

TUGAS AKHIR - RE184804

**PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR
LIMBAH (IPAL) SENTRA WISATA KULINER BRATANG
BINANGUN, SURABAYA**

FAUZI NUR ROCHIM
NRP 0321184000062

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Agus Slamet, M. Sc
NIP 195908111987011001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



TUGAS AKHIR - RE184804

**PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
(IPAL) SENTRA WISATA KULINER BRATANG BINANGUN,
SURABAYA**

FAUZI NUR ROCHIM
NRP 03211840000062

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc.
NIP 195908111987011001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



FINAL PROJECT - RE184804

**DESIGN OF WASTEWATER TREATMENT PLANT (WWTP)
OF BRATANG BINANGUN CULINARY TOURISM CENTER,
SURABAYA**

FAUZI NUR ROCHIM
NRP 0321184000062

Advisor
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc.
NIP 195908111987011001

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SENTRA WISATA KULINER BRATANG BINANGUN, SURABAYA

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **FAUZI NUR ROCHIM**

NRP. 03211840000062

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc.

Pembimbing

2. Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.

Penguji

3. Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng.

Penguji

4. Ervin Nurhayati, S.T., M.T., Ph.D.

Penguji



PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Fauzi Nur Rochim / 03211840000062
Departemen : Teknik Lingkungan FTSPK - ITS
Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc / 19590811 198701 1 001

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sentra Wisata Kuliner Bratang Binangun, Surabaya” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pertanyaan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 22 Juli 2022

Mengetahui,
Dosen Pembimbing

Mahasiswa,



(Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc)
NIP. 19590811 198701 1 001



(Fauzi Nur Rochim)
NRP. 03211840000062

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SENTRA WISATA KULINER BRATANG BINANGUN, SURABAYA

Nama Mahasiswa / NRP : Fauzi Nur Rochim / 0321184000062
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc.

Abstrak

Sentra Wisata Kuliner (SWK) Bratang Binangun merupakan salah satu dari 25 SWK di Surabaya yang masih belum memiliki IPAL. Dalam kegiatan sehari-hari, air limbah yang dihasilkan dari SWK Bratang Binangun berasal dari kegiatan memasak, proses pencucian, serta dari toilet. Air limbah yang dihasilkan tersebut, apabila tidak diolah dengan baik dapat mencemari lingkungan di sekitar SWK Bratang Binangun. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan IPAL & SPAL meliputi biaya investasi yang diperlukan beserta prosedur operasional yang tepat guna memastikan pengolahan limbah berjalan dengan baik.

Dalam perencanaannya, pembangunan IPAL mempertimbangkan aspek teknis di SWK Bratang Binangun. Diperlukan pengumpulan data primer ataupun data sekunder guna menunjang perencanaan pembangunan IPAL. Data primer dapat diperoleh secara langsung dengan melakukan observasi maupun analisis terhadap kondisi lapangan serta pengambilan sampel air limbah. Data sekunder yang digunakan dihimpun dari berbagai sumber. Kemudian dilakukan pengolahan data dan perencanaan IPAL dan SPAL sesuai kriteria desain.

Air limbah SWK di Kota Surabaya memiliki kandungan minyak dan lemak serta beban organik yang tinggi. Dirancang unit Pre-Treatment berupa Unit Grease Trap guna menampung air limbah non kaku untuk menyisahkan kandungan minyak dan lemak. 1 Unit Bak Pengumpul untuk mengatur debit pengolahan air limbah. 1 Unit *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dilengkapi tanki pengendapan dan 4 kompartemen dirancang untuk mengendapkan partikel padatan tersuspensi dan mengolah beban organik air limbah. Unit *Biological Aerated Filter* dengan 2 kompartemen dioptimalisasikan untuk mendegradasi Ammonia dalam air limbah. Kemudian lapisan biomassa yang terbawa dalam aliran air diendapkan pada Unit Bak Pengendap. Unit pengolahan terakhir yakni Unit *UV Disinfection* untuk menonaktifkan mikroorganisme patogen yang terkandung dalam air limbah. Guna mendukung pengolahan air limbah yang maksimal, maka dilakukan perancangan Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL) sepanjang 148,7 m guna menyalurkan seluruh air limbah yang dihasilkan. Total estimasi anggaran yang dibutuhkan untuk pembangunan IPAL sebesar Rp 182.290.000 dan pembangunan SPAL sebesar Rp 78.741.000. Total estimasi biaya operasional IPAL yang dibutuhkan sebesar Rp 12.453.000 setiap tahunnya.

Kata Kunci: Air limbah, IPAL, Sentra Wisata Kuliner, SWK Bratang Binangun.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DESIGN OF WASTEWATER TREATMENT PLANT (WWTP) OF BRATANG BINANGUN CULINARY TOURISM CENTER, SURABAYA

Student Name / NRP: Fauzi Nur Rochim / 0321184000062

Department : Environmental Engineering

Advisor : Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc.

Abstract

Bratang Binangun Culinary Tourism Centre (SWK) is one of 25 SWKs in Surabaya that still does not have a Wastewater Treatment Plant. In daily activities, wastewater generated from SWK Bratang Binangun comes from cooking activities, washing processes, and from toilets. The wastewater produced, if not treated properly can contaminate the environment around SWK Bratang Binangun. Therefore, it is necessary to design a WWTP and Sewerage System including the necessary investment costs and proper operational procedures to ensure proper sewage treatment.

In its design, WWTP construction considers the technical aspects of SWK Bratang Binangun. To support the construction of WWTP, it is necessary to collect primary and secondary data. Primary data can be obtained directly by observing and analysing field conditions and taking wastewater samples. Secondary data used is collected from various sources. Afterwards, data processing and design of WWTP and SPAL are carried out in accordance with the design criteria.

SWK wastewater in Surabaya had a high oil and grease content and a high organic load. Therefore, Pre-Treatment Unit was designed in the form of a Grease Trap Unit to receive non-latrinal wastewater for removing oil and grease content. A single Collection Tank Unit to control wastewater treatment flowrate. A single *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)* Unit is equipped with a settler and 4 compartments design to settle suspended solids and treat the organic load of the wastewater. The *Biological Aerated Filter* Unit with 2 compartments is optimised to degrade Ammonia in wastewater. Then the biomass solids carried in the water flow is settled in the Sedimentation Tank Unit. The last treatment is the UV Disinfection unit to inactivate pathogenic microorganisms contained in wastewater. To maximised wastewater treatment, a 148,7 m long of Wastewater Distribution System (SPAL) is designed to channel all wastewater produced. The total estimated budget required for the construction of WWTP is Rp 182.290.000 and the construction of the SPAL is Rp 78.741.000. The total estimated operational cost of the WWTP required is Rp 12.453.000 per year.

Keywords: Culinary Tourism Centre, SWK Bratang Binangun, Wastewater, WWTP.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini tepat waktu.

Tugas akhir berjudul “Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sentra Wisata Kuliner Bratang Binangun Surabaya”, dalam penulisannya tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari rekan-rekan dan keluarga. Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis berterimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan arahan dalam penyusunan dan penyelesaian tugas akhir ini.
2. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc. selaku dosen pengarah yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng. selaku dosen pengarah yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Ibu Ervin Nurhayati, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pengarah & dosen wali yang telah memberikan saran dan masukan serta bimbingan selama masa perkuliahan.
5. Kedua orang tua dan keluarga besar penulis yang telah memberikan dukungan baik secara moril maupun materil dari awal masa pendidikan penulis hingga bangku perkuliahan sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.
6. Pengurus & penanggung jawab di SWK Bratang Binangun, SWK Gayungsari, dan SWK Deles Merr yang telah memberikan izin dan membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Ibu Salma Mareta L., A.Md.Ak. yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan dukungan berupa moril dan materil selama awal kuliah hingga penyusunan tugas akhir ini.
8. Teman-teman Teknik Lingkungan angkatan 2018 yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah berjuang bersama sejak awal masuk perkuliahan hingga menjalani tugas akhir pada semester ini.

Penyusunan tugas akhir ini dilakukan oleh penulis dengan semaksimal mungkin, namun tentu masih jauh dari kata sempurna dan masih terdapat banyak kekurangan oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dalam penulisan tugas akhir ini.

Surabaya, 24 Juli 2022

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

Abstrak	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup	2
BAB II PENDAHULUAN	3
2.1 Kondisi Eksisting Sentra Wisata Kuliner Bratang Binangun	3
2.2 Gambaran Umum Air Limbah Rumah Makan/Restoran	4
2.3 Parameter Pencemar & Baku Mutu Air Limbah Rumah Makan/Restoran	4
2.4 Pengolahan Air Limbah	6
2.5 Pengolahan Terdahulu	7
2.6 Alternatif Pengolahan	8
2.7 Sistem Penyaluran Air Limbah.....	13
BAB III METODE PERENCANAAN	15
3.1 Kerangka Perencanaan.....	15
3.2 Rangkaian Kegiatan Perencanaan.....	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	20
4.1 Karakteristik Air Limbah Sentra Wisata Kuliner Bratang Binangun	21
4.2 Sistem Penyaluran Air Limbah SWK Bratang Binangun.....	23
4.3 Alternatif Pengolahan Air Limbah SWK Bratang Binangun	33
4.4 Perhitungan Unit Pengolahan	38
4.5 Profil Hidrolis Unit IPAL	70
4.6 Gambar Desain Unit IPAL	75
4.7 Penyusunan Bill of Quantity (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB)	75
4.8 Prosedur Pengoperasian dan Pemeliharaan IPAL.....	84
BAB V KESIMPULAN & SARAN.....	85
5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran	85
DAFTAR PUSTAKA.....	87

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Lokasi Sentra Wisata Kuliner Bratang Binangun.....	3
Gambar 2. 2 Kondisi Eksisting SWK Bratang Binangun.....	3
Gambar 2. 3 Lokasi Tanki Septic	4
Gambar 2. 4 Diagram Alir Pengolahan IPAL	9
Gambar 2. 5 Skema sederhana dekomposisi anaerob.....	11
Gambar 3. 1 Kerangka Perencanaan.....	16
Gambar 4. 1 Grafik variasi debit, kecepatan, dan kedalaman untuk pipa bundar	27
Gambar 4. 2 (a.) Diagram Alternatif 1 (b) Diagram Alternatif 2	33
Gambar 4. 3 Trigonometri Segitiga.....	42
Gambar 4. 4 Kurva Removal COD	45
Gambar 4. 5 Kurva Rasio Removal BOD/COD.....	45
Gambar 4. 6 BOD Removal Faktor HRT	46
Gambar 4. 7 BOD Removal Faktor Beban Polutan.....	47
Gambar 4. 8 BOD Removal Faktor Temperatur	47
Gambar 4. 9 BOD Removal Faktor Kadar Polutan	47
Gambar 4. 10 Kurva Rasio Removal COD/BOD.....	48
Gambar 4. 11 Ring Blower Takafan 250 W	59
Gambar 4. 12 Coarse Air Bubble Diffuser Pearlcomb.....	59
Gambar 4. 13 Nominal Intensitas Rata-Rata UV Berdasarkan Densitas UV & Koefisien Absorbansi.....	67
Gambar 4. 14 Skema Penanaman Pipa SPAL	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Rumah Makan/Restoran.....	5
Tabel 2. 2 Karakteristik Air Limbah SWK di Surabaya.....	9
Tabel 2. 3 Tipikal Absorbansi & Transmisi UV pada Panjang Gelombang 254 nm	13
Tabel 3. 1 Metode Uji Parameter Pencemar.....	18
Tabel 4. 1 Penggunaan Air Bersih SWK Bratang Binangun.....	21
Tabel 4. 2 Karakteristik Air Limbah SWK di Surabaya.....	22
Tabel 4. 3 Blok Perencanaan Penyaluran Air Limbah	24
Tabel 4. 4 Debit Air Limbah Tiap Blok	25
Tabel 4. 5 Pembebanan Pipa Penyalur Air Limbah.....	25
Tabel 4. 6 Data & Rencana Pendukung Perhitungan Diameter Pipa	28
Tabel 4. 7 Rincian Pipa Penyaluran Debit Penuh.....	29
Tabel 4. 8 Rincian Pipa Penyaluran Debit Puncak	29
Tabel 4. 9 Rincian Pipa Penyaluran Debit Rata-Rata.....	29
Tabel 4. 10 Data Headloss Pipa Penyaluran Air Limbah	31
Tabel 4. 11 Data Penanaman Pipa Penyaluran Air Limbah	32
Tabel 4. 12 Jumlah Manhole Tiap Blok Perencanaan	32
Tabel 4. 13 Rincian Manhole Belokan dan Pertigaan	33
Tabel 4. 14 Efisiensi Pengolahan Alternatif 1	34
Tabel 4. 15 Efisiensi Pengolahan Alternatif 2.....	35
Tabel 4. 16 Perbandingan Alternatif Pengolahan.....	38

Tabel 4. 17 Rekapitulasi Desain Unit Grease Trap	39
Tabel 4. 18 Kebutuhan Aksesoris & Peralatan Unit Grease Trap	40
Tabel 4. 19 Efisiensi Pengolahan Unit Grease Trap.....	40
Tabel 4. 20 Rekapitulasi Desain Unit Bak Pengumpul	43
Tabel 4. 21 Kebutuhan Aksesoris & Peralatan Unit Bak Pengumpul	43
Tabel 4. 22 Efisiensi Pengolahan Unit Bak Pengumpul.....	44
Tabel 4. 23 Rekapitulasi Desain Unit ABR.....	53
Tabel 4. 24 Kebutuhan Aksesoris & Peralatan Pendukung Unit ABR	54
Tabel 4. 25 Efisiensi Pengolahan Unit ABR	54
Tabel 4. 26 Rekapitulasi Desain Unit BAF	60
Tabel 4. 27 Kebutuhan Aksesoris & Peralatan Pendukung Unit BAF.....	60
Tabel 4. 28 Efisiensi Pengolahan Unit BAF	61
Tabel 4. 29 Rekapitulasi Desain Unit Bak Pengendap.....	65
Tabel 4. 30 Kebutuhan Aksesoris & Peralatan Pendukung Unit Bak Pengendap.....	65
Tabel 4. 31 Efisiensi Pengolahan Unit Bak Pengendap	66
Tabel 4. 32 Rekapitulasi Desain Unit Disinfeksi UV.....	69
Tabel 4. 33 Kebutuhan Aksesoris & Peralatan Pendukung Unit Disinfeksi UV	70
Tabel 4. 34 Efisiensi Pengolahan Unit Disinfeksi UV	70
Tabel 4. 35 Rekapitulasi Headloss Mayor Saluran Pembawa.....	71
Tabel 4. 36 Rekapitulasi Headloss Minor Saluran Pembawa.....	73
Tabel 4. 37 Rekapitulasi Perhitungan Headloss	74
Tabel 4. 38 Elevasi Muka Air IPAL.....	75
Tabel 4. 39 Rekapitulasi Desain IPAL	75
Tabel 4. 40 Rekapitulasi Desain SPAL	76
Tabel 4. 41 BOQ Luas Area Penanaman Pipa.....	78
Tabel 4. 42 Volume Galian Pipa SPAL.....	78
Tabel 4. 43 BOQ Galian & Urugan Pipa SPAL.....	79
Tabel 4. 44 Volume Galian & Pengangkutan Tanah IPAL.....	80
Tabel 4. 45 Luas Lahan Pembersihan & Waterproofing IPAL	80
Tabel 4. 46 Volume Rangka Beton	81
Tabel 4. 47 Volume Dinding Beton	82
Tabel 4. 48 Total Biaya Pembangunan SPAL.....	82
Tabel 4. 49 Total Biaya Pembangunan IPAL.....	83
Tabel 4. 50 Penggunaan Listrik.....	83
Tabel 4. 51 Volume Pengurasan Lumpur IPAL.....	83
Tabel 4. 52 Biaya Operasional IPAL.....	84

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Selama beberapa tahun terakhir, Pemerintah Kota Surabaya melalui Dinas Koperasi dan Usaha Mikro Kota Surabaya semakin gencar melakukan pengembangan terhadap Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) di Kota Surabaya. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan melakukan sentralisasi pedagang kaki lima (PKL) dalam satu lokasi terpusat sebagai Sentra Wisata Kuliner (SWK). Dalam operasionalnya, SWK akan menghasilkan limbah padat dan limbah cair. Limbah padat berupa sampah organik sisa makanan serta sampah sejenis rumah tangga (SSRT). Limbah cair yang dihasilkan berasal dari kegiatan memasak, proses pencucian alat makan, toilet, serta bahan dan sisa makanan (Purnawan *et al.*, 2018). Berdasarkan data yang diperoleh dari *website* Badan Perencanaan Pembangunan Kota Surabaya, dari 51 SWK yang tersebar di seluruh Kota Surabaya, baru 26 SWK saja yang memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Salah satu SWK yang belum memiliki IPAL adalah SWK Bratang Binangun yang berlokasi di Kelurahan Baratajaya, Kecamatan Gubeng, Kota Surabaya. SWK Bratang Binangun menempati lahan seluas 2000 m² dan memiliki kapasitas penjual sebanyak 47 UMKM.

