:					
	Pipa Ventilasi 1,5 inch	Buah	5	Rp 31.550		Rp 157.750
	Tee	Buah	58	Rp 30.000		Rp 1.740.000
	Elbow 90°	Buah	28	Rp 29.200		Rp 817.600

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Volume Pekerjaan	Jumlah Harga
Total Harga						Rp 2.724.579
16.	Pembersihan Lahan setelah Konstruksi					
	Tenaga Kerja:					
	Mandor	O.H	0,025	Rp 113.442	67,65	Rp 191.859
	Pembantu Tukang	O.H	0,06	Rp 87.000		Rp 353.133
Total Harga						Rp 544.992
17.	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek					
	Tenaga Kerja:					
	Mandor	O.H	0,025	Rp 113.442	263,8	Rp 748.150
	Pembantu Tukang	O.H	0,25	Rp 87.000		Rp 5.737.650
	Supir	O.H	0,25	Rp 113.442		Rp 7.481.500
	Alat:					
	Sewa dump truck 5 ton	jam	0,074	Rp 66.100		Rp 1.290.351
Total Harga						Rp 15.257.651



Tabel 4.2. Analisa Harga Satuan Pokok Kegiatan Pembangunan Unit *Constructed Wetland* (CW)

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Volume Pekerjaan	Jumlah Harga
1.	Pembersihan Lahan Ringan dan Perataan Tanah					
	Tenaga Kerja:					
	Mandor	O.H	0,025	Rp 113.442	279,53	Rp 792.761
	Pembantu Tukang	O.H	0,06	Rp 87.000		Rp 1.459.147
Total Harga						Rp 2.251.908
2.	Pengukuran dan Pemasangan <i>Bouwplank</i>					
	Tenaga Kerja:				346,75	
	Mandor	O.H	0,0045	Rp 113.442		Rp 177.012
	Kepala Tukang Kayu	O.H	0,01	Rp 130.000		Rp 450.775
	Tukang Kayu	O.H	0,1	Rp 98.000		Rp 3.398.150
	Pembantu Tukang	O.H	0,1	Rp 87.000		Rp 3.016.725
	Bahan:					
	Paku Biasa 2” – 5”	Doz	0,05	Rp 28.200		Rp 488.918
	Kayu Meranti (Usuk 4/6, 5/7)	m ³	0,012	Rp 4.188.000	Rp 17.426.268	
	Kayu Meranti (Bekisting)	m ³	0,008	Rp 3.350.400	Rp 9.294.010	
Total Harga						Rp 34.251.857
3.	Galian Tanah Biasa untuk Konstruksi					
	Tenaga Kerja:				504,35	
	Mandor	O.H	0,025	Rp 113.442		Rp 1.430.362
	Operator	O.H	0,075	Rp 170.206		Rp 6.438.255
Alat:						
Sewa <i>excavator</i>	jam	0,0528	Rp 180.000	Rp 4.793.342		

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Volume Pekerjaan	Jumlah Harga
	Total Harga					Rp 12.661.959
4.	Pengurugan Pasir Dipadatkan					
	Tenaga Kerja:					
	Mandor	O.H	0,01	Rp 113.442	28	Rp 31.764
	Pembantu Tukang	O.H	0,3	Rp 87.000		Rp 730.800
	Bahan:					
	Pasir urug	m ³	1,2	Rp 129.131		Rp 4.338.802
	Total Harga					Rp 5.101.365
5.	Pengurugan Tanah Kembali					
	Tenaga Kerja:					
	Mandor	O.H	0,019	Rp 113.442	44,05	Rp 94.945
	Pembantu Tukang	O.H	0,102	Rp 87.000		Rp 390.900
	Total Harga					Rp 485.845
6.	Pekerjaan Pemesian Dinding					
	Tenaga Kerja:					
	Mandor	O.H	0,0004	Rp 113.442	4.050	Rp 183.776
	Kepala Tukang Besi	O.H	0,0007	Rp 131.724		Rp 373.438
	Tukang Besi	O.H	0,007	Rp 98.000		Rp 2.778.300
	Pembantu Tukang	O.H	0,007	Rp 87.000		Rp 2.466.450
	Bahan:					
	Besi Beton polos diameter 6 mm	Kg	1,05	Rp 12.440		Rp 52.901.100
	Kawat Beton	Kg	0,015	Rp 16.172		Rp 982.449
	Total Harga					Rp 59.685.513

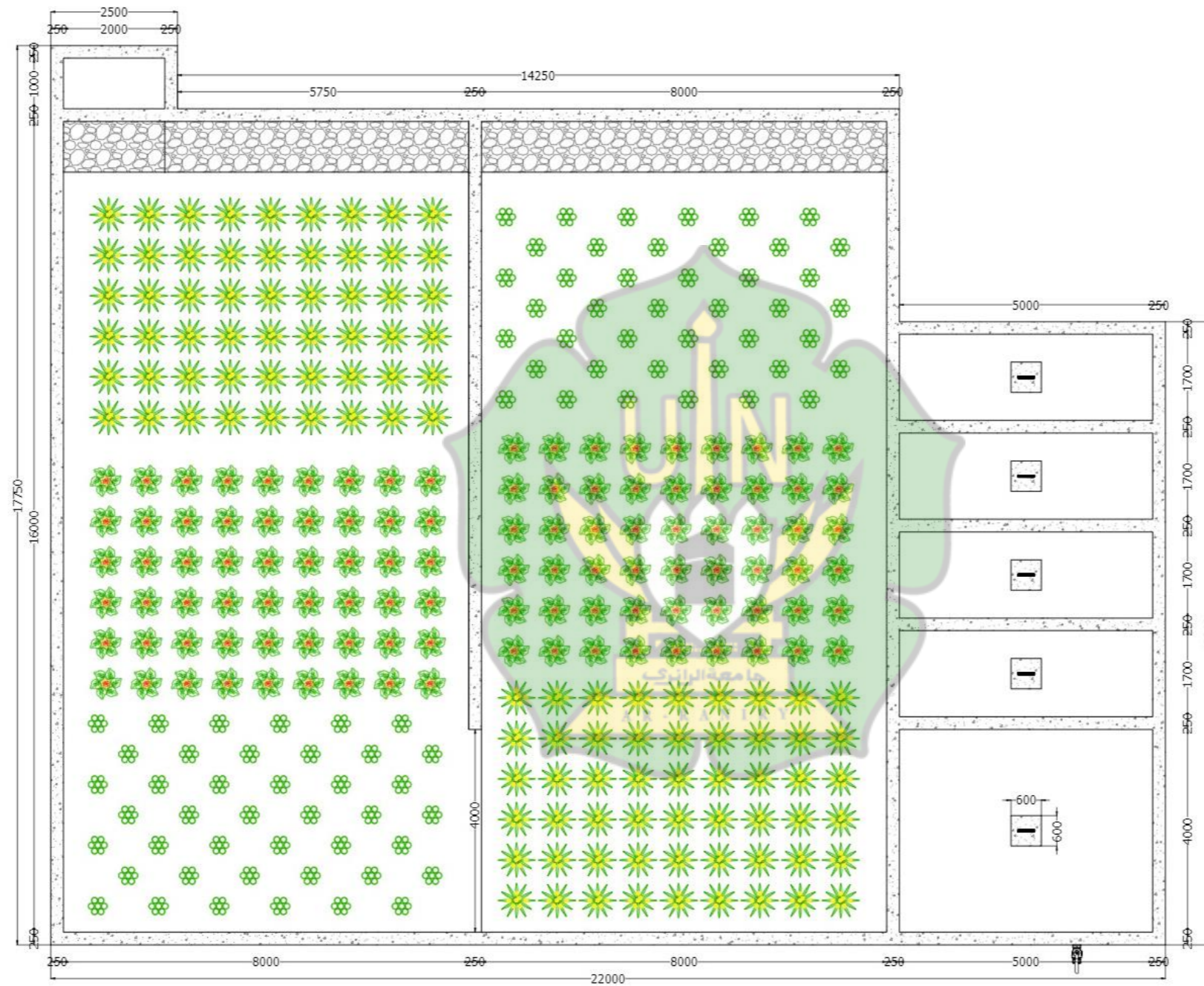
No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Volume Pekerjaan	Jumlah Harga	
7.	Pekerjaan Bekisting Dinding						
	Tenaga Kerja:						
	Mandor	O.H	0,033	Rp 113.442	210	Rp 786.153	
	Kepala Tukang Kayu	O.H	0,033	Rp 130.000		Rp 900.900	
	Tukang Kayu	O.H	0,33	Rp 98.000		Rp 6.791.400	
	Pembantu Tukang	O.H	0,66	Rp 87.000		Rp 12.058.200	
	Bahan:						
	Paku Kayu	Kg	0,4	Rp 16.787		Rp 1.410.108	
	Plywood ukuran 122 mm x 244 mm x 9 mm	Lembar	0,35	Rp 121.400		Rp 8.922.900	
	Kayu Kamper Balok 4/6 , 5/7	m ³	0,02	Rp 4.711.500		Rp 19.788.300	
	Kayu Meranti Bekisting	m ³	0,03	Rp 3.350.400		Rp 21.107.520	
	Minyak Bekisting	Liter	0,2	Rp 16.927		Rp 710.934	
Total Harga						Rp 72.476.415	
8.	Pekerjaan Dinding Beton K - 100						
	Tenaga kerja:						
	Mandor:	O.H	0,083	Rp 113.422	27	Rp 254.179	
	Kepala Tukang Batu	O.H	0,028	Rp 131.724		Rp 99.583	
	Tukang Batu	O.H	0,275	Rp 98.000		Rp 727.650	
	Pembantu Tukang	O.H	1,65	Rp 87.000		Rp 3.875.850	
	Bahan:						
	Semen Portland (40 kg)	Zak	6,175	Rp 67.148		Rp 11.195.250	
Pasir Beton	m ³	0,5431	Rp 225.979	Rp 3.313.688			
Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m ³	0,5258	Rp 287.000	Rp 4.074.424			