Limbah cair restoran memiliki karakteristik organik serta padatan yang tinggi (Adam *et al.*, 2020). Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, baku mutu air limbah rumah makan/restoran disamakan dengan baku mutu air limbah domestik dengan kadar BOD₅ dan TSS maksimum 30 mg/L, kadar COD maksimum 50 mg/L, kadar minyak dan lemak maksimum 5 mg/L, kadar Ammonia maksimum 10 mg/L, Kadar Total Coliform maksimum 3000/100 mL serta pH 6-9. Pembuangan air limbah tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat menimbulkan dampak negatif pada makhluk hidup dan lingkungan. Kandungan minyak dan lemak dapat melapisi hewan maupun tanaman sehingga menyulitkan proses respirasi, menyumbat saluran, dan menimbulkan bau yang tidak sedap (Urzola *et al.*, 2019). Konsentrasi *Suspended Solids (SS)* yang tinggi dapat mempengaruhi karakteristik fisika, biologi, dan kimia badan air. Ketika *Suspended Solids (SS)* memiliki kandungan organik yang tinggi, dekomposisi in-situ yang terjadi dapat mengurangi kandungan *dissolved oxygen (DO)* pada air sehingga menyebabkan kekurangan oksigen yang dapat membahayakan kehidupan ikan (Bilotta & Brazier, 2008).

Berdasarkan beberapa pertimbangan diatas, perlu dilakukan penyediaan unit instalasi pengolahan air limbah (IPAL) pada SWK Bratang Binangun guna mengolah air limbah yang dihasilkan sehingga memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Menurut Seto *et al.* (2020), pemilihan unit pengolahan pada IPAL perlu mempertimbangkan kemampuan reduksi polutan, kemampuan finansial, serta operasi dan perawatan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dihadapi berdasarkan uraian latar belakang diatas adalah:

1. Bagaimana sistem dan teknologi yang tepat untuk mengolah air limbah pada Sentra Wisata Kuliner (SWK) Bratang Binangun?
2. Bagaimana sistem penyaluran air limbah guna menunjang operasional IPAL pada Sentra Wisata Kuliner (SWK) Bratang Binangun?
3. Berapa biaya investasi yang diperlukan untuk membangun dan mengoperasikan IPAL pada Sentra Wisata Kuliner (SWK) Bratang Binangun?
4. Bagaimana standar operasional prosedur dalam pengoperasian dan perawatan IPAL pada Sentra Wisata Kuliner (SWK) Bratang Binangun?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari perencanaan ini adalah:

1. Merencanakan sistem dan teknologi untuk mengolah air limbah pada Sentra Wisata Kuliner (SWK) Bratang Binangun.
2. Merencanakan sistem penyaluran air limbah guna menunjang operasional IPAL pada Sentra Wisata Kuliner (SWK) Bratang Binangun.
3. Menghitung biaya investasi yang diperlukan untuk membangun dan mengoperasikan IPAL pada Sentra Wisata Kuliner (SWK) Bratang Binangun
4. Menyusun standar operasional prosedur pengoperasian IPAL pada Sentra Wisata Kuliner (SWK) Bratang Binangun.

1.4 Manfaat

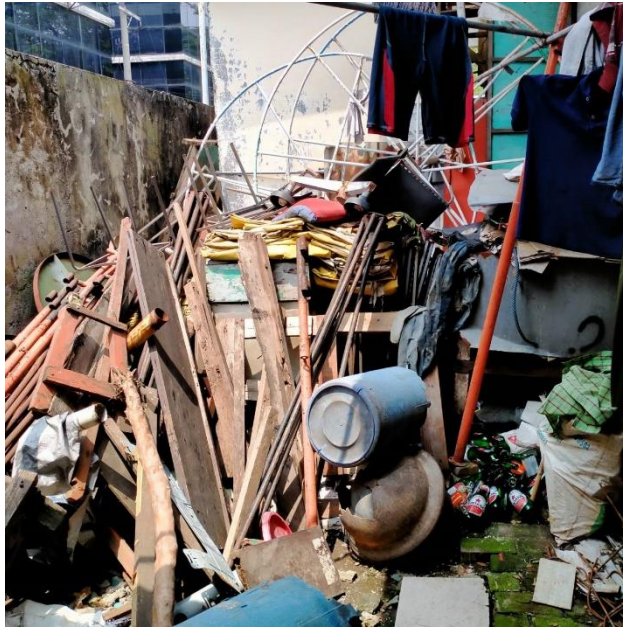
Manfaat yang didapat dari perencanaan ini adalah:

1. Memberikan alternatif desain IPAL untuk pengolahan air limbah pada SWK Bratang Binangun bagi Pemerintah Kota Surabaya.
2. Memberikan alternatif desain IPAL untuk pengolahan air limbah rumah makan / restoran bagi konsultan perencana sebagai bahan acuan.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada perencanaan ini adalah:

1. Karakteristik air limbah yang digunakan meliputi BOD₅ (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solids*), Minyak dan Lemak, Amonia, Total Coliform, dan pH.
2. Aspek yang dikaji dalam perencanaan ini adalah aspek teknis dan aspek finansial dalam lingkup Teknik Lingkungan.
3. Perhitungan BOQ (*Bill of Quantity*) dan RAB (Rencana Anggaran Biaya) menggunakan HSPK (Harga Satuan Pokok Kegiatan) Kota Surabaya tahun 2020.
4. Baku mutu air limbah yang digunakan merujuk pada Lampiran III, Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan Kegiatan/Usaha lainnya dan Lampiran I, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.



Gambar 2. 3 Lokasi Tanki Septic

2.2 Gambaran Umum Air Limbah Rumah Makan/Restoran

Secara garis besar, kegiatan yang berlangsung pada SWK Bratang Binangun sama dengan kegiatan pada rumah makan/restoran. Hal ini dikarenakan pada SWK Bratang Binangun hanya diisi pedagang kaki lima (PKL) yang menjual makanan/minuman. Air limbah yang dihasilkan apabila tidak dikelola dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan seperti peningkatan populasi mikroorganisme yang memicu peningkatan pada kadar BOD serta peningkatan kadar pH akibat air sabun pencucian (Farahdiba *et al.*, 2019).

Karakteristik air limbah rumah makan memiliki kadar COD 1265-2980 mg/L, kadar BOD 1005-1890 mg/L, kadar TSS 1200-2000 mg/L (Zahra & Purwanti, 2013) serta kadar minyak dan lemak 527 mg/L (Zaharah *et al.*, 2017). Berdasarkan karakteristik tersebut, diketahui bahwa air limbah rumah makan memiliki kadar bahan organik yang tinggi. Bahan organik tersebut dapat dibagi menjadi *biodegradable* dan *non-biodegradable*. Meskipun bersifat *biodegradable*, apabila bahan organik tersebut memiliki konsentrasi yang tinggi dalam air dapat juga membahayakan kehidupan organisme di air. Hal tersebut dikarenakan mikroorganisme pengurai tentunya akan membutuhkan kadar oksigen yang tinggi sehingga mengakibatkan berkurangnya pasokan oksigen bagi makhluk hidup air lainnya (Zaharah *et al.*, 2017).

2.3 Parameter Pencemar & Baku Mutu Air Limbah Rumah Makan/Restoran

Berdasarkan pada Lampiran III Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Lainnya serta Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, baku mutu air limbah rumah makan/restoran disamakan dengan baku mutu air limbah domestik dengan kadar BOD₅ dan TSS maksimum 30 mg/L, kadar COD maksimum 50 mg/L, kadar minyak dan lemak maksimum 5 mg/L, kadar Ammonia maksimum 10 mg/L, Kadar Total Coliform maksimum 3000/100 mL serta pH 6-9. Berikut adalah penjelasan terkait tujuh (7) parameter tersebut.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Rumah Makan/Restoran

Parameter	Satuan	Nilai
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	50
TSS	mg/L	50
Minyak dan Lemak	mg/L	10
Ammonia	mg/L	10
Total Koliform	MPN/100 mL	3000
pH	-	6-9

Sumber: Peraturan Gubernur Jatim No. 72 Tahun 2013 dan Peraturan Menteri LHK No. 68 Tahun 2016

a. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

BOD merupakan parameter yang digunakan untuk mendeteksi bahan organik dalam air dan jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mengurai bahan organik yang *biodegradable*. Kadar BOD yang tinggi dalam air mengindikasikan bahwa air tersebut tercemar bahan organik *biodegradable* yang tinggi, sehingga membutuhkan kadar oksigen terlarut yang tinggi untuk mengurainya. Hal ini dapat berbahaya bagi biota air lainnya dikarenakan berkurangnya pasokan oksigen yang dapat mengakibatkan kematian biota air tersebut. Semakin menipisnya kadar oksigen terlarut dalam air juga dapat merubah kondisi air menjadi anaerobik. Pengukuran BOD dalam air berprinsip pada reaksi oksidasi yang merupakan hasil dari aktifitas biologis mikroorganisme untuk mengurai bahan organik menjadi CO₂ dan H₂O. Pengukuran BOD dalam air seringkali berlangsung dalam waktu inkubasi 5 hari, hal ini dilakukan untuk mengantisipasi kemungkinan hasil oksidasi ammonia (NH₃) yang dapat teroksidasi menjadi nitrit dan nitrat sehingga mempengaruhi hasil pemeriksaan (Salmin, 2005).

b. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD merupakan parameter pencemar yang dapat dideskripsikan sebagai jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam reaksi oksidasi dengan oksidator kuat seperti kalium dikromat (K₂Cr₂O₇). Seperti halnya BOD, COD juga digunakan untuk mengestimasi kandungan bahan organik dalam air. Berbeda dengan BOD, analisis COD membutuhkan waktu yang lebih singkat yakni hanya dalam beberapa jam (Hu & Grasso, 2005). Prinsip pengukuran COD adalah reaksi antara oksidator kuat seperti K₂Cr₂O₇ dengan zat organik dalam sampel dengan asam sulfat-perak sulfat sebagai katalisnya (Juliasih & Amha, 2019). Penambahan asam sulfat bertujuan untuk merubah keadaan sampel uji menjadi asam kuat, sedangkan katalis perak sulfat berperan untuk mengatasi gangguan klorida karena klorida dapat ikut teroksidasi oleh K₂Cr₂O₇.

c. *Total Suspended Solids (TSS)*

TSS adalah bahan tidak terlarut dalam air dan tersuspensi serta merupakan bagian dari kandungan padatan total atau *Total Solids (TS)* bersama dengan padatan terlarut atau *Total Dissolved Solids (TDS)*. Padatan tersuspensi terdiri dari berbagai partikel dengan ukuran dan berat yang lebih kecil dari sediment seperti bahan organik tertentu, sel-sel mikro, dan tanah liat (Fachruruzi *et al.*, 2010). Pengukuran TSS dalam air dilakukan dengan metode gravimetri, yakni metode pengukuran berat komponen dalam keadaan murni usai melewati proses pemisahan dan pemurnian (Devy & R., 2021).

d. Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak merupakan senyawa tidak terlarut dalam air namun dapat larut dalam pelarut dengan kepolaran lemah atau non-polar (Dinas Lingkungan Hidup Pemerintah Kota Surabaya, 2019). Kandungan minyak dan lemak dalam air dapat melapisi hewan maupun tanaman sehingga menyulitkan proses respirasi makhluk tersebut, menyumbat saluran perpipaan, dan menimbulkan bau yang tidak sedap (Urzola *et al.*, 2019).

e. Ammonia (NH₃-N)

Nitrogen dalam air limbah berbentuk organik (N-organik) dan sebagai amonia-nitrogen (NH₃-N) (Kementerian PUPR, 2018). Ammonia (NH₃) dapat berubah menjadi senyawa Ammonium (NH⁺) pada kondisi pH yang rendah. Ammonia dalam air limbah dapat bereaksi dengan Oksigen (O₂) untuk membentuk senyawa Nitrit (NO₂) atau Nitrat (NO₃). Ammonia dapat menimbulkan bau yang sangat tajam pada air limbah.

f. Total Koliform

Terdapat berbagai jenis mikroorganisme yang hidup dalam air limbah. Dari berbagai jenis mikroorganisme tersebut, terdapat beberapa jenis mikroorganisme yang dapat menyebabkan penyakit bagi manusia. Total Koliform merupakan suatu kelompok bakteri yang dapat digunakan sebagai indikasi adanya bakteri patogen lain dalam suatu sampel.

g. pH

pH merupakan parameter derajat keasaman dalam kualitas air. Kondisi pH sangat mempengaruhi aktivitas mikroorganisme dalam pengolahan air limbah, oleh karena itu perlu dilakukan pemantauan dan penyesuaian pH guna mengoptimalkan efisiensi pengolahan biologis.

2.4 Pengolahan Air Limbah

Terdapat berbagai macam teknologi pengolahan yang dapat digunakan untuk mengolah air limbah yang dihasilkan. Air limbah memiliki karakteristik yang berbeda-beda, pemilihan unit pengolahan dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik air limbah serta baku mutu sesuai regulasi yang berlaku. Secara umum, teknologi pengolahan air dapat dibagi menjadi tiga (3) yaitu pengolahan secara fisik, pengolahan secara kimia, dan pengolahan secara biologis. Berikut adalah penjelasan tentang beberapa proses pengolahan air tersebut.

a. Pengolahan secara fisik

Proses pengolahan secara fisik merupakan proses pengolahan tanpa penambahan bahan kimia ataupun bahan lain dalam pengolahannya. Pengolahan secara fisik umumnya dilakukan dengan memanfaatkan perbedaan dimensi dan massa polutan seperti sedimentasi, flotasi, penyaringan, dan filtrasi.

b. Pengolahan secara kimia

Proses pengolahan secara kimia merupakan proses pengolahan yang melibatkan penambahan bahan kimia ke dalam air limbah untuk membantu pengolahannya. Penambahan bahan kimia ke dalam air limbah bertujuan untuk merubah karakteristik kontaminannya. Salah satu pengolahan kimia yang sering digunakan adalah koagulasi-flokulasi. Pada koagulasi, air limbah akan ditambahkan bahan kimia guna mendestabilisasi partikel polutan dengan cara merubah muatan partikel agar dapat berikatan dengan partikel lain sehingga menghasilkan flok yang lebih besar.

c. Pengolahan secara biologis

Proses pengolahan secara biologis merupakan proses pengolahan yang memanfaatkan mikroorganisme sebagai pengurai bahan organik dalam air limbah. Karena menggunakan mikroorganisme, maka pengolahan biologis tidak cocok digunakan untuk mengolah bahan *non-biodegradable*. Berdasarkan kebutuhan

oksigennya, pengolahan biologis dapat bersifat aerob maupun anaerob. Berdasarkan pertumbuhan mikroorganisme, pengolahan biologis dibagi menjadi dua (2) yakni pertumbuhan tersuspensi dan pertumbuhan melekat. Perbedaan mendasar antara pengolahan air limbah secara aerobik dan anaerobik adalah jenis mikroorganisme yang berperan dalam pengolahan. Pengolahan secara aerobik terjadi karena adanya mikroorganisme aerobik yang membutuhkan oksigen bebas untuk mendegradasi polutan-polutan yang terkandung dalam air limbah, sedangkan pengolahan secara anaerobik memanfaatkan mikroorganisma anaerob dimana mikroorganisme dalam metabolismenya tidak membutuhkan oksigen bebas melainkan menggunakan oksigen terikat dalam senyawa seperti Sulfat (SO_4). Selain menghasilkan gas CO_2 seperti pengolahan aerob, pengolahan anaerob juga menghasilkan gas lain seperti Hidrogen Sulfida (H_2S) dan Metana (CH_4). Lumpur yang dihasilkan dari pengolahan anaerob juga jauh lebih sedikit dibandingkan lumpur yang dihasilkan dari pengolahan air limbah secara aerobik.

2.5 Pengolahan Terdahulu

Karena kegiatan yang tidak terlalu berbeda dengan rumah makan/restoran, maka pengolahan air limbah SWK Bratang Binangun tidak jauh berbeda dengan pengolahan air limbah untuk rumah makan/restoran. Berbagai macam teknologi telah diterapkan untuk mengolah air limbah rumah makan/restoran. Berikut adalah beberapa teknologi dan alternatif pengolahan yang pernah digunakan atau direncanakan untuk mengolah air limbah rumah makan/restoran:

a. Penentuan Alternatif Pengolahan Instalasi Pengolahan Air Limbah Restoran

Adam *et al.* (2020) melakukan penelitian terhadap alternatif pengolahan air limbah pada restoran. Pada penelitiannya, baku mutu limbah domestik digunakan sebagai acuan perencanaan sesuai dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013. Dari sumber literatur yang diperoleh, karakteristik air limbah restoran dan sejenisnya yakni kadar COD 2980 mg/L, kadar BOD 1890 mg/L, kadar TSS 2000 mg/L, serta kadar minyak dan lemak 527 mg/L.

Terdapat 3 alternatif perencanaan pengolahan yang direncanakan. Alternatif pengolahan 1 secara berurutan menggunakan unit *Grease Trap*, Bak Ekualisasi, Bak Pengendap 1, Biofilter Anaerob, Biofilter Aerob, dan Bak Pengendap 2. Alternatif pengolahan 2 secara berurutan menggunakan unit *Grease Trap*, Bak Ekualisasi, Bak Pengendap, *Anaerobic Baffled Reactor*, Biofilter Aerob, serta *Clarifier*. Alternatif pengolahan 3 secara berurutan menggunakan unit *Grease Trap*, Bak Ekualisasi, Bak Pengendap, *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*, *Extended Aeration*, serta *Clarifier*.