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Volume Pekerjaan	Jumlah Harga
	Total Harga					Rp 23.540.625
9.	Pekerjaan Pembesian Lantai					
	Tenaga Kerja:					
	Mandor	O.H	0,0004	Rp 113.422	12.600	Rp 571.647
	Kepala Tukang Besi	O.H	0,0007	Rp 131.724		Rp 1.161.806
	Tukang Besi	O.H	0,007	Rp 98.000		Rp 8.643.600
	Pembantu Tukang	O.H	0,007	Rp 87.000		Rp 7.673.400
	Bahan:					
	Besi Beton polos diameter 6 mm	Kg	1,05	Rp 12.440		Rp 164.581.200
	Kawat Beton	Kg	0,015	Rp 16.172		Rp 3.056.508
	Total Harga					Rp 185.688.161
10.	Pekerjaan Lantai Beton K – 225 (used 100)					
	Tenaga Kerja:					
	Mandor	O.H	0,083	Rp 113.422	84	Rp 790.778
	Kepala Tukang Batu	O.H	0,028	Rp 131.724		Rp 309.815
	Tukang Batu	O.H	0,27	Rp 98.000		Rp 2.222.640
	Pembantu Tukang	O.H	1,65	Rp 87.000		Rp 12.058.200
	Bahan:					
	Semen Portland (40 kg)	Zak	6,175	Rp 67.148		Rp 34.829.668
	Pasir Beton	m ³	0,5431	Rp 225.979		Rp 10.309.252
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m ³	0,5258	Rp 287.000		Rp 12.675.986
	Total Harga					Rp 73.196.339

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Volume Pekerjaan	Jumlah Harga
11.	Pemasangan Perpipaan					
	Tenaga Kerja:					
	Mandor	O.H	0,027	Rp 113.442		Rp 3.063
	Kepala Tukang Batu	O.H	0,009	Rp 131.724		Rp 1.186
	Tukang Batu	O.H	0,09	Rp 98.000		Rp 8.820
	Pembantu Tukang	O.H	0,054	Rp 87.000		Rp 4.698
	Bahan:					
Pipa PVC Ø 76 mm panjang 4 m	Batang	1	Rp 87.700		Rp 87.700	
Pipa PVC Ø 140 mm panjang 4 m	Batang	5	Rp 282.000		Rp 1.410.000	
Total Harga						Rp 1.515.466
12.	Pemasangan Aksesoris Pipa					
	Tenaga Kerja:					
	Mandor	O.H	0,02	Rp 113.442		Rp 2.269
	Pembantu Tukang	O.H	0,08	Rp 87.000		Rp 6.960
	Bahan:					
	Tee	Buah	1	Rp 30.000		Rp 30.000
Elbow 90°	Buah	4	Rp 29.200		Rp 116.800	
Total Harga						Rp 156.029
13	Pengadaan Media dan Tanaman					
	Tenaga Kerja:					
	Mandor	O.H	0,083	Rp 113.422	256	Rp 2.409.991
	Kepala Tukang Batu	O.H	0,028	Rp 131.724		Rp 944.198
	Tukang Batu	O.H	0,04	Rp 98.000		Rp 1.003.520
Pembantu Tukang	O.H	0,2	Rp 87.000	Rp 4.454.400		

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Volume Pekerjaan	Jumlah Harga
	Bahan:					
	Coarse Gravel	m ³	0,77	Rp 174.160	12,2	Rp 1.636.059
	Medium Gravel	m ³	0,23	Rp 174.160	168	Rp 6.729.542
	Tanaman (bambu air, bintang air, dan kana)	Batang		Rp 10.000	720	Rp 7.200.000
	Total Harga					Rp 24.377.710
14.	Pembersihan Lahan setelah Konstruksi					
	Tenaga Kerja:					
	Mandor	O.H	0,025	Rp 113.442	279,53	Rp 792.761
	Pembantu Tukang	O.H	0,06	Rp 87.000		Rp 1.459.147
	Total Harga					Rp 2.251.908
15.	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek					
	Tenaga Kerja:					
	Mandor	O.H	0,025	Rp 113.442	447,2	Rp 1.268.282
	Pembantu Tukang	O.H	0,25	Rp 87.000		Rp 9.726.600
	Supir	O.H	0,25	Rp 113.442		Rp 12.682.816
	Alat:					
	Sewa dump truck 5 ton	jam	0,074	Rp 66.100		Rp 2.187.434
	Total Harga					Rp 25.865.131

Lampiran 5. Gambar *Detail Engineering Design (DED)* Unit PengolahanGambar 5.1. *Site Plan* Rencana IPAL Komunal Gampong Jeulingke



TAMPAK ATAS IPAL



Jurusan Teknik Lingkungan
 Fakultas Sains dan Teknologi
 Universitas Islam Negeri Ar - Raniry
 Banda Aceh

Judul Tugas Akhir

Perencanaan Instalasi Pengolahan
 Air Limbah (IPAL) Komunal pada
 Gampong Jeulingke Kota
 Banda Aceh