Dari ketiga alternatif tersebut, dipilih alternatif pengolahan 1 sebagai alternatif pengolahan yang akan diterapkan. Hal ini karena alternatif pengolahan 1 memiliki keunggulan dalam aspek operasional, kemudahan pemeliharaan, dan kebutuhan listrik. Pada alternatif pengolahan 1, tidak diperlukan resirkulasi lumpur, peralatan penunjang yang lebih sedikit serta kebutuhan listrik hanya pada blower dan pompa.

b. Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan Dengan Sistem Kombinasi Presipitasi-Aerobic Biofilter

Purnawan *et al.* (2018) melakukan penelitian terhadap pengolahan limbah cair rumah makan dengan kombinasi sistem Presipitasi dan Biofilter Aerob. Terdapat 3 tahapan pengolahan dalam penelitian tersebut. Tahap pertama yakni Saponifikasi (penyabunan) yang merupakan reaksi ketika minyak/lemak dicampurkan dengan larutan alkali. Saponifikasi bertujuan untuk menurunkan kadar minyak dan lemak dalam limbah cair. Tahapan selanjutnya yakni presipitasi yang merupakan proses terbentuknya endapan dalam sebuah larutan akibat dari reaksi kimia. Proses presipitasi pada

penelitian ini memanfaatkan aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) sebagai koagulannya. Tahapan terakhir adalah menggunakan reaktor aerobik biofilter dengan memanfaatkan media berpori sebagai media tinggal mikroorganisme. Pada penelitian tersebut, diperoleh kadar optimum penambahan NaOH sebesar 17 ml/1000 ml limbah pada proses saponifikasi, kadar aluminium sulfat 5% sebesar 15 ml/300 ml air limbah pada proses presipitasi, serta waktu tinggal selama 8 jam pada proses aerobik biofilter.

c. Pengolahan Limbah Domestik Rumah Makan Dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)

Farahdiba *et al.* (2019), melakukan penelitian pengolahan limbah domestik rumah makan dengan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). MBBR merupakan proses lumpur aktif dengan penambahan media dalam reaktornya. Penelitian ini menggunakan media *kaldness 1* (K1) dengan variasi volume media tanpa media, 15%, 30%, 45%, dan 60% serta variasi debit 15 ml/menit, 30 ml/menit, 45 ml/menit, 60 ml/menit, dan 75 ml/menit. Air limbah yang digunakan memiliki karakteristik kadar COD 1689,60 mg/liter, kadar TSS 460 mg/liter, serta pH 6,1.

Hasil penelitian menunjukkan semakin kecil debit pengolahan maka akan menghasilkan effluen dengan kadar COD yang semakin kecil pula. Hal ini karena reaktor yang digunakan memiliki volume yang sama sehingga menyebabkan waktu tinggal yang semakin lama pada pengolahan dengan debit yang kecil. Penyisihan terbesar TSS dihasilkan dalam reaktor dengan volume media tertinggi yakni volume media 60%. Berdasarkan penelitian diketahui bahwa semakin besar persentase volume media dalam reaktor dan semakin lama waktu tinggal air limbah maka semakin besar pula kadar COD dan TSS yang terremove.

d. Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan Dengan Pengendapan Dan Sub-Surface Constructed Wetland

Jaelani *et al.* (2021), melakukan penelitian pengolahan limbah cair rumah makan dengan pengendapan dan *Sub-Surface Constructed Wetland*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi penurunan konsentrasi BOD dan TSS dengan menggunakan alternatif pengolahan tersebut. Tanaman yang digunakan adalah *Dracaena sanderiana* atau bambu rejeki. Pada *wetland* dengan tipe SSF, air tidak menggenangi media tanam melainkan mengalir di bawah media tanam. Pengaliran air dibawah media tanam memiliki beberapa keuntungan, diantaranya adalah pemilihan tumbuhan lebih bervariasi (Jaelani *et al.*, 2021). Efisiensi tertinggi penyisihan BOD sebesar 91,2% dan penyisihan TSS sebesar 96,2% diperoleh pada *wetland* dengan waktu tinggal selama 4 hari. Parameter pH mengalami kenaikan menjadi 7,5 dari yang semula 5,3.

2.6 Alternatif Pengolahan

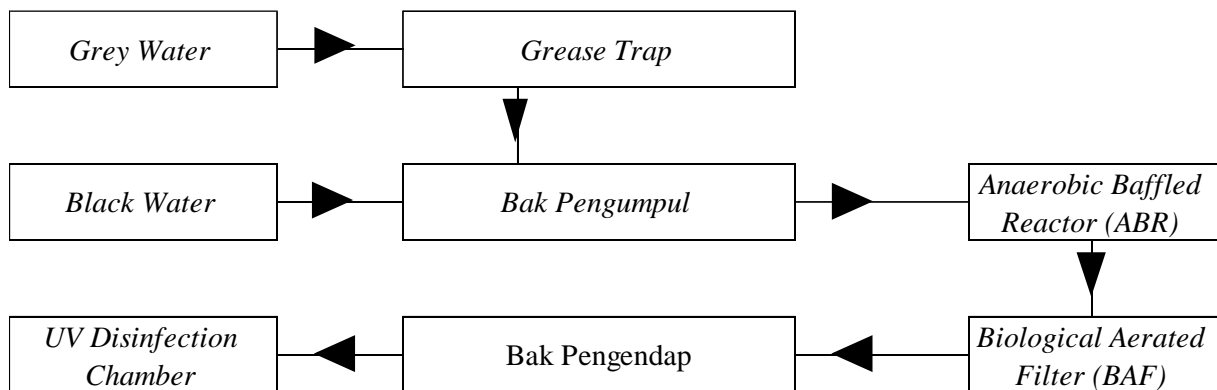
Instalasi Pengolahan Air Limbah di SWK Bratang Binangun direncanakan terdiri dari beberapa unit pengolahan. Terdapat banyak kombinasi yang dapat digunakan untuk mengolah air limbah sesuai dengan karakteristik air limbah itu sendiri. Karakteristik limbah dari beberapa SWK di Surabaya dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Karakteristik Air Limbah SWK di Surabaya

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	SWK Gayungsari	SWK Deles Merr
1.	BOD5	mg/L O ₂	30	290	56
2.	COD	mg/L O ₂	50	543	104
3.	TSS	mg/L	30	414	238
4.	Minyak dan Lemak	mg/L	5	50	19
5.	Ammonia	mg/L NH ₃ -N	10	16,11	53,06
6.	Total Coliform	MPN/100 mL	3000	2,2 x 10 ⁹	1,7 x 10 ⁷
7.	pH	-	6-7	6,75	7,1

IPAL direncanakan untuk mengolah air limbah dengan karakteristik tertentu. Air limbah yang dihasilkan dari kegiatan sehari-hari di SWK Gayungsari dan SWK Deles Merr memiliki rasio BOD/COD diatas 0,5. Sehingga IPAL di SWK Bratang Binangun nantinya direncanakan menggunakan proses biologis sebagai proses utama. Selain kandungan organik, juga terdapat kandungan Ammonia dan Total Coliform dalam air limbah, oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan lanjutan pada effluen dari unit proses biologis.

Berdasarkan beberapa pertimbangan diatas, dipilih IPAL dengan susunan unit *Grease Trap*, Bak Pengumpul, *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)*, *Biological Aerated Filter (BAF)*, Bak Pengendap, dan *UV Disinfection Chamber*. Diagram alir unit pengolahan IPAL dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2. 4 Diagram Alir Pengolahan IPAL

2.6.1 Grease Trap

Grease Trap atau bak penangkap minyak adalah unit pengolahan fisik untuk memisahkan kandungan minyak dan lemak dalam air limbah yang akan diolah. Minyak dan lemak dapat mengganggu pengolahan biologis pada IPAL. Kandungan dalam minyak dan lemak yang didominasi oleh bahan organik yang sulit diuraikan (*recalcitrant*) dapat menyebabkan *loading rate* yang rendah pada efektivitas biodegradasi COD (Serrano & Salgado, 2016). Minyak dan lemak juga berpotensi untuk mengeras sehingga dapat menyebabkan penyumbatan pada pipa, mengganggu aliran air dalam pipa, dan menimbulkan bau yang tidak sedap.

Grease Trap dapat terbuat dari berbagai material, diantaranya adalah beton, baja, dan plastik. Untuk menjaga efisiensi dan efektivitas pemisahan lemak, maka perlu dilakukan

pembersihan secara berkala terhadap minyak dan lemak yang tertahan di unit *Grease Trap*. Pembersihan yang rutin dan dalam jangka waktu yang tidak terlalu lama juga berfungsi untuk menghindari terakumulasinya gas H_2S dalam unit. Kriteria desain unit *Grease Trap* adalah sebagai berikut:

- Kedalaman air: 0,75-1,8 m
- Kompartemen: 2 buah

Sumber: *Orange County Sanitation District, 2010*

2.6.2 Anaerobic Baffled Reactor

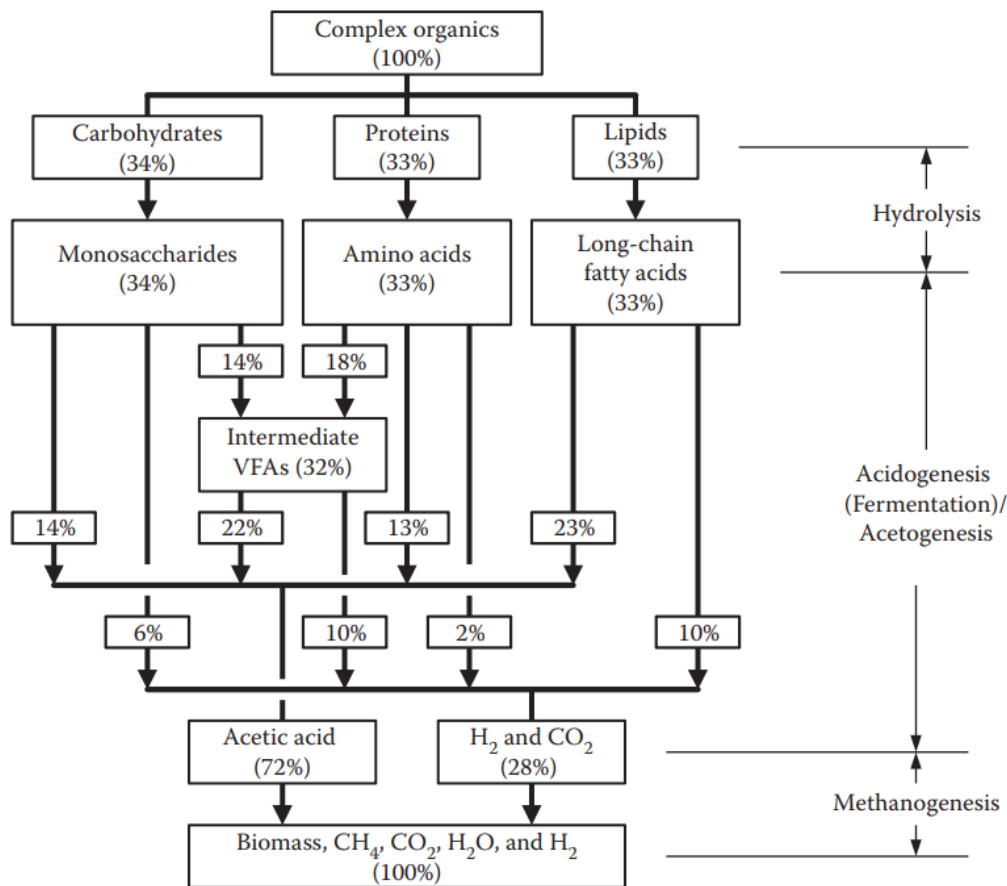
Anaerobic Baffled Reactor atau ABR adalah unit pengolahan biologis yang menggunakan beberapa kompartemen tersusun seri. Kompartemen pertama pada unit ABR difungsikan untuk mengendapkan padatan tersuspensi sebagai pengolahan pendahuluan. Pengolahan biologis dalam unit ABR berlangsung dalam kondisi anaerobik. ABR sering kali dioperasikan secara *upflow*, hal ini guna mengurangi risiko terbawanya biomassa ke dalam kompartemen selanjutnya. ABR memiliki beberapa kelebihan diantara teknologi pengolahan biologis lainnya, beberapa kelebihan tersebut yaitu tahan terhadap *hydraulic* dan *organic shock loads*, waktu retensi biomassa yang lebih lama, serta memiliki *sludge yield* yang lebih rendah dibanding pengolahan anaerobik lainnya (Foxon *et al.*, 2007). Selain itu, unit ABR juga dinilai sesuai digunakan pada pengolahan air dengan dana yang terbatas karena:

- Tidak membutuhkan pengadukan mekanis sehingga menghemat penggunaan energi dan biaya pembangunan dengan tidak membutuhkan alat pengaduk. Aliran dalam reaktor juga tidak membutuhkan pompa, dalam kondisi normal aliran akan dipengaruhi oleh *Pressure Head* di influent.
- Tidak membutuhkan biomassa dengan karakteristik pengendapan khusus, produksi lumpur yang kecil, waktu retensi solid yang tinggi, serta tidak membutuhkan media atau bak pengendap untuk retensi biomassa (Barber & Stuckey, 1999).
- Waktu retensi hidrolis rendah, dapat dioperasikan secara intermitten, stabil dan tahan terhadap *hydraulic shock loads*, Waktu operasional tanpa pengurasan lumpur yang lama, serta tahan terhadap *organic shocks* (Barber & Stuckey, 1999).

Proses degradasi senyawa organik dalam reaktor anaerobik berlangsung melalui tiga (3) tahapan, yakni:

- a. Hidrolisis, dimana mikroorganisme merubah senyawa organik kompleks (karbohidrat, protein, dan lipid) menjadi senyawa yang lebih sederhana (*monosaccharides*, asam amino, dan *long-chain fatty acids* (LCFAs))
- b. Acidogenesis/Acetogenesis, dimana senyawa sederhana setelah proses hidrolisis akan berubah menjadi asam organik. Senyawa yang dihasilkan antara lain adalah *volatile fatty acid* (VFAs), CO_2 , H_2 , dengan produk utama berupa asam asetat (CH_3COOH)
- c. Methanogenesis, dimana terjadi konversi asam organik menjadi gas metana, karbon dioksida, dan gas-gas lain seperti hidrogen sulfida, hidrogen, dan nitrogen

Secara sederhana, proses dekomposisi anaerobik dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 5 Skema sederhana dekomposisi anaerob
Sumber: Qasim & Zhu, 2018

Kriteria desain unit *Anaerobic Baffled Reactor* adalah sebagai berikut:

- SS/COD ratio: 0,35-0,45
- Hydraulic Retention Time: > 8h
- Organic Loading Rate Kompartemen: < 3 kg COD/m³.hari
- Upflow velocity Kompartemen: < 2 m/h

Sumber: Gutterer *et al.*, 2009

2.6.3 Biological Aerated Filter

Biological Aerated Filter merupakan unit pengolahan biologis dengan sistem pertumbuhan mikroba terlekat pada media dan membentuk biofilm. Media yang digunakan dalam unit BAF terendam dalam air dan diberi tambahan oksigen melalui proses aerasi, sehingga pengolahan berlangsung dalam kondisi aerobik. Kelebihan sistem reaktor biofilter dibandingkan reaktor dengan pertumbuhan mikroorganisme tersuspensi adalah:

- a. Biomassa lebih tahan terhadap hydraulic shock, hal ini karena biomassa dalam reaktor biofilter melekat pada media sehingga tidak mudah untuk terbawa aliran air apabila terjadi hydraulic shock.
- b. Memiliki waktu tinggal biomassa lebih lama
- c. Lebih cepat dalam proses restart-uo setelah pemberhentian proses

Kekurangan reaktor biofilter adalah, apabila lapisan biofilm semakin tebal, dikhawatirkan dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan aliran dan menghambat proses filtrasi. Namun hal tersebut dapat dihindari dengan dilakukannya backwashing secara rutin. Unit BAF dalam perencanaan ini ditujukan untuk mereduksi kandungan Ammonia dalam air limbah. Untuk mereduksi Ammonia, diperlukan reaksi nitrifikasi dan denitrifikasi. Reaksi nitrifikasi memanfaatkan Oksigen (O_2) untuk mengoksidasi Ammonia (NH_4^+) menjadi Nitrite (NO_2^-) kemudian mengoksidasi Nitrite menjadi Nitrate (NO_3^-). Berdasarkan reaksi tersebut, nitrifikasi melibatkan 2 jenis bakteri, yakni *Ammonia Oxidizing Bacteria (AOB)* dan *Nitrite Oxidizing Bacteria (NOB)*. Apabila lapisan mikroorganisme cukup tebal, maka dapat terjadi perbedaan kondisi pada bagian luar dan bagian dalam lapisan tersebut. Lapisan bagian luar akan berada dalam kondisi aerobik sedangkan pada bagian dalam yang melekat pada media dapat berada pada kondisi anaerobik (Said & Idaman, 2018). Pada zona anaerobik tersebut, Nitrate (NO_3^-) akan tereduksi hingga menjadi gas Nitrogen (N_2) melalui reaksi denitrifikasi oleh bakteri bakteri denitrifikasi. Penelitian yang dilakukan oleh (Kim *et al.*, 2018), menunjukkan bahwa bakteri *Pseudomonas putida* dapat melakukan denitrifikasi dalam kondisi aerobik dengan toleransi DO 5-6 mg/L. Mikroorganisme seperti *Providencia rettgeri YL*, *Bacillus methylotrophicus strain L7*, *Alcaligenes faecalis strain 4*, dan *Vibrio diabolicus SF16* memiliki kemampuan untuk melakukan nitrifikasi heterotropis dan aerobik denitrifikasi dalam satu reaktor (Xu *et al.*, 2017). Beberapa bakteri diatas dapat digunakan sebagai alternatif denitrifikasi aerobik dalam reaktor BAF. Kriteria desain unit *Biological Aerated Filter* adalah sebagai berikut:

- *BOD loading for BOD removal: 3,5-5,5 kg BOD/m³.d; Removal efficiency >85%*
- *Ammonia loading for tertiary nitrification: 1-1,5 kg NH₃-N/m³.d; Removal efficiency >90%*

Sumber: Tchobanoglous *et al.*, 2014

- *Empty Bed Contact Time: 30-60 min*

Sumber: Qasim & Zhu, 2018

2.6.4 Bak Pengendap

Bak Pengendap pada instalasi ini berfungsi untuk mengendapkan lumpur hasil pengolahan air limbah yang masih mengandung biomassa. Lapisan biofilm yang semakin tebal dapat menyebabkan terkelupasnya lapisan biofilm yang berpotensi untuk terbawa aliran menuju ke saluran outlet reaktor BAF. Oleh karena itu, diperlukan bak pengendap guna mengendapkan lapisan-lapisan biofilm yang terbawa aliran tersebut. Kriteria desain unit Bak Pengendap adalah sebagai berikut:

- *Surface overflow rate: 0,8-2,5 m³/m².h*
- Waktu detensi: 1,5-3 jam
- *Weir loading rate: < 11 m³/m.h*

Sumber: SNI 6774:2008

2.6.5 Disinfeksi UV

Berdasarkan data sampel air limbah yang diambil dari 2 SWK di Kota Surabaya diketahui bahwa karakteristik air limbah di SWK tersebut memiliki kandungan total coliform yang tinggi dan melebihi baku mutu. Salah satu pengolahan disinfeksi yang paling sering digunakan adalah dengan menggunakan klorin. Namun penggunaan klorin sebagai disinfektan dikhawatirkan dapat menimbulkan produk samping yang berbahaya. Oleh karena itu dipilih radiasi UV sebagai alternatif disinfeksi untuk IPAL di SWK Bratang Binangun. Radiasi UV dilakukan

dengan lampu khusus yang dipasang terendam dalam reaktor. Dihimpun dari beberapa sumber, diketahui bahwa gelombang penyinaran yang paling efektif sebagai disinfektan berada pada panjang gelombang sinar 254 nm. Oleh karena itu, jenis sinar UV yang digunakan adalah sinar UV-C dimana sinar UV-C memiliki rentang panjang gelombang penyinaran 100-280 nm. Pada waktu penyinaran selama 6 dan 9 menit, diperoleh penurunan jumlah total coliform sebesar 99,9% (Winarti, 2020). Kriteria desain unit *UV Disinfection* adalah:

- *UV transmittance wavelength: 253,7 nm*

Sumber: Qasim & Zhu, 2018

Tiap-tiap air limbah memiliki karakteristik absorbansi & transmisi yang berbeda-beda satu sama lain pada panjang gelombang 254 nm. *Range* tipikal absorbansi & transmisi untuk tiap efluen pengolahan air limbah dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Tipikal Absorbansi & Transmisi UV pada Panjang Gelombang 254 nm

Efluen dari pengolahan	Koefisien Absorbansi (A_{uv}), a.u./cm	Transmittance (UVT), %
Primer	0,3–0,7	20-50
Sekunder	0,15–0,35	45-70
Filtrasi sekunder dengan/tanpa nitrifikasi	0,1-0,25	55-80
Mikrofiltrasi	0,05-0,1	80-90
Reverse Osmosis	0,01-0,05	90-98

Sumber: Qasim & Zhu, 2018

2.7 Sistem Penyaluran Air Limbah

Sistem penyaluran air limbah merupakan jaringan perpipaan yang berfungsi untuk mengalirkan air limbah dari sumber menuju ke instalasi pengolahan. Pengaliran air limbah diupayakan dengan memanfaatkan gravitasi melalui rekayasa kemiringan pipa sehingga air limbah dapat mengalir berdasarkan perbedaan elevasi dimana elevasi awal pipa harus lebih tinggi dari elevasi akhir pipa. Pipa penyaluran diusahakan dapat melakukan *self cleansing* dengan mengatur kecepatan aliran air limbah dalam kisaran 0,6 hingga 3 m/detik. Kecepatan minimum 0,6 m/detik tersebut ditujukan agar padatan-padatan yang memiliki potensi untuk mengendap di dalam pipa penyaluran dapat terbawa aliran air limbah. Pipa penyaluran air limbah yang mengandalkan gravitasi direncanakan pada kondisi parsial atau tidak penuh dengan rasio d/D antara 0,6 hingga 0,8. Pemberian ruang pada pipa bertujuan untuk memastikan masih tersedianya tekanan atmosfer dan sebagai antisipasi terjadinya meluapnya air limbah melalui manhole atau bak kontrol. Pada pipa tidak bertekanan, perencanaan pipa air limbah dapat menggunakan persamaan Manning seperti pada Persamaan 2.1-2.3. Sedangkan untuk pipa bertekanan dapat menggunakan persamaan Hazen-Williams seperti pada persamaan 2.3-2.6.

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$Q = \frac{0,312}{n} D^{\frac{3}{2}} S^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$hf = \left(\frac{vn}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \times L \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

R = Jari-jari hidrolis (perbandingan luas penampang dengan keliling basah)

S = Kemiringan
n = Koefisien Manning
D = Diameter pipa(m)
Q = Debit (m³/s)
L = Panjang pipa (m)

$$Q = 0,278 CD^{2,63}S^{0,54} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$v = 0,849CR^{0,63}S^{0,54} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$hf = 6,82 \frac{L}{D^{1,17}} \left(\frac{v}{C}\right)^{1,85} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

Q = Debit (m³/detik)
C = Koefisien Hazen-Williams
D = Diameter dalam pipa (m)
S = Kemiringan
R = Jari-jari hidrolis

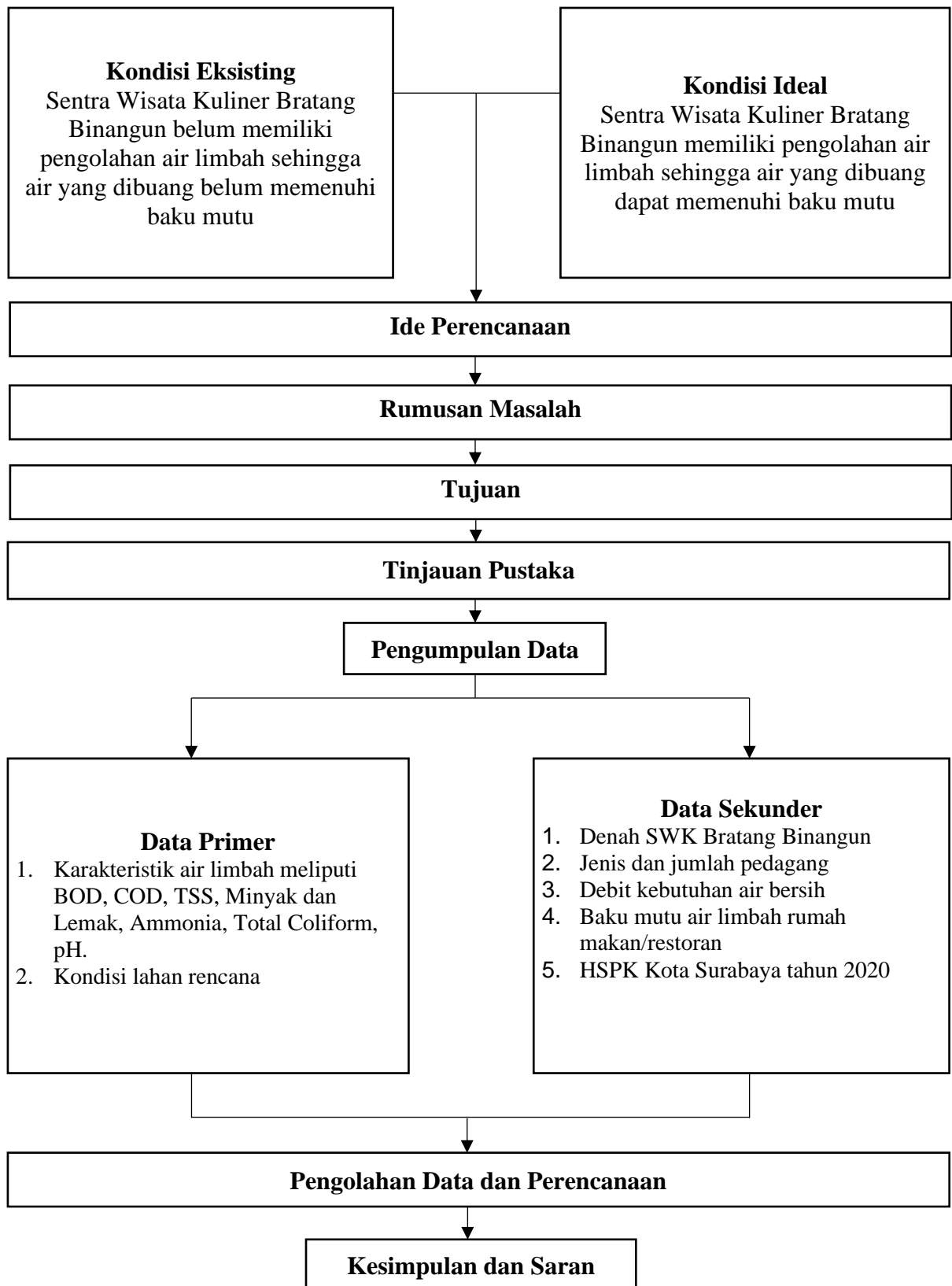
BAB III METODE PERENCANAAN

3.1 Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan pada bab ini berisikan tentang garis besar metode yang akan dilakukan selama perencanaan dalam bentuk kerangka. Penyusunan kerangka perencanaan dilakukan sebagai pedoman dalam melaksanakan perencanaan dari tahap awal hingga akhir perencanaan. Penyusunan kerangka perencanaan bertujuan untuk:

1. Garis besar tahapan pelaksanaan perencanaan untuk mempermudah dan memperjelas kegiatan yang akan dilakukan serta penulisan laporan.
2. Mempermudah pemahaman perencanaan yang akan dilakukan
3. Merupakan acuan dan pedoman dalam perencanaan

Kerangka perencanaan dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Kerangka Perencanaan

3.2 Rangkaian Kegiatan Perencanaan

Rangkaian kegiatan perencanaan merupakan penjabaran dan penjelasan terkait kerangka perencanaan. Berikut adalah rangkaian kegiatan yang akan dilakukan selama perencanaan:

3.2.1 Ide Perencanaan

Ide perencanaan berawal dari kondisi realita dimana Sentra Wisata Kuliner (SWK) Bratang Binangun belum memiliki pengolahan air limbah. Hal ini mengakibatkan air limbah yang dihasilkan dari kegiatan pada SWK Bratang Binangun belum memenuhi baku mutu dan dapat mencemari lingkungan sekitar. Oleh karena itu, guna menjaga kualitas lingkungan serta memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan maka perlu dilakukan perencanaan pembangunan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) pada SWK Bratang Binangun.

3.2.2 Rumusan Masalah

Adanya perbedaan antara kondisi ideal dengan kondisi eksisting menyebabkan timbulnya permasalahan yang perlu diatasi. Kondisi ideal mengharuskan air limbah yang dibuang dari kegiatan SWK Bratang Binangun telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Permasalahan yang dihadapi dari ketidaksesuaian kondisi tersebut dapat diatasi dengan pembangunan unit instalasi pengolahan air limbah yang sesuai dengan karakteristik limbah di SWK Bratang Binangun serta sistem penyaluran air limbah. Guna merencanakan pembangunan dan menjaga operasional IPAL & SPAL tersebut maka diperlukan perhitungan biaya serta SOP yang akan dilaksanakan.

3.2.3 Tinjauan Pustaka

Penyusunan tinjauan pustaka bertujuan untuk menunjang perencanaan yang akan dilakukan. Tinjauan pustaka dapat berisikan tentang teori, kriteria desain, serta rumus-rumus yang akan digunakan dalam perencanaan. Tinjauan pustaka dapat bersumber dari berbagai literatur seperti, *textbook*, jurnal, prosiding, artikel penelitian, berita, dan lain-lain. Tinjauan pustaka yang diperlukan dalam perencanaan ini adalah:

- a. Kondisi Eksisting Sentra Wisata Kuliner Bratang Binangun
- b. Gambaran Umum Air Limbah Rumah Makan/Restoran
- c. Parameter Pencemar & Baku Mutu Air Limbah Rumah Makan/Restoran
- d. Pengolahan Air Limbah
- e. Pengolahan Terdahulu

3.2.4 Pengumpulan Data

Dalam perencanaan yang akan dilakukan, diperlukan data-data guna menunjang perencanaan baik data primer maupun data sekunder. Data yang diperlukan dari perencanaan ini antara lain:

- a. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung melalui observasi lapangan, wawancara, dan analisis laboratorium. Berikut adalah data primer yang dibutuhkan untuk perencanaan ini:

- Karakteristik air limbah

Karakteristik air limbah pada SWK Bratang Binangun dianggap sama dengan SWK yang lain di Kota Surabaya. Oleh karena itu, pengambilan sampel dilakukan pada SWK yang telah memiliki IPAL dan Bak Ekuialisasi. Direncanakan akan dilakukan pengambilan sampel air limbah pada 2 SWK guna memperoleh *range* karakteristik air limbah yang dihasilkan pada SWK. Berdasarkan SNI 6989.59: 2008, pengambilan air limbah dengan proses kontinu yang berasal dari beberapa saluran pembuangan dilakukan secara *grab sampling* pada bak ekuialisasi. Parameter dan metode pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Metode Uji Parameter Pencemar

No.	Parameter	Metode	Standard Uji
1.	BOD	Wrinkler	SNI 6989.72: 2009
2.	COD	Titrimetri	SNI 6989.73: 2009
3.	TSS	Gravimetri	SNI 06-6989.3: 2004
4.	Minyak dan Lemak	Gravimetri	SNI 06-6989.10: 2004
5.	pH	pH meter	SNI 06-6989.11: 2004
6.	Ammonia	Spektrofotometer	SNI 06-6989.30: 2005
7.	Total Coliform	Fermentasi Multi Tabung	SNI 06-4158-1996

b. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang tidak didapatkan secara langsung. Berikut adalah data sekunder yang dibutuhkan dalam perencanaan ini:

- Jenis dan Jumlah Pedagang
- Debit kebutuhan air bersih
Pengukuran debit kebutuhan air bersih diperlukan guna menentukan estimasi debit air limbah yang dihasilkan dari SWK Bratang Binangun. Debit kebutuhan air bersih diambil dari kurang lebih 3 bulan terakhir tagihan penggunaan air di SWK Bratang Binangun melalui nomor rekening air PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.
- Baku mutu air limbah kegiatan rumah makan/restoran
Baku mutu yang digunakan dalam perencanaan ini tercantum pada Lampiran III Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Harga satuan pokok (HSPK) Kota Surabaya tahun 2020

3.2.5 Pengolahan Data dan Perencanaan

Berikut adalah langkah-langkah pengolahan data dan perencanaan IPAL yang akan dilakukan:

- a. Menganalisis karakteristik dan debit air limbah Sentra Wisata Kuliner Bratang Binangun

- b. Menetapkan alternatif pengolahan air limbah
- c. Menggambarkan diagram alir pengolahan
- d. Menghitung *Detail Engineering Design (DED)* IPAL sesuai alternatif pengolahan yang dipilih
- e. Menghitung sistem penyaluran air limbah
- f. Menggambarkan DED IPAL dan sistem penyaluran air limbah berdasarkan perhitungan
- g. Menghitung *Bill of Quantity (BOQ)* dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) berdasarkan HSPK Kota Surabaya tahun 2020
- h. Menetapkan Standar Operasional Prosedur (SOP) pengoperasian dan pemeliharaan IPAL

3.2.6 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini, dilakukan pemaparan hasil analisis dan perencanaan yang telah dilakukan dalam bentuk ringkasan berbentuk kesimpulan yang berisi hasil analisis dan perencanaan dan saran.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Air Limbah Sentra Wisata Kuliner Bratang Binangun

4.1.1 Debit air limbah SWK Bratang Binangun

Salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam desain atau perencanaan suatu instalasi pengolahan air limbah adalah debit yang akan diolah. Debit air limbah sangat diperlukan untuk menghitung berbagai aspek dalam IPAL seperti beban pengolahan, dimensi tiap unit pengolahan, hingga dimensi pipa yang diperlukan untuk menyalurkan air limbah yang dihasilkan. SWK Bratang Binangun memproduksi air limbah yang dihasilkan dari toilet, pencucian alat maupun bahan makanan, maupun air sisa cuci tangan. Air yang digunakan selama operasional sehari-hari di SWK Bratang Binangun merupakan air bersih dari PDAM. Air limbah dihitung 100% dari total air bersih yang digunakan. Seluruh air bersih yang digunakan pada SWK Bratang Binangun diasumsikan akan menjadi air limbah sebagai faktor keamanan dalam perencanaan IPAL untuk mengantisipasi *Hydraulic Shock Loads* yang kemungkinan dapat terjadi. Berikut adalah data penggunaan air bersih di SWK Bratang Binangun selama 3 bulan terakhir.