Judul Gambar

Tampak Atas IPAL

Legenda

-  Course Gravel
-  Beton
-  Medium Gravel
-  Tanaman Bintang Air
(Cyperus Papyrus)
-  Tanaman Bunga Tasbih
(Canna Indica)
-  Tanaman Bambu Air
(Equisetum Hyemale)

Nama Mahasiswa

Raihan Rani

160702093

Dosen Pembimbing

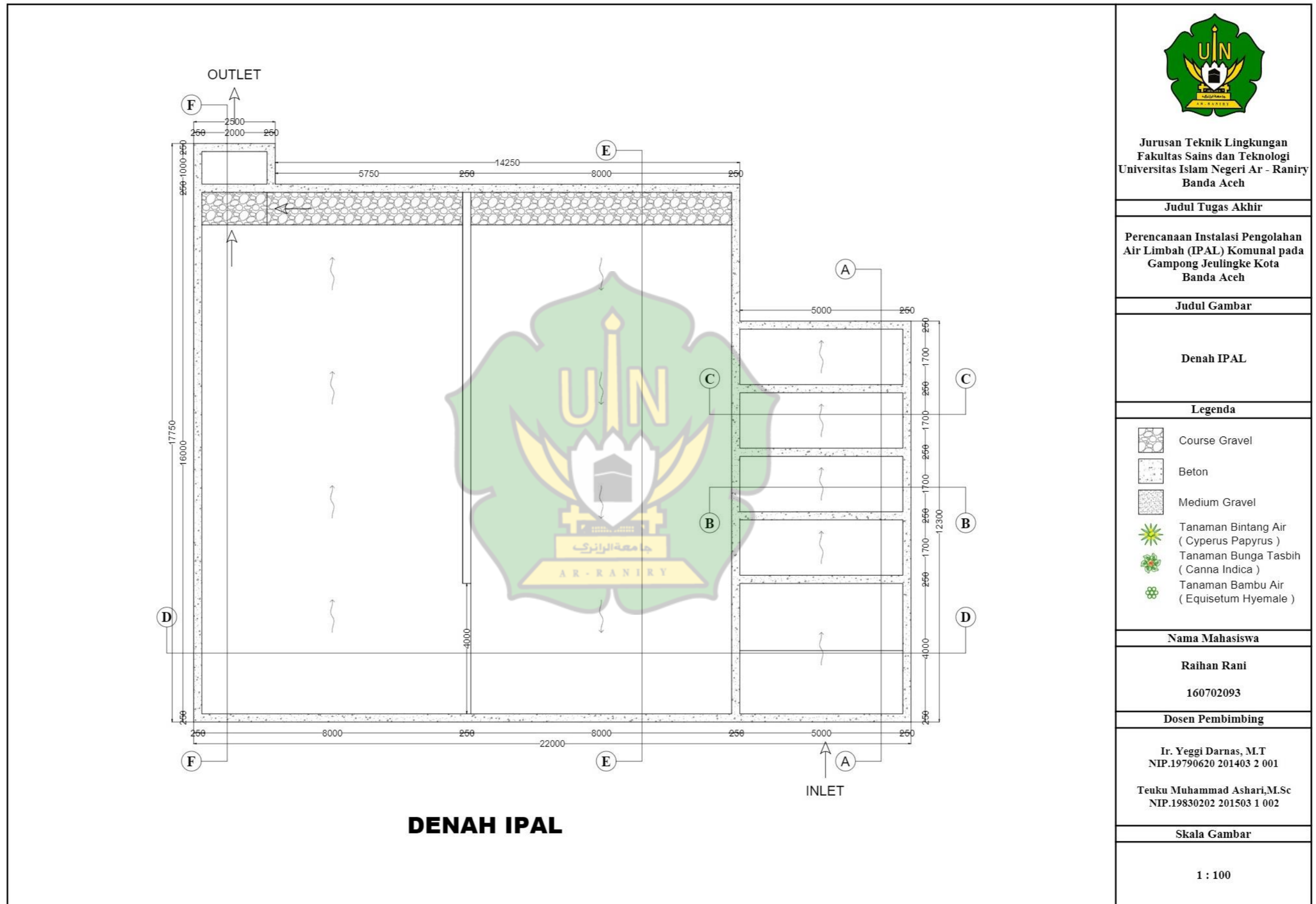
Ir. Yeggi Darnas, M.T
 NIP.19790620 201403 2 001

Teuku Muhammad Ashari, M.Sc
 NIP.19830202 201503 1 002

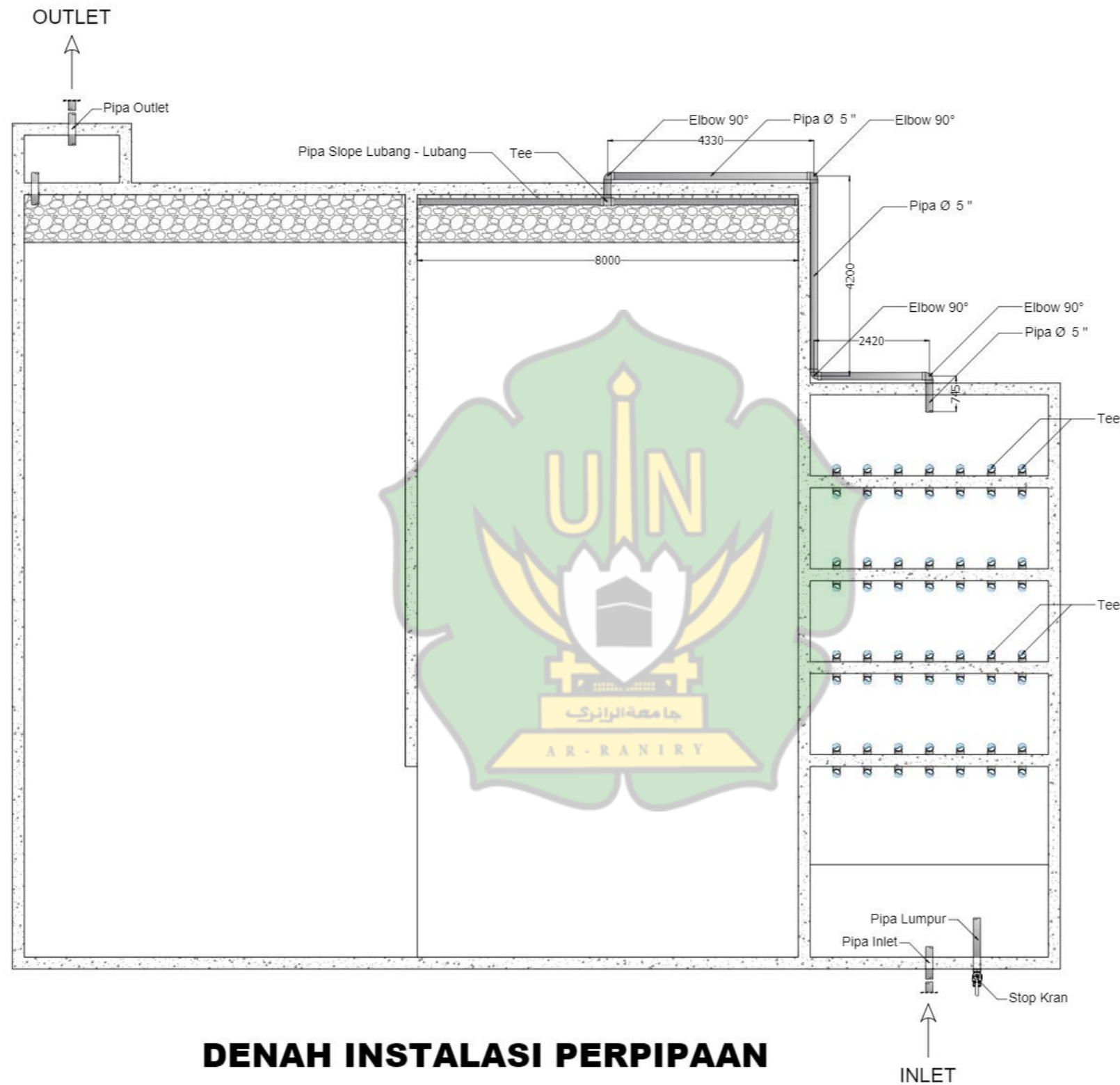
Skala Gambar

1 : 100

Gambar 5.2. Tampak Atas Rencana IPAL Komunal Gampong Jeulingke



Gambar 5.3. Denah Rencana IPAL Komunal Gampong Jeulingke



DENAH INSTALASI PERPIPAAN



Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar - Raniry
Banda Aceh








Judul Tugas Akhir

Perencanaan Instalasi Pengolahan
Air Limbah (IPAL) Komunal pada
Gampong Jeulingke Kota
Banda Aceh

Judul Gambar

Denah Instalasi
Perpipaan

Legenda

-  Course Gravel
-  Beton
-  Medium Gravel
-  Elbow 90°
-  Tee
-  Pipa Ø 5"
-  Pipa Slope Lubang - Lubang