Tabel 4. 1 Penggunaan Air Bersih SWK Bratang Binangun

Tahun	Bulan	Volume Total	Volume per hari
		m ³	m ³
2022	April	650,00	21,67
2022	Maret	618,00	19,94
2022	Februari	570,00	20,36
Total			61,959

Sumber: Tagihan PDAM

Data penggunaan air tersebut diperoleh dari kwitansi pembayaran & tagihan pembayaran melalui aplikasi Tokopedia. Berdasarkan data tersebut, dapat dihitung debit air limbah rata-rata yang dihasilkan dari kegiatan sehari-hari SWK Bratang Binangun.

$$\begin{aligned}\text{Debit air bersih rata-rata} &= \text{Total volume per hari} / \text{Jumlah data} \\ &= 61,959 \text{ m}^3/\text{hari} / 3 \\ &= 20,66 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

Debit air limbah yang akan digunakan sebagai dasar perencanaan adalah debit puncak. Debit puncak dipilih sebagai antisipasi adanya peningkatan debit air limbah pada waktu-waktu tertentu. Karena tidak direncanakan bak ekualisasi, maka debit yang digunakan untuk merencanakan pengolahan fisik maupun biologis tetap menggunakan debit puncak. Dengan asumsi bahwa jumlah pengunjung yang datang di SWK Bratang Binangun kurang dari 20000 jiwa setiap harinya, maka berdasarkan kriteria perencanaan Ditjen Cipta Karya PU faktor harian maksimum yang digunakan yakni 1,15x dari debit rata-rata air limbah yang dihasilkan. Debit puncak diperoleh dari perkalian antara debit harian maksimum dengan faktor jam puncak, dengan kriteria perencanaan yang sama diketahui bahwa faktor jam puncak yang digunakan yakni 1,75. Sehingga, debit puncak dapat dihitung seperti berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Debit hari maksimum (Qm)} &= \text{Debit rata-rata (Qr)} \times \text{Faktor hari maksimum} \\
&= 20,66 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1,15 \\
&= 23,759 \text{ m}^3/\text{hari} \\
\text{Debit jam puncak (Qp)} &= \text{Debit hari maksimum (Qm)} \times \text{Faktor jam puncak} \\
&= 23,759 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1,75 \\
&= 41,578 \text{ m}^3/\text{hari}
\end{aligned}$$

4.1.2 Kualitas air limbah SWK Bratang Binangun

Kualitas air limbah juga merupakan faktor penting dalam perencanaan sebuah instalasi pengolahan air limbah. Dari kualitas air limbah, dapat diketahui zat pencemar yang nantinya perlu dilakukan pengolahan sebelum dibuang ke badan air. Kualitas air limbah yang digunakan merupakan hasil sampel dari 2 SWK di Kota Surabaya yang telah memiliki IPAL, yaitu SWK Gayungan dan SWK Deles Merr. Kedua sampel tersebut kemudian di analisis di Laboratorium Departemen Teknik Lingkungan ITS. Pengambilan sampel dilakukan pada akhir pekan dimana pada hari tersebut merupakan puncak pengunjung di SWK. Hasil uji laboratorium dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Karakteristik Air Limbah SWK di Surabaya

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	SWK Gayungsari	SWK Deles Merr
1.	BOD5	mg/L O ₂	30	290	56
2.	COD	mg/L O ₂	50	543	104
3.	TSS	mg/L	30	414	238
4.	Minyak dan Lemak	mg/L	5	50	19
5.	Ammonia	mg/L NH ₃ -N	10	16,11	53,06
6.	Total Coliform	MPN/100 mL	3000	2,2 x 10 ⁹	1,7 x 10 ⁷
7.	pH	-	6-9	6,75	7,1

Baku mutu air limbah diatur dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Lainnya dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Berdasarkan kedua regulasi tersebut, air limbah yang berasal dari restoran/rumah makan termasuk dalam kategori air limbah domestik. Diantara 2 regulasi yang berbeda tersebut, dipilih baku mutu dengan nilai yang paling rendah atau paling ketat untuk tiap parameternya.

Berdasarkan hasil analisa karakteristik air limbah di 2 SWK tersebut, diketahui bahwa seluruh parameter air limbah yang dihasilkan melebihi baku mutu yang berlaku. Air limbah di SWK Gayungan memiliki rasio BOD/COD sebesar 0,534 dan air limbah di SWK Deles Merr memiliki rasio BOD/COD sebesar 0,538. Kedua SWK tersebut memiliki rasio BOD/COD lebih besar dari 0,5 sehingga dapat disimpulkan bahwa air limbah yang dihasilkan dari Sentra Wisata Kuliner mudah untuk diolah dengan cara biologis.

4.2 Sistem Penyaluran Air Limbah SWK Bratang Binangun

Guna mendukung operasional IPAL, diperlukan pula infrastruktur sistem penyaluran dari sumber air limbah menuju lokasi IPAL. Berikut adalah perencanaan sistem penyaluran air limbah pada SWK Bratang Binangun.

4.2.1 Debit dan Blok Pelayanan

Pada perencanaan penyaluran air limbah, diasumsikan bahwa air limbah yang dihasilkan merupakan 100% dari total penggunaan air bersih di SWK Bratang Binangun. Sehingga debit air limbah yang masuk dalam pipa penyaluran sama dengan debit jam puncak penggunaan air bersih yakni sebesar 40,552 m³/d. Selain debit air limbah yang dihasilkan melalui kegiatan sehari-hari, juga diperhitungkan perkiraan infiltrasi air tanah ke dalam pipa penyaluran. Air tanah dapat masuk ke dalam pipa penyaluran melalui dinding pipa yang terdapat keretakan, porositas, area terkorosi/erosi, aksesoris dan struktur perawatan serta peletakan pipa (Anonymous, 2014). Berdasarkan Anonymous (2014), perhitungan infiltrasi air tanah dalam pipa memiliki rumus sebagai berikut:

$$GWI = 0,025 \times A \times \text{Portionwet}$$

Dimana:

GWI : *Groundwater Infiltration* atau infiltrasi air tanah dalam L/s

A : Luas area perencanaan / blok perencanaan dalam ha

Portionwet : Asumsi persentase jaringan pipa di bawah elevasi air tanah

Diketahui bahwa SWK Bratang Binangun sendiri memiliki luas berkisar 2000 m² atau 0,2 ha. Apabila diasumsikan bahwa 50% jaringan pipa penyaluran air limbah di SWK Bratang Binangun terletak di bawah elevasi air tanah, maka dengan menggunakan persamaan diatas, debit infiltrasi air tanah yang masuk ke dalam pipa penyaluran air limbah di SWK Bratang Binangun dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} GWI &= 0,025 \times A \times \text{Portionwet} \\ &= 0,025 \times 0,2 \text{ ha} \times 50\% \\ &= 0,002 \text{ L/s} = 0,216 \text{ m}^3/\text{d} \end{aligned}$$

Kemudian untuk mengetahui total debit yang digunakan dalam perencanaan, maka debit air limbah jam puncak ditambah kan dengan debit infiltrasi air tanah.

$$\begin{aligned} \text{Debit Penyaluran (Qpn)} &= \text{Debit jam puncak} + GWI \\ &= 41,578 \text{ m}^3/\text{d} + 0,216 \text{ m}^3/\text{d} \\ &= 41,794 \text{ m}^3/\text{d} \end{aligned}$$

Debit penyaluran air limbah tersebut terdiri dari debit pembuangan air stand, debit buangan toilet termasuk saluran floor drain toilet, urinoir, dan kloset, serta air wudhu. Penyaluran air buangan toilet dibuat terpisah dengan air buangan dari stand dan air wudhu, sedangkan untuk penyaluran air buangan dari stand dan air wudhu digabung menjadi satu saluran. Untuk itu, perlu diketahui debit aliran buangan dari toilet, debit air wudhu, dan debit air buangan dari tiap stand. Debit air toilet diasumsikan 10% dari total debit penyaluran, sehingga debit buangan dari toilet dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Debit Buangan Toilet (Qtl)} &= \text{Debit penyaluran} \times \% \text{Buangan toilet} \\
&= 41,794 \text{ m}^3/\text{d} \times 10\% \\
&= 4,1794 \text{ m}^3/\text{d}
\end{aligned}$$

Kemudian debit air wudhu (Qwd) diasumsikan sebesar 1 m³/d, sehingga debit buangan dari tiap stand dapat dihitung dengan membagi debit penyaluran yang telah dikurangi dengan debit buangan toilet dan debit air wudhu, dengan jumlah stand yang ada di SWK Bratang Binangun. Debit buangan tiap stand diperlukan untuk mengestimasi debit air limbah yang dialirkan dari tiap blok penyaluran yang telah direncanakan. SWK Bratang Binangun sendiri memiliki kapasitas penjual atau stand sebanyak 52 unit, meskipun dalam operasionalnya sehari-hari tidak seluruh unit stand tersebut yang akan beroperasi, sehingga diperlukan faktor peak guna mengantisipasi peningkatan aliran debit air limbah yang dihasilkan, baik untuk perencanaan pipa penyaluran maupun IPAL yang akan dibangun. Berikut adalah perhitungan debit buangan untuk tiap stand:

$$\begin{aligned}
\text{Debit Buangan Stand (Qst)} &= (\text{Qpn} - \text{Qtl} - \text{Qwd}) / \text{Nst} \\
&= (41,794 \text{ m}^3/\text{d} - 4,1794 \text{ m}^3/\text{d} - 1 \text{ m}^3/\text{d}) / 52 \\
&= 0,704 \text{ m}^3/\text{d}.\text{stand}
\end{aligned}$$

Wilayah perencanaan penyaluran air limbah dibagi menjadi 6 blok perencanaan. Pembagian ini berdasar pada jarak sumber air limbah yang berdekatan antara satu dengan lainnya. 6 blok perencanaan terdiri dari 1 blok penyaluran toilet, 1 blok penyaluran air wudhu dan 4 blok penyaluran stand penjualan. Untuk pembagian tiap sumber penghasil air limbah pada tiap bloknya dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Blok Perencanaan Penyaluran Air Limbah

Blok	Sumber	Satuan
Blok A	10	stand
Blok B	8	stand
Blok C	22	stand
Blok D	12	stand
Blok E	1	zona wudhu
Blok F	1	toilet

Perhitungan debit tiap blok terdiri dari debit jam puncak penyaluran dan debit rata-rata penyaluran. Debit jam puncak penyaluran sama dengan debit penyaluran (Qpn) hal ini karena dalam awal perhitungannya dilakukan berdasarkan debit jam puncak kebutuhan air bersih. Perhitungan debit penyaluran air limbah per blok adalah berikut:

Contoh perhitungan debit penyaluran air limbah Blok A:

Blok A memiliki jumlah sumber penghasil air limbah sebanyak 10 stand, sehingga untuk menghitung debit penyalurannya perlu diketahui debit buangan tiap stand untuk menghitung total debit yang akan dialirkan.

$$\begin{aligned}
\text{Debit Blok A (Qba)} &= Q_{st} \times N_{ba} \\
&= 0,704 \text{ m}^3/\text{d}.\text{stand} \times 10 \text{ stand} \\
&= 7,04 \text{ m}^3/\text{d}/\text{stand} = 0,000130 \text{ m}^3/\text{s}
\end{aligned}$$

Dengan cara dan rumus yang sama, dapat dilakukan perhitungan debit penyaluran untuk tiap blok. Hasil perhitungan debit air limbah masing – masing blok dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Debit Air Limbah Tiap Blok

Blok	Sumber	Satuan	Debit Jam Puncak		Debit Jam Rata-rata	
			m ³ /d	m ³ /s	m ³ /d	m ³ /s
Blok A	10	stand	7,04	0,000130	3,48	0,000064
Blok B	8	stand	5,63	0,000104	2,78	0,000052
Blok C	22	stand	15,49	0,000287	7,66	0,000142
Blok D	12	stand	8,45	0,000156	4,18	0,000077
Blok E	1	zona wudhu	1,00	0,000019	0,35	0,000006
Blok F	1	toilet	4,18	0,000077	3,66	0,000068

Kedua debit tersebut akan dijadikan sebagai dasar untuk merencanakan penyaluran air limbah menuju IPAL. Penyaluran tersebut direncanakan menggunakan pipa yang tertanam di bawah tanah untuk mengalirkan air limbah. Guna menentukan diameter yang sesuai untuk mengalirkan air limbah tersebut, maka perlu diketahui beban air limbah yang akan diterima dan dialirkan oleh pipa. Pembebanan pipa air limbah berdasarkan pada rencana jaringan pipa penyalur air limbah yang dapat dilihat pada lembar lampiran dalam laporan ini. Pembebanan untuk tiap jalur pipa dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Pembebanan Pipa Penyalur Air Limbah

No	Jalur Pipa	L pipa	Q peak	Q ave
		m	m ³ /s	m ³ /s
1	B1-P1	12,5	0,000104	0,000052
2	A1-P2	20,5	0,000130	0,000064
3	D1-C1	26	0,000156	0,000077
4	C1-P3	53	0,000443	0,000219
5	P1-P2	2,7	0,000104	0,000052
6	P2-P3	15	0,000235	0,000116
7	P3-P4	3	0,000678	0,000335
8	P4-P5	8	0,000697	0,000342
9	T1-T2	8	0,000077	0,000068

4.2.2 Diameter Pipa Penyaluran Air Limbah

Perhitungan dimensi pipa yang akan digunakan untuk menyalurkan air limbah dilakukan berdasarkan beban pada tiap jalur yang akan dilaluinya. Jenis pipa yang dipilih dalam perencanaan ini sebagai pipa penyalur air limbah adalah pipa PVC kelas D. Jenis pipa PVC memiliki angka koefisien kekasaran manning berkisar 0,002-0,012 (Kementerian PUPR, 2018). Hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dimensi pipa yang sesuai adalah kecepatan aliran air dalam pipa tidak lebih besar dari 3 m/detik serta tidak lebih kecil dari 0,6 m/s.

Pembatasan pada kecepatan maksimum berfungsi untuk meminimalisir potensi gerusan terhadap permukaan pipa, sedangkan pembatasan kecepatan minimum berfungsi untuk meminimalisir adanya pengendapan padatan pada pipa. Berikut adalah contoh perhitungan diameter pipa penyaluran air limbah:

Contoh Perhitungan Diameter Pipa B1-P1:

Data & rencana:

Q _{peak} pipa B1-P1	=	5,63 m ³ /d = 0,000104 m ³ /s
Q _{ave} pipa B1-P1	=	2,78 m ³ /d = 0,000052 m ³ /s
Slope tanah	=	0%
Rencana slope pipa	=	1,00%
Koef. Kekasaran manning (n)	=	0,01

Berdasarkan data dan rencana diatas dapat dilakukan perhitungan diameter minimum sesuai persamaan manning.

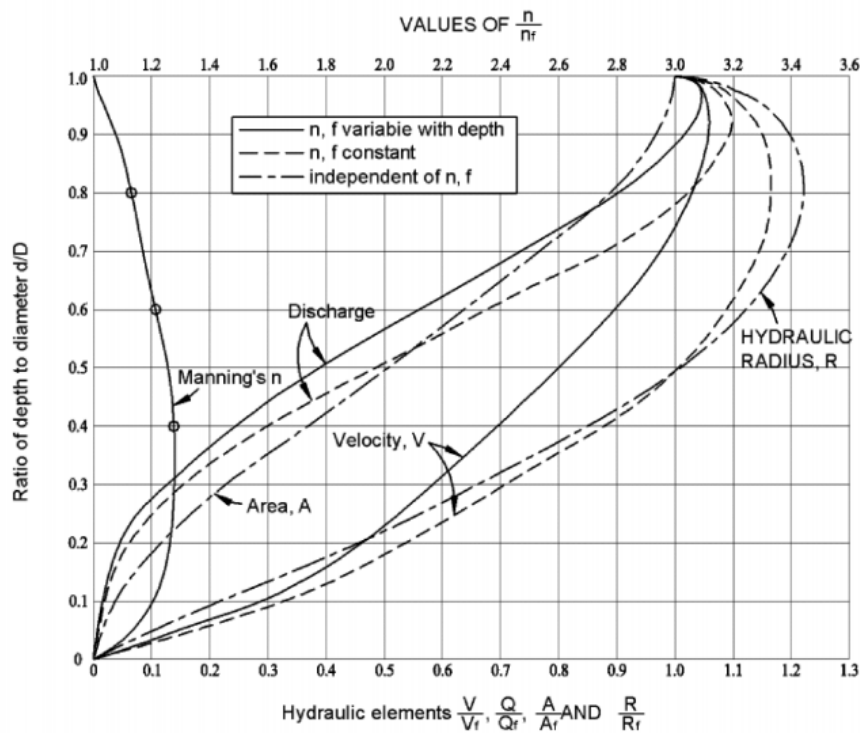
$$Q = \frac{0,3117}{n} D^{8/3} S^{1/2}$$

$$D = \left(\frac{Q \times n}{0,3117 \times S^{1/2}} \right)^{3/8}$$

$$= \left(\frac{0,000104 \text{ m}^3/\text{s} \times 0,01}{0,3117 \times (1,00\%)^{1/2}} \right)^{3/8}$$

$$= 21 \text{ mm}$$

Diameter pipa hasil perhitungan terlalu kecil, dikhawatirkan pipa mudah tersumbat oleh padatan yang kemungkinan ikut terbawa selama pengaliran. Direncanakan diameter yang akan digunakan pada jalur pipa B1-P1 sebesar 150 mm. Perlu diketahui debit pengaliran penuh (Q_{full}) dan kecepatan aliran penuh (V_{full}) pada pipa. Kedua parameter tersebut diperlukan untuk mengetahui perbandingan debit aliran baik maksimum maupun rata-rata terhadap debit penuh (Q/Q_{full}). Perbandingan tersebut dapat digunakan untuk menentukan perbandingan kecepatan aliran maksimum atau minimum terhadap kecepatan penuh (V/V_{full}) berdasarkan grafik variasi debit, kecepatan, dan kedalaman untuk pipa bundar berikut.