Nama Mahasiswa

Raihan Rani

160702093

Dosen Pembimbing

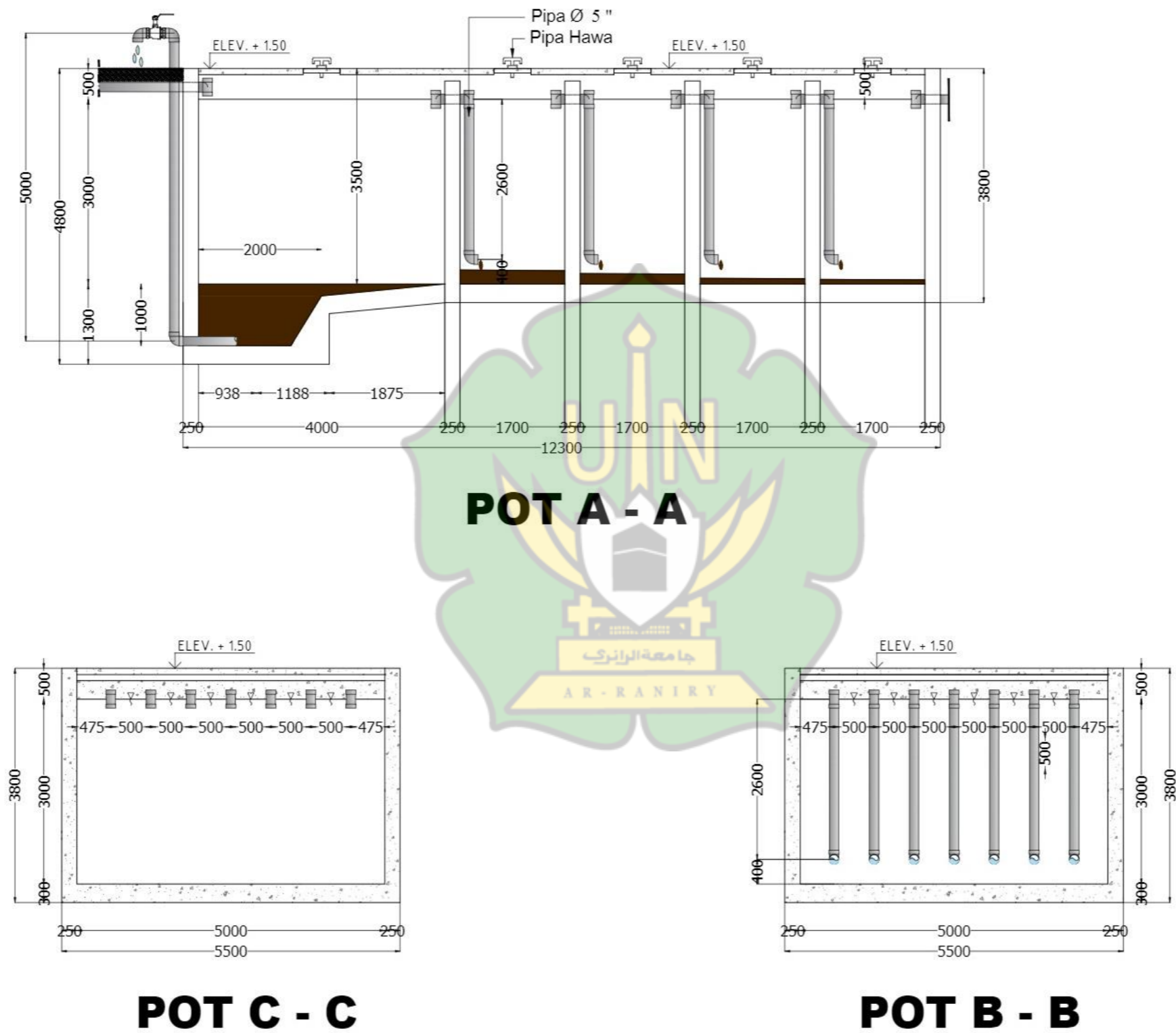
Ir. Yeggi Darnas, M.T
NIP.19790620 201403 2 001

Teuku Muhammad Ashari, M.Sc
NIP.19830202 201503 1 002

Skala Gambar

1 : 100

Gambar 5.4. Denah Rencana Instalasi Perpipaan IPAL Komunal Gampong Jeulingke



Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar - Raniry
Banda Aceh

Judul Tugas Akhir

Perencanaan Instalasi Pengolahan
Air Limbah (IPAL) Komunal pada
Gampong Jeulingke Kota
Banda Aceh

Judul Gambar

Potongan IPAL

Legenda

-  Course Gravel
-  Beton
-  Medium Gravel

Nama Mahasiswa

Raihan Rani

160702093

Dosen Pembimbing

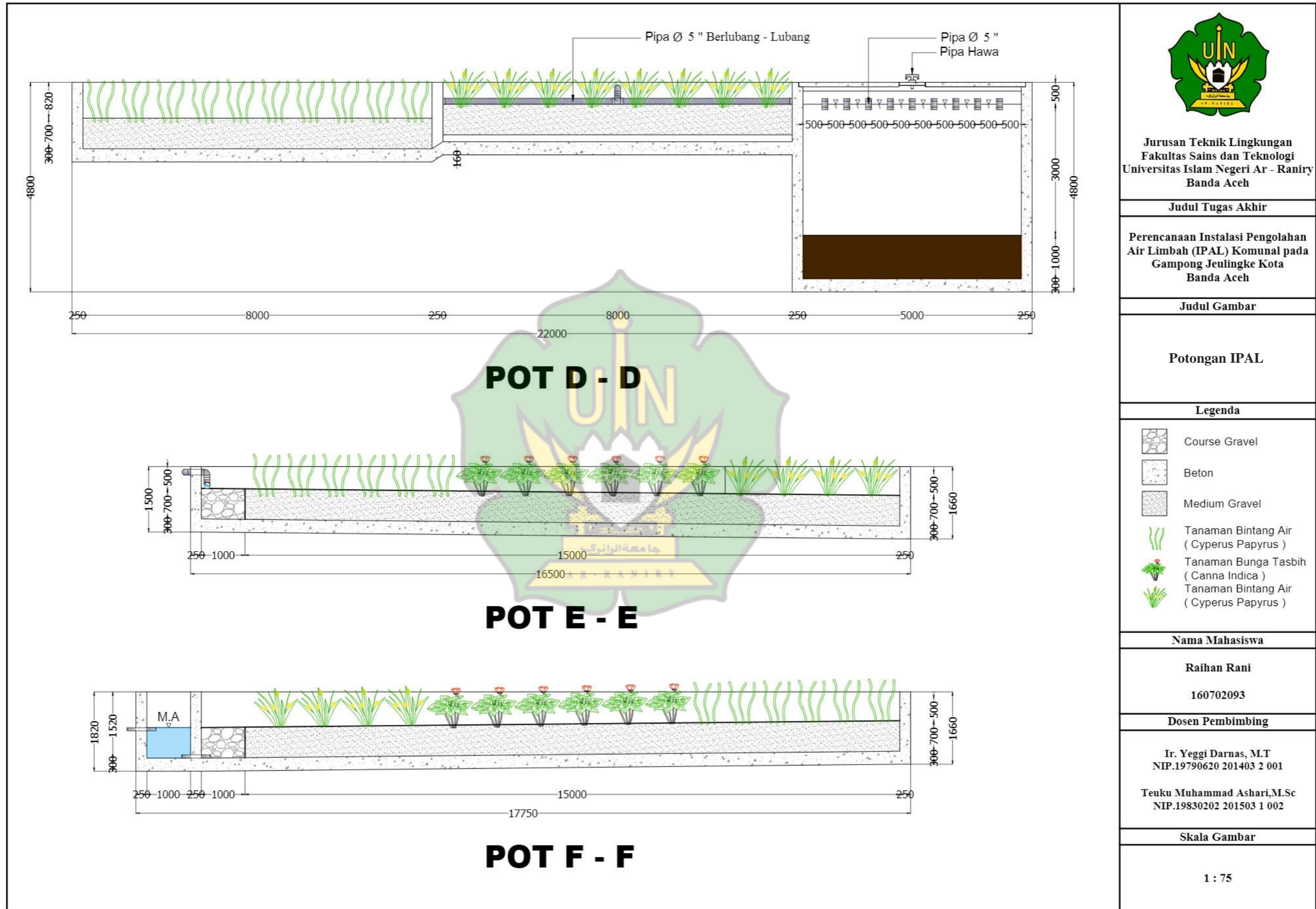
Ir. Yeggi Darnas, M.T
NIP.19790620 201403 2 001

Teuku Muhammad Ashari, M.Sc
NIP.19830202 201503 1 002

Skala Gambar

1 : 75

Gambar 5.5. Potongan Rencana IPAL Komunal Gampong Jeulingke



Gambar 5.6. Potongan Rencana IPAL Komunal Gampong Jeulingke



Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar - Raniry
Banda Aceh

Judul Tugas Akhir

Perencanaan Instalasi Pengolahan
Air Limbah (IPAL) Komunal pada
Gampong Jeulingke Kota
Banda Aceh

Judul Gambar

Profil Hidrolis IPAL

Legenda

-  Course Gravel
-  Beton
-  Medium Gravel
-  Tanaman Bintang Air
(Cyperus Papyrus)
-  Tanaman Bunga Tasbih
(Canna Indica)
-  Tanaman Bintang Air
(Cyperus Papyrus)