Gambar 4. 1 Grafik variasi debit, kecepatan, dan kedalaman untuk pipa bundar
 Sumber: Kementerian PUPR, 2018

$$\begin{aligned}
 Q_{full} &= \frac{0,3117}{n} D^{8/3} S^{1/2} \\
 &= \frac{0,3117}{0,01} (0,15)^{8/3} (1,00\%)^{1/2} \\
 &= 0,0198 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{full} &= \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \\
 &= \frac{1}{n} \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} S^{1/2} \\
 &= \frac{1}{0,01} \left(\frac{0,15}{4}\right)^{2/3} (1,00\%)^{1/2} \\
 &= 1,12 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Setelah diketahui Q_{full} , dilakukan perbandingan Q_{peak} dengan Q_{full} serta Q_{ave} dengan Q_{full} seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{peak} / Q_{full} &= 0,0053 \\
 Q_{ave} / Q_{full} &= 0,002604
 \end{aligned}$$

Dari perbandingan debit tersebut, ditarik garis untuk mengetahui d/D serta V/V_{full} pada masing-masing debit puncak dan debit rata-rata seperti berikut

$$\begin{aligned}
 d_{peak} / D &= 0,054 \\
 d_{ave} / D &= 0,038 \\
 V_{peak} / V_{full} &= 0,24
 \end{aligned}$$

$$V_{ave}/V_{full} = 0,20$$

Kemudian dilakukan perkalian untuk mengetahui kecepatan pada aliran puncak maupun aliran rata-rata berdasarkan perbandingan kecepatan (V/V_{full}) serta kecepatan penuh pada pipa (V_{full}).

$$\begin{aligned} V_{peak} / V_{full} &= 0,24 \\ V_{peak} &= 0,24 \times V_{full} \\ &= 0,24 \times 1,12 \text{ m/s} \\ &= 0,268 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{ave} / V_{full} &= 0,20 \\ V_{ave} &= 0,20 \times V_{full} \\ &= 0,20 \times 1,12 \text{ m/s} \\ &= 0,219 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, diketahui bahwa kecepatan puncak, maupun kecepatan rata-rata tidak sesuai dengan kriteria kecepatan pengaliran, yakni tidak lebih cepat dari 3 m/s serta tidak lebih lambat dari 0,6 m/s. Oleh karena itu, perlu dilakukan penggelontoran secara rutin guna memastikan tidak adanya padatan yang mengendap. Dengan langkah yang sama seperti diatas, diperoleh diameter pipa untuk tiap jalurnya seperti pada Tabel 4.6-4.9:

Tabel 4. 6 Data & Rencana Pendukung Perhitungan Diameter Pipa

No	Jalur Pipa	L pipa	Q peak	Q ave	Elevasi Tanah		Slope Tanah	Slope Pipa	n
		m	m ³ /s	m ³ /s	awal	akhir	%	%	
1	B1-P1	12,5	0,000104	0,000052	2,8	2,8	0	1,00%	0,01
2	A1-P2	20,5	0,000130	0,000064	2,8	2,8	0	1,00%	0,01
3	D1-C1	26	0,000156	0,000077	2,8	2,8	0	1,00%	0,01
4	C1-P3	53	0,000443	0,000219	2,8	2,8	0	1,00%	0,01
5	P1-P2	2,7	0,000104	0,000052	2,8	2,8	0	1,00%	0,01
6	P2-P3	15	0,000235	0,000116	2,8	2,8	0	1,00%	0,01
7	P3-P4	3	0,000678	0,000335	2,8	2,8	0	1,00%	0,01
8	P4-P5	8	0,000697	0,000342	2,8	2,8	0	1,00%	0,01
9	T1-T2	8	0,000077	0,000068	2,8	2,8	0	2,00%	0,01

Tabel 4. 7 Rincian Pipa Penyaluran Debit Penuh

No	Jalur Pipa	D hitung	D pasaran	Qfull	vfull
		mm	mm	m ³ /s	m/s
1	B1-P1	21,0	150	0,0198	1,12
2	A1-P2	22,8	150	0,0198	1,12
3	D1-C1	24,4	150	0,0198	1,12
4	C1-P3	36,1	150	0,0198	1,12
5	P1-P2	21,0	150	0,0198	1,12
6	P2-P3	28,4	150	0,0198	1,12
7	P3-P4	42,3	150	0,0198	1,12
8	P4-P5	42,8	150	0,0198	1,12
9	T1-T2	16,5	200	0,0604	1,92

Tabel 4. 8 Rincian Pipa Penyaluran Debit Puncak

No	Jalur Pipa	Qpeak / Qfull	d/D peak	vpeak / vfull	vpeak
					m/s
1	B1-P1	0,0053	0,054	0,24	0,268
2	A1-P2	0,0066	0,060	0,26	0,287
3	D1-C1	0,0079	0,066	0,27	0,302
4	C1-P3	0,0224	0,110	0,35	0,393
5	P1-P2	0,0053	0,054	0,24	0,268
6	P2-P3	0,0118	0,080	0,30	0,332
7	P3-P4	0,0342	0,138	0,40	0,448
8	P4-P5	0,0351	0,140	0,40	0,451
9	T1-T2	0,0013	0,048	0,13	0,250

Tabel 4. 9 Rincian Pipa Penyaluran Debit Rata-Rata

No	Jalur Pipa	Qave / Qfull	d/D ave	vave / vfull	vave
					m/s
1	B1-P1	0,0026	0,038	0,20	0,219
2	A1-P2	0,00325	0,044	0,21	0,238
3	D1-C1	0,0039	0,048	0,22	0,250
4	C1-P3	0,01106	0,078	0,29	0,329
5	P1-P2	0,0026	0,038	0,20	0,219
6	P2-P3	0,00585	0,058	0,25	0,280
7	P3-W1	0,01691	0,098	0,33	0,369
8	W1-P4	0,01724	0,098	0,33	0,369
9	T1-T2	0,00112	0,044	0,12	0,238

Berdasarkan tabel diatas, diketahui bahwa seluruh jalur pipa belum memenuhi kriteria desain kecepatan minimum, oleh karena itu perlu dilakukan penggelontoran pipa SPAL secara rutin sebagai upaya perawatan pada SPAL.

4.2.3 Penanaman Pipa Penyaluran Air Limbah

Penanaman pipa penyaluran air limbah dilakukan sesuai slope yang telah direncanakan pada perhitungan diameter pipa sebelumnya. Diketahui bahwa jalan disekitar SWK Bratang Binangun memiliki elevasi +2 m berdasarkan data dari Google Earth. Setelah dilakukan pengukuran di lapangan, jarak antara tinggi muka air pada saluran drainase di sekitar SWK Bratang Binangun dengan muka tanah di SWK Bratang Binangun setinggi 1,25 m, dengan selisih elevasi muka air saluran drainase tersebut dengan elevasi muka jalan sebesar 0,45 m. Berdasarkan data tersebut, elevasi muka tanah di SWK Bratang Binangun dapat dihitung seperti berikut:

Data awal:

Jarak elevasi muka air dengan muka tanah (st)	=	1,25 m
Elevasi muka jalan	=	+ 2 m
Jarak elevasi muka air dengan muka jalan (sj)	=	0,45 m

Perhitungan:

Elevasi muka tanah	=	Elevasi muka jalan + (st – sj)
	=	+2 m + (1,25 m – 0,45 m)
	=	+2,8 m

Elevasi muka tanah di SWK Bratang Binangun diasumsikan datar sehingga tidak terdapat perbedaan ketinggian di area SWK Bratang Binangun itu sendiri. Pipa penyaluran air limbah direncanakan untuk mengalir secara gravitasi, sehingga elevasi penanaman pipa tersebut memiliki peran yang penting untuk memastikan bahwa pipa dapat mengalir dari awal hingga akhir jaringan perencanaan. Berikut adalah contoh perhitungan penanaman pipa penyaluran air limbah:

Contoh Perhitungan Penanaman Pipa B1-P1:

Data & Rencana:

Elevasi tanah awal	=	+2,8 m
Elevasi tanah akhir	=	+2,8 m
Panjang pipa (L)	=	12,5 m
Slope pipa (S)	=	1,00%
Kedalaman urugan penanaman	=	0,15 m

Dari data dan rencana tersebut, dapat dilakukan perhitungan untuk menghitung headloss selama pengaliran pipa tanpa menghitung headloss diawal dan akhir pipa seperti berikut:

Headloss (HL)	=	L x Slope
	=	12,5 m x 1,00%
	=	0,125 m

Setelah diketahui headloss aliran air pada pipa, dapat dilakukan perhitungan untuk menghitung elevasi awal dan akhir pipa seperti berikut:

Elevasi awal bawah pipa	=	Elevasi tanah awal – Kedalaman urugan – Dpipa
	=	2,8 m – 0,15 m – 0,15 m

$$\begin{aligned}
 &= 2,5 \text{ m} \\
 \text{Elevasi awal atas pipa} &= \text{Elevasi awal bawah pipa} + D_{\text{pipa}} \\
 &= 2,5 \text{ m} + 0,2 \text{ m} \\
 &= 2,7 \text{ m} \\
 \text{Elevasi akhir bawah pipa} &= \text{Elevasi tanah awal} - \text{Kedalaman urugan} - D_{\text{pipa}} - \text{HL} \\
 &= 2,8 \text{ m} - 0,15 \text{ m} - 0,15 \text{ m} - 0,125 \text{ m} \\
 &= 2,375 \text{ m} \\
 \text{Elevasi akhir atas pipa} &= \text{Elevasi awal bawah pipa} + \text{Diameter pipa} \\
 &= 2,375 \text{ m} + 0,15 \text{ m} \\
 &= 2,525 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui kedalaman penggalian di titik awal dan akhir pipa seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Galian awal penanaman} &= \text{Elevasi tanah awal} - \text{Elevasi awal bawah pipa} \\
 &= 2,8 \text{ m} - 2,5 \text{ m} \\
 &= 0,3 \text{ m} \\
 \text{Galian akhir penanaman} &= \text{Elevasi tanah akhir} - \text{Elevasi akhir bawah pipa} \\
 &= 2,8 \text{ m} - 2,375 \text{ m} \\
 &= 0,425 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kedalaman penanaman pipa lanjutan disesuaikan dengan kedalaman elevasi penanaman pipa yang sebelumnya. Perhitungan penanaman pipa untuk tiap jalur pipa dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan 4.11.

Tabel 4. 10 Data Headloss Pipa Penyaluran Air Limbah

No	Jalur Pipa	D pipa	L pipa	Slope pipa	Headloss
		mm	m	%	m
1	B1-P1	150	12,5	1,00%	0,125
2	A1-P2	150	20,5	1,00%	0,205
3	D1-C1	150	26	1,00%	0,26
4	C1-P3	150	53	1,00%	0,53
5	P1-P2	150	2,7	1,00%	0,027
6	P2-P3	150	15	1,00%	0,15
7	P3-P4	150	3	1,00%	0,03
8	P4-P5	150	8	1,00%	0,08
9	T1-T2	200	8	2,00%	0,16

Tabel 4. 11 Data Penanaman Pipa Penyaluran Air Limbah

No	Jalur Pipa	Elevasi awal pipa (m)		Elevasi akhir pipa (m)		Kedalaman (m)	
		bawah	atas	bawah	atas	awal	akhir
1	B1-P1	2,500	2,650	2,375	2,525	0,300	0,425
2	A1-P2	2,500	2,650	2,295	2,445	0,300	0,505
3	D1-C1	2,500	2,650	2,240	2,390	0,300	0,560
4	C1-P3	2,240	2,390	1,710	1,860	0,560	1,090
5	P1-P2	2,375	2,525	2,348	2,498	0,425	0,452
6	P2-P3	2,295	2,445	2,145	2,295	0,505	0,655
7	P3-P4	1,710	1,860	1,680	1,830	1,090	1,120
8	P4-P5	1,680	1,830	1,600	1,750	1,120	1,200
9	T1-T2	2,300	2,500	2,140	2,340	0,500	0,660

Berdasarkan hasil perhitungan yang tertuang dalam tabel diatas, diketahui bahwa kedalaman penggalian terdalam berada pada jalur pipa P4-P5 yang merupakan jalur terakhir jaringan pipa menuju IPAL dengan kedalaman galian sedalam 1,20 m.

4.2.4 Bangunan Pelengkap SPAL

Terdapat 2 jenis bangunan pelengkap yang direncanakan guna menunjang jaringan penyaluran air limbah pada perencanaan ini, yakni Bak Kontrol atau Manhole dan Bangunan Penggelontor. Bak kontrol direncanakan berjarak 15 m antara satu dan lainnya. Manhole direncanakan memiliki panjang tiap sisi 60 cm yang dilengkapi dengan tutup manhole dengan ukuran 65 x 65 cm. Bangunan penggelontor direncanakan berada di tiap ujung awal saluran. Jumlah manhole/bak kontrol tiap blok perencanaan dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Jumlah Manhole Tiap Blok Perencanaan

No	Jalur Pipa	L pipa	Jarak Manhole	Jumlah Manhole Lurus
		m	m	
1	B1-P1	12,5	15	0
2	A1-P2	20,5	15	0
3	D1-C1	26	15	1
4	C1-P3	53	15	3
5	P1-P2	2,7	15	0
6	P2-P3	15	15	0
7	P3-P4	3	15	0
8	P4-P5	8	15	0
9	T1-T2	8	15	0
Total				4

Terdapat pula manhole jenis belokan dan pertigaan sesuai titik seperti pada Tabel 4.13.

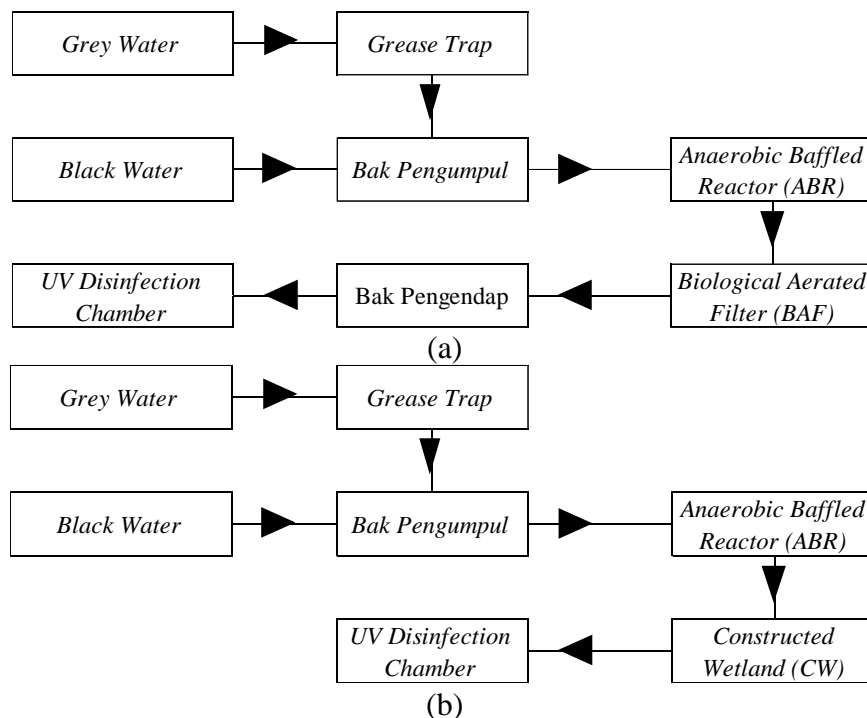
Tabel 4. 13 Rincian Manhole Belokan dan Pertigaan

No	Manhole	Titik	Jumlah
1	Belokan	C1	3
		P1	
		W1	
2	Pertigaan	P2	3
		P3	
		P4	
3	Ujung	A1	3
		B1	
		D1	

4.3 Alternatif Pengolahan Air Limbah SWK Bratang Binangun

Bedasarkan hasil analisis karakteristik air limbah yang telah dilakukan, dapat ditentukan beberapa alternatif pengolahan guna mengolah air limbah yang dihasilkan dari Sentra Wisata Kuliner. Terdapat 2 (dua) alternatif IPAL yang direncanakan untuk mengolah air limbah di SWK Bratang Binangun. Pemilihan alternatif pengolahan tersebut nantinya akan dilakukan berdasarkan beberapa aspek diantaranya adalah efektivitas pengolahan, kebutuhan lahan, kebutuhan energi, kerumitan operasional, biaya operasional dan pembangunan, serta aspek estetika meliputi bau.

Alternatif pertama yakni unit IPAL akan menggunakan *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)* kemudian dilakukan pengolahan lanjutan dengan *Biological Aerated Filter (BAF)* dan terakhir dengan Bak Pengendap. Kemudian untuk alternatif kedua yaitu unit *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)* dilanjutkan dengan *Constructed Wetland (CW)*. Diagram alir alternatif pengolahan dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 (a.) Diagram Alternatif 1 (b) Diagram Alternatif 2

Kedua alternatif tersebut dipilih sesuai dengan hasil analisis karakteristik air limbah yang dilakukan. Dengan rasio BOD/COD yang lebih besar dari 0,5 maka pengolahan utama akan menggunakan pengolahan biologis kemudian karena parameter ammonia melebihi baku mutu maka akan dilakukan pengolahan lanjutan guna menghilangkan nitrogen dalam air limbah. Unit Grease Trap nantinya akan berfungsi untuk menahan kandungan minyak dan lemak dalam *grey water* agar tidak masuk ke dalam unit pengolahan selanjutnya. Unit ABR nantinya akan terintegrasi dengan settler, dimana pada settler tersebut akan digunakan untuk menyisihkan padatan-padatan dalam air limbah. Unit BAF dan CW merupakan unit pengolahan lanjutan yang ditujukan untuk mengolah nitrogen dalam air limbah. Unit UV Disinfection merupakan unit pengolahan yang ditujukan untuk menonaktifkan mikroorganisme patogen dalam air limbah.

4.3.1 Efisiensi penyisihan alternatif pengolahan

Efisiensi penyisihan polutan merupakan aspek yang paling penting dalam memilih alternatif pengolahan yang tepat. Setiap alternatif pengolahan yang dipilih, harus mampu mengolah air limbah hingga memiliki karakteristik dibawah baku mutu yang berlaku. Berikut adalah efisiensi pengolahan dari tiap-tiap alternatif yang telah direncanakan. Efisiensi pengolahan alternatif 1 dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Efisiensi Pengolahan Alternatif 1

Parameter	Konsentrasi Awal	Satuan	Grease Trap		Bak Pengumpul		ABR	
			Removal	Effluen	Removal	Effluen	Removal	Effluen
BOD5	290	mg/L O ₂	0%	290	0%	290	80% ^b	58
COD	543	mg/L O ₂	0%	543	0%	543	80% ^b	108,6
TSS	414	mg/L	0%	414	0%	414	75% ^c	103,5
Minyak dan Lemak	50	mg/L	95% ^a	2,5	0%	2,5	80% ^d	0,5
Ammonia	53,06	mg/L NH ₃ -N	0%	53,06	0%	53,06	0%	53,06
Total Coliform	2,2 x 10 ⁹	MPN/100 mL	0%	2,2 x 10 ⁹	0%	2,2 x 10 ⁹	0%	2,2 x 10 ⁹

Lanjutan Tabel 4. 14

Parameter	BAF		Bak Pengendap		Disinfeksi UV	
	Removal	Effluen	Removal	Effluen	Removal	Effluen
BOD5	90% ^e	5,8	30% ^h	4,06	0%	4,06
COD	90% ^e	10,86	30% ^h	7,602	0%	7,602
TSS	90% ^e	10,35	50% ^h	5,175	0%	5,175
Minyak dan Lemak	50% ^f	0,25	0%	0,25	0%	0,25
Ammonia	90% ^g	5,306	0%	5,306	0%	5,306
Total Coliform	0%	2,2 x 10 ⁹	0%	2,2 x 10 ⁹	100,0% ⁱ	2,2 x 10 ³

Sumber:

- a. Wisesa & Slamet, 2016
- b. Gutterer *et al.*, 2009
- c. Hahn & Figueroa, 2015
- d. Ji *et al.*, 2009

- e. Zahra & Purwanti, 2013
- f. Filliazati, 2013
- g. Tchobanoglous *et al.*, 2014
- h. Qasim & Zhu, 2018
- i. Winarti, C., 2020

Efisiensi pengolahan untuk alternatif 2 dapat dilihat pada Tabal 4.15.

Tabel 4. 15 Efisiensi Pengolahan Alternatif 2

Parameter	Konsentrasi Awal	Satuan	Grease Trap		Bak Pengumpul	
			Removal	Effluen	Removal	Effluen
BOD5	290	mg/L O ₂	0%	290	0%	290
COD	543	mg/L O ₂	0%	543	0%	543
TSS	414	mg/L	0%	414	0%	414
Minyak dan Lemak	50	mg/L	95% ^a	2,5	0%	2,5
Ammonia	53,06	mg/L NH ₃ -N	0%	53,06	0%	53,06
Total Coliform	2,2 x10 ⁹	MPN/100 mL	0%	2,2 x10 ⁹	0%	2,2 x10 ⁹

Lanjutan Tabel 4. 15

Parameter	ABR		CW		Disinfeksi UV	
	Removal	Effluen	Removal	Effluen	Removal	Effluen
BOD5	80% ^b	58	90% ^e	5,8	0%	5,8
COD	80% ^b	108,6	85% ^f	16,29	0%	16,29
TSS	75% ^c	103,5	95% ^e	5,175	0%	5,175
Minyak dan Lemak	80% ^d	0,5	0%	0,5	0%	0,5
Ammonia	0%	53,06	90% ^g	5,306	0%	5,306
Total Coliform	0%	2,2 x10 ⁹	0%	2,2 x10 ⁹	100% ^h	2,2 x10 ³

Sumber:

- a. Wisesa & Slamet, 2016
- b. Gutterer *et al.*, 2009
- c. Hahn & Figueroa, 2015
- d. Ji *et al.*, 2009
- e. Jaelani *et al.*, 2021
- f. Prakoso & Tangahu, 2017
- g. Houndedjihou *et al.*, 2021
- h. Winarti, 2020

4.3.2 Pertimbangan pemilihan alternatif pengolahan

Berdasarkan kedua alternatif diatas, perbedaan unit pengolahan terletak pada pengolahan lanjutan yakni untuk mengolah ammonia yang ada dalam air limbah. Alternatif pertama menggunakan *Biological Aerated Filter (BAF)* sedangkan untuk alternatif kedua menggunakan *Constructed Wetland (CW)* untuk mereduksi kandungan N dalam air limbah. Berikut adalah penjelasan terkait perbandingan tiap alternatif pengolahan.

A. Unit *Biological Aerated Filter*

a. Preliminary Desain

Pada preliminary desain unit BAF, perencanaan mengacu kepada waktu detensi. Diasumsikan bahwa air limbah yang dihasilkan hanya selama operasional SWK yakni 15 jam per hari. Berikut adalah perhitungan preliminary desain untuk unit BAF.

Direncanakan:

$$\begin{aligned}\text{Debit} &= 20,66 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 1,38 \text{ m}^3/\text{jam}\end{aligned}$$

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

$$\text{Waktu detensi} = 2 \text{ jam}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= Q \times t_d \\ &= 1,38 \text{ m}^3/\text{jam} \times 2 \text{ jam} \\ &= 2,755 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas area} &= V / H \\ &= 2,755 \text{ m}^3 / 2 \text{ m} \\ &= 1,38 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, diketahui bahwa kebutuhan lahan untuk unit BAF relatif kecil, hanya sekitar $2,5 \text{ m}^2$ untuk mengolah air limbah yang dihasilkan.

b. Kebutuhan Energi

Operasional unit BAF memerlukan blower sebagai sumber suplai oksigen. Berdasarkan perancangan unit yang dilakukan oleh (Anjana, R. B., 2021), untuk menghilangkan beban BOD sebesar $15.876 \text{ kgBOD/hari}$ membutuhkan 2 unit blower dengan power masing-masing sebesar 2 hp dan kapasitas $8 \text{ m}^3/\text{menit}$, sehingga total energi listrik yang dibutuhkan adalah sebesar 4 hp atau 2984 watt (1 hp = 746 watt).

c. Operasional dan Pemeliharaan

Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan pemeliharaan unit BAF. Diantaranya adalah pengecekan blower udara yang meliputi pengecekan pada *pressure gauge*, *vent belt*, filter udara, oli, maupun komponen mesin lainnya. Pengecekan diffuser untuk memastikan gelembung udara telah merata, pengecekan DO dan pH secara rutin, serta pengecekan penyumbatan pada media.

d. Biaya Pembangunan dan Pemeliharaan

Biaya pembangunan dan pemeliharaan dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah jumlah kebutuhan media, jumlah & daya blower yang dibutuhkan, serta jumlah diffuser yang direncanakan. Dari segi pembangunan reaktor, unit BAF tidak memerlukan biaya yang besar karena ukuran yang dibutuhkan seringkali relatif tidak terlalu besar.

e. Aspek Estetika

Efluen yang dihasilkan dari unit BAF tidak akan menimbulkan bau apabila tidak terjadi suatu permasalahan pada unit tersebut. Gas H_2S yang dihasilkan selama proses anaerobik di unit ABR akan teroksidasi menjadi SO_4 oleh oksigen pada unit BAF.

B. Unit *Constructed Wetland*

a. Preliminary Desain

Pada preliminary desain unit CW, perencanaan mengacu kepada waktu detensi. Diasumsikan bahwa air limbah yang dihasilkan hanya selama operasional SWK yakni 15 jam per hari. Berikut adalah perhitungan preliminary desain untuk unit CW.

Direncanakan:

$$\begin{aligned}\text{Debit} &= 20,66 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 1,38 \text{ m}^3/\text{jam}\end{aligned}$$

$$\text{Kedalaman} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Waktu detensi} = 48 \text{ jam}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= Q \times t_d \\ &= 1,38 \text{ m}^3/\text{jam} \times 48 \text{ jam} \\ &= 66,112 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas area} &= V / H \\ &= 66,112 \text{ m}^3 / 1 \text{ m} \\ &= 66,112 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, diketahui bahwa kebutuhan lahan untuk unit CW sangat luas.

b. Kebutuhan Energi

Unit *Constructed Wetland* dapat beroperasi tanpa menggunakan energi. Hal ini karena prinsip pengolahan pada unit CW tidak membutuhkan penambahan suplai oksigen.

c. Operasional dan Pemeliharaan

Beberapa hal yang perlu diperhatikan selama operasional dan perawatan unit CW diantaranya yakni penggantian tanaman yang mati, memotong tanaman yang sudah tua, serta pencucian media gravel.

d. Biaya Pembangunan dan Pemeliharaan

Biaya pembangunan dan pemeliharaan unit CW dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah kedalaman media kerikil & gravel yang nantinya akan menentukan volume media dalam CW, kerapatan penanaman tumbuhan yang nantinya akan mempengaruhi jumlah tanaman yang dibutuhkan, kemudian jenis tumbuhan, tiap tumbuhan mempunyai harga yang berbeda-beda oleh karena itu pemilihan jenis tumbuhan yang akan digunakan cukup mempengaruhi biaya yang perlu dikeluarkan untuk membangun unit CW.

e. Aspek Estetika

Dikarenakan unit CW tidak membutuhkan suplai oksigen, gas H_2S yang dihasilkan dari pengolahan pada unit ABR tidak dapat teroksidasi dengan maksimal sehingga memunculkan potensi bau yang tidak sedap disekitar area operasional unit CW. Perawatan yang tidak tepat juga berpotensi menyebabkan timbulnya serangga yang tidak diinginkan disekitar area CW.

Perbandingan kedua alternatif tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.16 berikut.

Tabel 4. 16 Perbandingan Alternatif Pengolahan

Faktor Pembanding	Alternatif 1 (ABR+BAF)	Alternatif 2 (ABR+CW)
Efektivitas Pengolahan	Memenuhi baku mutu	Memenuhi baku mutu
Kebutuhan Lahan	Kecil	Besar
Kebutuhan Energi	Kecil	Tidak ada
Operasional & Pemeliharaan	Cukup sulit	Tidak sulit
Biaya Pembangunan & Pemeliharaan	Cukup besar	Besar
Aspek Estetika	Tidak berbau	Berbau

Setelah diketahui perbandingan antar kedua alternatif tersebut kemudian dengan pertimbangan lokasi perencanaan, maka alternatif pengolahan 1 dipilih sebagai unit pengolahan IPAL yang akan dibangun di SWK Bratang Binangun. Beberapa pertimbangan yang diperhatikan adalah luas area yang terbatas di sekitar SWK Bratang Binangun, kemudian aspek estetika unit pengolahan. Dikarenakan SWK merupakan lokasi kuliner sehingga bau yang ditimbulkan akan sangat berpengaruh terhadap kegiatan sehari-hari SWK itu sendiri.

4.4 Perhitungan Unit Pengolahan

4.4.1 Unit Grease Trap

Grease Trap merupakan unit pengolahan pertama untuk mengolah air limbah non toilet. Grease Trap sendiri berfungsi untuk memisahkan kandungan minyak dan lemak dalam air limbah. Penyisihan berlangsung dalam 2 tahap kompartemen. Jumlah Grease Trap yang direncanakan dalam IPAL di SWK Bratang Binangun sebanyak 1 unit dengan 2 kompartemen. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan untuk merencanakan unit Grease Trap.

Direncanakan :

Debit	= 41,794 m ³ /d
	= 2,79 m ³ /h
	= 0,0464m ³ /mnt
Minyak dan Lemak	= 50 mg/L
Massa jenis lemak	= 900 kg/m ³
Waktu detensi	= 20 menit
Kedalaman	= 1,5 m
Kompartemen	= 2 buah (OSDC, 2010)
Panjang / Lebar	= 2 : 1

Setelah diketahui kriteria desain yang akan digunakan, langkah pertama adalah dengan menghitung dimensi unit dan dimensi tiap kompartemen.

$$\begin{aligned} \text{Volume}(V) &= Q \times t_d \\ &= 0,93 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Luas Permukaan Unit (As)} &= \text{Volume} / \text{Kedalaman} \\
&= 0,62 \text{ m}^2 \\
\text{Lebar (w)} &= (\text{As} / 2)^{1/2} \\
&= 0,60 \text{ m} \\
\text{Panjang (l)} &= 1,2 \text{ m} \\
\text{Volume Akhir Unit (Vol.)} &= 1,08 \text{ m}^3 \\
\text{Cek td} &= \text{Vol} / \text{Q} \\
&= 22,978 \text{ menit} \\
\text{Panjang Komp. 1} &= 0,8 \text{ m} \\
\text{Panjang Komp. 2} &= 0,4 \text{ m} \\
\text{Freeboard} &= 0,5 \text{ m} \\
\text{Kedalaman Inlet} &= 1,25 \text{ m} \\
\text{Kedalaman total} &= \text{Kedalaman Inlet} + \text{Kedalaman efektif} \\
&= 1,25 \text{ m} + 1,5 \text{ m} \\
&= 2,75 \text{ m}
\end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan dimensi pipa penghubung antar kompartemen dan pipa outlet menuju ke pengolahan selanjutnya. Pipa tersebut direncanakan akan menggunakan pipa PVC tipe D.

$$\begin{aligned}
\text{Diameter} &= 50 \text{ mm} \\
\text{Jumlah tiap kompartemen} &= 3 \text{ buah} \\
\text{Debit tiap pipa (Q)} &= 41,794 \text{ m}^3/\text{d} \\
&= 0,000484 \text{ m}^3/\text{s} \\
\text{Luas penampang (Ac)} &= 0,002 \text{ m}^2 \\
\text{Kecepatan aliran tiap pipa (v)} &= 0,2419 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

Hasil kedua perhitungan diatas dapat dilihat pada Tabel 4.17 rekapitulasi desain yang memuat seluruh hasil perhitungan perencanaan pada unit Grease Trap.

Tabel 4. 17 Rekapitulasi Desain Unit Grease Trap

No	Parameter Desain	Nilai	Satuan
1	Jumlah Unit	1	Unit
2	Lebar unit	0,60	m
3	Kedalaman efektif	1,50	m
4	Freeboard	0,50	m
5	Kedalaman inlet	1,20	m
6	Panjang komp. 1	0,80	m
7	Panjang komp. 2	0,40	m
8	Diameter pipa inlet	150,00	mm
9	Diameter pipa penghubung	50,00	mm
10	Diameter pipa outlet	50,00	mm

Kebutuhan aksesoris dan peralatan pendukung operasional unit Grease Trap dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4. 18 Kebutuhan Aksesoris & Peralatan Unit Grease Trap

No	Jenis Aksesoris	Jumlah	Satuan
1	Pipa PVC D 50mm	2	m
2	Pipa PVC D 150mm	2	m
3	Tee 50 mm	3	buah
4	Tee 150 mm	1	buah
5	Elbow 45 50 mm	2	buah
6	Tutup Manhole Stainless Steel	2	buah

Langkah terakhir adalah menentukan Efisiensi Pengolahan pada unit Grease Trap.

$$\begin{aligned}
 \text{O\&G removed} &= 95\% \times \text{Influent O\&G} \\
 &= 95\% \times 50 \text{ mg/L} \\
 &= 47,5 \text{ mg/L} \\
 \text{O\&G di efluen} &= \text{Influen O\&G} - \text{O\&G removed} \\
 &= 50 \text{ mg/L} - 47,5 \text{ mg/L} \\
 &= 2,5 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa O\&G removed} &= \text{Debit} \times \text{O\&G Removed} \\
 &= 41,79 \text{ m}^3/\text{d} \times 47,5 \text{ mg/L} \\
 &= 1,985 \text{ kg/d} \\
 \text{Volume O\&G removed} &= \text{Massa minyak} / \text{Massa jenis minyak} \\
 &= 1,985 \text{ kg/d} / 900 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 0,0022 \text{ m}^3/\text{d} \\
 \text{Debit Effluen (Q)} &= \text{Debit in.} - \text{Volume O\&G} \\
 &= 41,794 \text{ m}^3/\text{d} - 0,0022 \text{ m}^3/\text{d} \\
 &= 41,792 \text{ m}^3/\text{d}
 \end{aligned}$$

Efisiensi Pengolahan pada unit pengolahan Grease Trap dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4. 19 Efisiensi Pengolahan Unit Grease Trap

Parameter	Satuan	Influen (mg/L)	Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal	Terdegradasi (mg/L)
BOD5	mg/L O ₂	290	290	0%	0
COD	mg/L O ₂	543	543	0%	0
TSS	mg/L	414	414	0%	0
Minyak dan Lemak	mg/L	50	2,5	95%	47,5
Ammonia	mg/L NH ₃ -N	53,06	53,06	0%	0

4.4.2 Unit Bak Pengumpul

Air limbah greywater yang telah terpisah dari kandungan minyak dan lemaknya kemudian dialirkan menuju unit Bak Pengumpul. Unit Bak Pengumpul akan menerima air limbah yang berasal dari 2 sumber, yakni air limbah greywater yang merupakan gabungan antara air limbah buangan tiap stand dan air sisa wudhu dan air limbah dari buangan toilet yang merupakan campuran antara air limbah flush kloset, air limbah urinoir, serta floor drain toiler.