Nama Mahasiswa

Raihan Rani

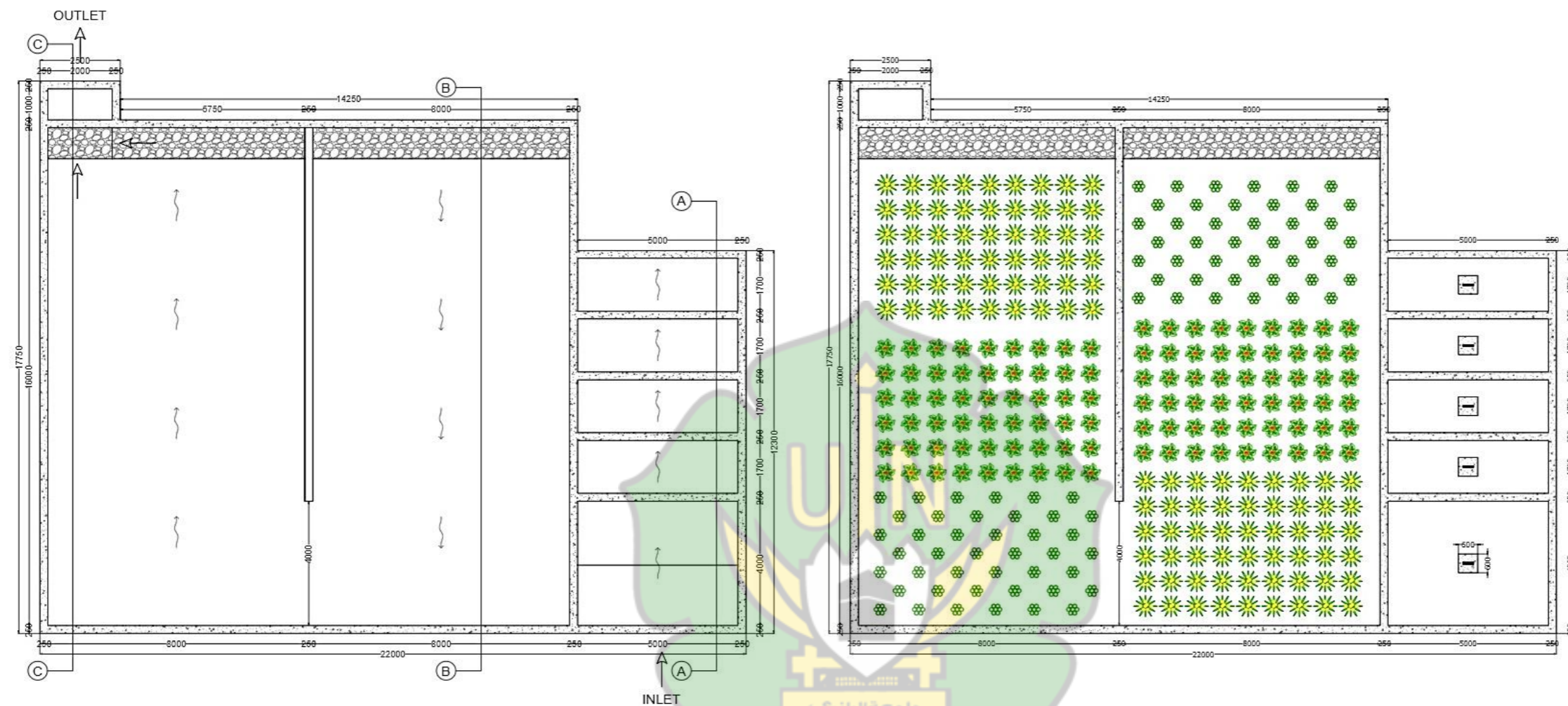
160702093

Dosen Pembimbing

Ir. Yeggi Darnas, M.T
NIP.19790620 201403 2 001
Teuku Muhammad Ashari, M.Sc
NIP.19830202 201503 1 002

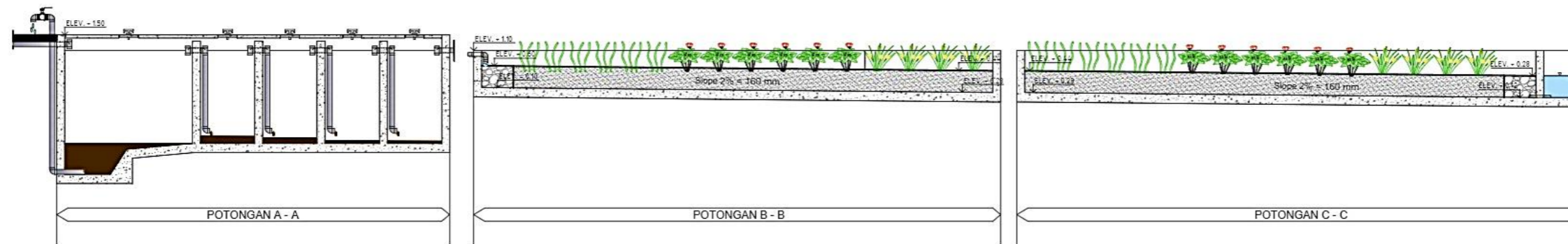
Skala Gambar

1 : 150



DENAH IPAL

TAMPAK ATAS IPAL



PROFIL HIDROLIS

Gambar 5.7. Potongan Rencana IPAL Komunal Gampong Jeulingke

Lampiran 6. Foto-Foto Kegiatan



Gambar 6.1. Pengambilan sampel *blackwater* pada titik *sampling* 1



Gambar 6.2. Pengambilan sampel *greywater* pada titik *sampling* 1



Gambar 6.3. Pengambilan sampel *blackwater* pada titik *sampling* 2



Gambar 6.4. Pengambilan sampel *greywater* pada titik *sampling* 2



Gambar 6.5. Pengambilan sampel *blackwater* pada titik *sampling* 3



Gambar 6.6. Sterilisasi botol sampel uji *total coliform*



RIWAYAT HIDUP PENULIS



Raihan Rani, dilahirkan di Desa Keude Trienggadeng pada hari Sabtu tanggal 1 Agustus 1998. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Imran Hasan dengan Rohani. Peneliti menyelesaikan Pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Trienggadeng pada tahun 2010. Pada tahun ini juga peneliti melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di MTsS Jeumala Amal Lueng Putu, Pidie Jaya, dan tamat pada tahun 2013, kemudian melanjutkan Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 5 Banda Aceh dan tamat pada tahun 2016. Pada tahun 2016 peneliti juga melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi Negeri di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi. Pada pendidikan perguruan tinggi, peneliti menyelesaikan kuliah Strata -1 (S1) pada tahun 2021.