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan untuk merencanakan unit Bak Pengumpul di SWK Bratang Binangun.

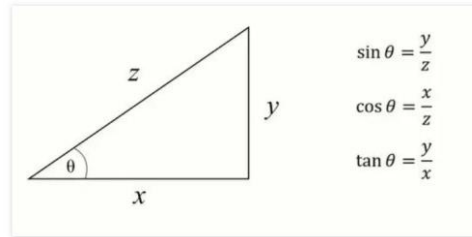
$$\begin{aligned}
 \text{Debit (Q)} &= 41,794 \text{ m}^3/\text{d} \\
 &= 2,79 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &= 0,0464 \text{ m}^3/\text{menit} \\
 \text{Waktu detensi (td)} &= 5 \text{ menit} \\
 &= 300 \text{ detik} \\
 \text{Lebar bak (L)} &= 0,80 \text{ m} \\
 \text{Kedalaman air (h)} &= 0,8 \text{ m} \\
 \text{Freeboard} &= 0,87 \text{ m} \\
 \text{Ruang udara} &= 0,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Langkah perencanaan pertama adalah dengan menghitung dimensi unit Bak Pengumpul berdasarkan kriteria desain waktu detensi yakni kurang dari 10 menit. Pada perencanaan ini, digunakan waktu detensi 5 menit sebagai dasar perhitungan.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume (V)} &= Q \times \text{td} \\
 &= 0,0464 \text{ m}^3/\text{menit} \times 5 \text{ menit} \\
 &= 0,23219 \text{ m}^3 \\
 \text{Panjang bak (P)} &= V / (L \times h) \\
 &= 0,23219 \text{ m}^3 / (2 \text{ m} \times 1 \text{ m}) \\
 &= 0,362797 \text{ m} \\
 &= 0,4 \text{ m} \\
 \text{Cek td} &= (P \times L \times h) / Q \\
 &= (0,4 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}) / 0,0464 \text{ m}^3/\text{menit} \\
 &= 5,51272 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan dan penyesuaian, ditemukan bahwa unit Bak Pengumpul yang direncanakan akan memiliki waktu detensi 5,5 menit sehingga memenuhi kriteria desain. Kemudian dilakukan perencanaan screen untuk mengantisipasi adanya sampah yang terbawa oleh air limbah agar tidak terhisap ke dalam pompa.

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar screen (Ls)} &= 0,4 \text{ m} \\
 \text{Lebar bar(w)} &= 0,008 \text{ m} \\
 \text{Lebar bukaan (b)} &= 0,05 \text{ m} \\
 \text{Jumlah bar} &= (Ls / (w+b)) \\
 &= 7 \text{ buah}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 3 Trigonometri Segitiga
Sumber: yuksinau.id

Kemiringan bar	=	75°
Tan 75	=	3 ^(1/2)
	=	3,732
jika tinggi screen (y)	=	1 m
Panjang screen (x)	=	y / tan 75°
	=	1 m / 3,732
	=	0,26795 m
	=	0,3 m
Panjang bar (z)	=	((y ²) + (x ²)) ^{1/2}
	=	((1 ²) + (0,6 ²)) ^{1/2}
	=	1,05 m

Screen yang direncanakan menggunakan bar berbenthi persegi dengan jumlah bar sebanyak 7 buah dengan panjang bar 1,05 m. Lebar screen direncanakan setara dengan panjang unit bak pengumpul yakni 0,4 m. Langkah perencanaan selanjutnya adalah dengan menghitung pompa guna mengatur debit air limbah yang akan diolah.

Debit rata-rata	=	20,66 m ³ /d
Jumlah unit	=	1 buah
Debit discharge	=	Debit rata-rata
	=	20,66 m ³ /d
	=	0,383 L/s
Safety head	=	1 m
Head statis	=	0,6 m
Head pompa	=	Safety head + Head statis
	=	1,6 m

Pipa discharge

Kecepatan aliran (v)	=	1 m/s
Luas penampang basah (A)	=	Q/v
	=	0,00038 m ²
Diameter pipa (D)	=	((4 x A) / 3,14) ^{1/2}
	=	0,022 m
	=	22,07 mm
Diameter pipa pasaran (D)	=	38 mm
Cek luas penampang (A)	=	1/4 x 3,14 x D ²
	=	0,0011 m ²
Cek kecepatan aliran (v)	=	Q / A
	=	0,34 m/s

Setelah dilakukan perhitungan diatas, ditentukan pompa yang digunakan adalah pompa tipe submersible Grundfos KPC 300A dengan spesifikasi sebagai berikut:

Spesifikasi pompa adalah berikut.

<i>Power</i>	= 0,35 kW
<i>Max flow</i>	= 3,61 l/s
<i>Head max</i>	= 6,5 m
Tegangan	= 1 x 220-240 V
Arus	= 1,5 A

Rekapitulasi desain unit Bak Pengumpul dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4. 20 Rekapitulasi Desain Unit Bak Pengumpul

No	Parameter Desain	Nilai	Satuan
1	Jumlah Unit	1	Unit
2	Panjang unit	0,4	m
3	Lebar unit	0,80	m
4	Kedalaman efektif	0,80	m
5	Freeboard	0,87	m
6	Ruang udara	0,20	m
7	Kedalaman total	1,87	m
8	Lebar screen	0,40	m
9	Panjang screen	0,30	m
10	Ketinggian screen	1,00	m
11	Panjang bar	1,05	m
12	Jumlah bar	7	buah

Kebutuhan aksesoris dan peralatan pendukung operasional unit Bak Pengumpul dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4. 21 Kebutuhan Aksesoris & Peralatan Unit Bak Pengumpul

No	Jenis Aksesoris	Jumlah	Satuan
1	Pipa PVC Type AW 1 1/2" (38 mm)	2	m
2	Tee 38 mm	2	buah
3	Tee 50 mm	2	buah
4	Tee 200 mm	1	buah
5	Elbow 45 50 mm	2	buah
6	Tutup Manhole Stainless Steel	1	buah
7	Pompa Grundfos KPC 300A	1	unit
8	Tangga Monyet	4	buah
9	Batang besi tebal 8mm	30	buah

Efisiensi Pengolahan pada unit Bak Pengumpul dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4. 22 Efisiensi Pengolahan Unit Bak Pengumpul

Parameter	Satuan	Influen (mg/L)	Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal	Terdegradasi (mg/L)
BOD5	mg/L O ₂	290	290	0%	0
COD	mg/L O ₂	543	543	0%	0
TSS	mg/L	414	414	0%	0
Minyak dan Lemak	mg/L	2,5	2,5	0%	0
Ammonia	mg/L NH ₃ -N	53,06	53,06	0%	0

4.4.3 Unit *Anaerobic Baffled Reactor*

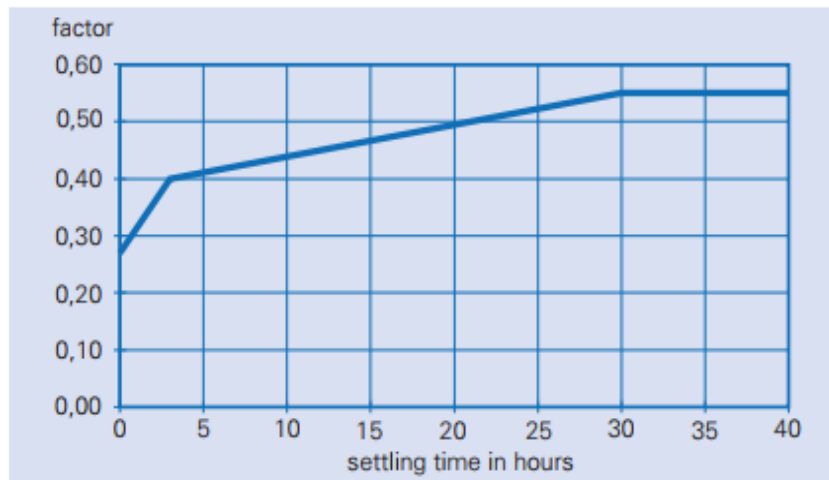
Unit ABR terbagi dalam 2 bangunan berbeda, yakni bagian settler yang merupakan bak penerima air limbah dari pengolahan sebelumnya, serta bagian kompartemen. Bagian settler berfungsi untuk mengendapkan padatan-padatan yang terkandung dalam air limbah, kemudian pada bagian kompartemen akan terjadi pengolahan air limbah secara anaerobik. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan untuk merencanakan unit ABR di SWK Bratang Binangun.

Debit maksimum	=	41,794 m ³ /d
Operasional SWK	=	15 h/d
	=	2,786 m ³ /h
Debit rata-rata	=	20,66 m ³ /d
	=	1,38 m ³ /h
COD _{in}	=	543 mg/L
BOD _{in}	=	290 mg/L
TSS _{in}	=	414 mg/L
COD/BOD ratio	=	1,8724
Ratio SS/COD	=	0,45
HRT pengendapan	=	1,5 h
Upflow velocity	=	1,5 m/h
Pengurasan lumpur	=	12 bulan
OLR	=	< 7 kg BOD/m ³ .d
Suhu operasional	=	28 C
Jumlah kompartemen	=	4 buah

Proses pertama adalah dengan memperhitungkan removal rate untuk tiap polutan yang akan terdegradasi pada unit ABR berdasarkan kriteria desain diatas. Perhitungan removal rate dilakukan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Gutterer *et al.* (2009), yang tertuang dalam bukunya, hal ini karena penelitian yang dilakukan berfokus kepada pengolahan air limbah dengan sistem desentralisasi di beberapa negara berkembang termasuk di Indonesia. Berikut adalah perhitungan removal rate pada bagian settler dari unit ABR:

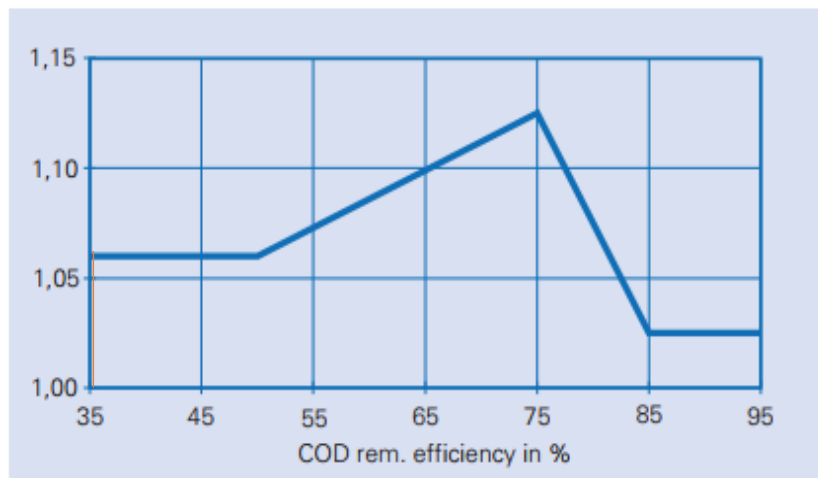
$$\begin{aligned}
 \text{COD removal settler} &= \text{rasio SS/COD} / 0,6 \times (\text{HRT}-1) \times 0,1 / 2 + 0,3 \\
 &= 0,45/0,6 \times (1,5 \text{ jam} - 1) \times 0,1 / 2 + 0,3 \\
 &= 31,88\%
 \end{aligned}$$

Persamaan yang digunakan untuk menghitung removal rate pada COD berasal dari grafik berikut.



Gambar 4. 4 Kurva Removal COD
Sumber: Gutterer *et al.*, 2009

Dari removal COD tersebut, dapat ditentukan rasio removal BOD/COD melalui grafik berikut.



Gambar 4. 5 Kurva Rasio Removal BOD/COD
Sumber: Gutterer *et al.*, 2009

Dari garis kurva tersebut, dapat disimpulkan bahwa untuk removal rate 35% kebawah, rasio removal BOD/COD adalah sebesar 1,06. Sehingga removal rate BOD pada bagian tanki dapat dihitung seperti berikut

$$\begin{aligned}
 \text{BOD/COD removal ratio} &= 1,06 \\
 \text{BOD removal settler} &= \text{COD removal} \times \text{BOD/COD rem. Ratio} \\
 &= 31,88 \% \times 1,06 \\
 &= 33,8\%
 \end{aligned}$$

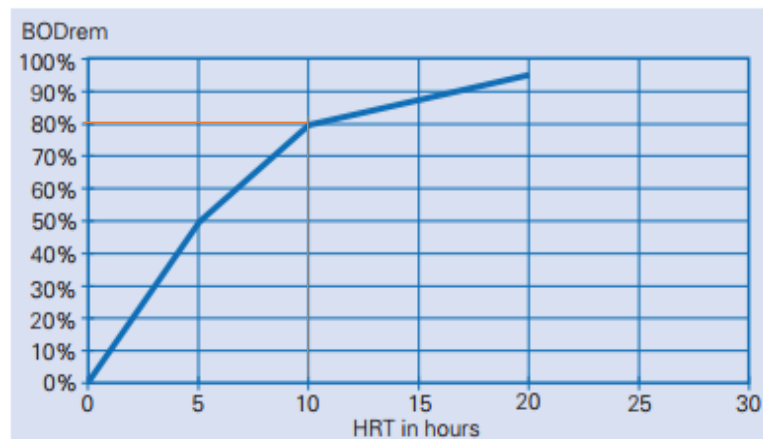
Kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui berapa konsentrasi polutan yang akan masuk dan diolah pada bagian kompartemen dari unit ABR seperti berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{BOD}_{\text{in}} \text{ reaktor baffle} &= \text{BOD}_{\text{in}} \times (1 - \text{BOD rem. Settler}) \\
 &= 290 \text{ mg/L} \times (1 - 33,7\%) \\
 &= 192,01625 \text{ mg/L} \\
 \text{COD}_{\text{in}} \text{ reaktor baffle} &= \text{COD}_{\text{in}} \times (1 - \text{COD rem. Settler}) \\
 &= 543 \times (1 - 31,75\%) \\
 &= 369,91875 \text{ mg/L} \\
 \text{TSS}_{\text{in}} \text{ reaktor baffle} &= \text{SS/COD ratio} \times \text{COD}_{\text{in}} \\
 &= 0,45 \times 543 \text{ mg/L} \\
 &= 166,46344 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

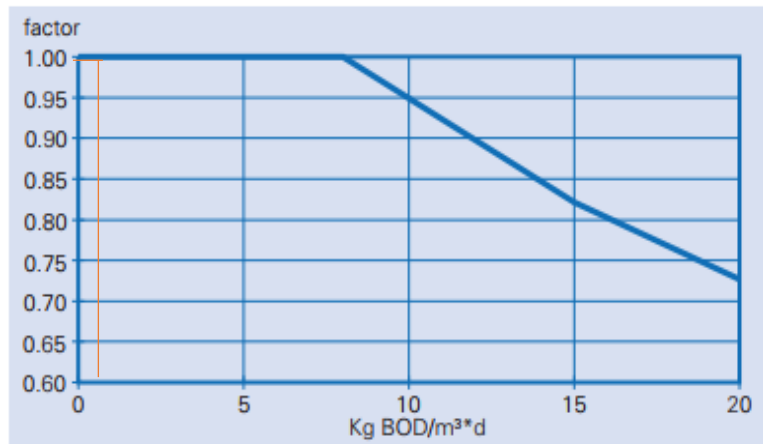
Konsentrasi TSS yang masuk ke dalam bagian kompartemen dihitung melalui asumsi SS yang terbawa berdasarkan konsentrasi COD. Selanjutnya dapat dihitung removal rate TSS pada bagian settler seperti berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{TSS removal settler} &= (\text{TSS}_{\text{in}} - \text{TSS}_{\text{inb}}) / \text{TSS}_{\text{in}} \\
 &= (414 \text{ mg/L} - 166,46 \text{ mg/L}) / 414 \text{ mg/L} \\
 &= 60\%
 \end{aligned}$$

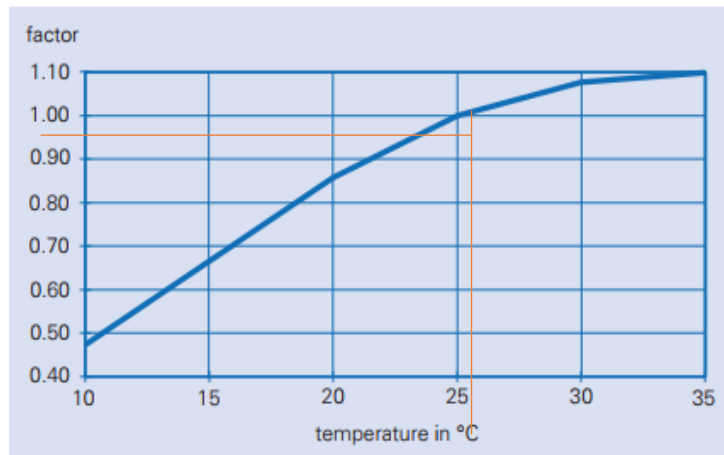
Kemudian dilakukan perhitungan untuk menghitung removal rate pada bagian baffle berdasarkan beberapa faktor yakni, faktor temperatur, faktor beban polutan, faktor kadar polutan, serta faktor HRT. Asumsi suhu pengolahan 25°C serta HRT selama 10 jam, maka berdasarkan kurva faktor yang digunakan adalah berikut.



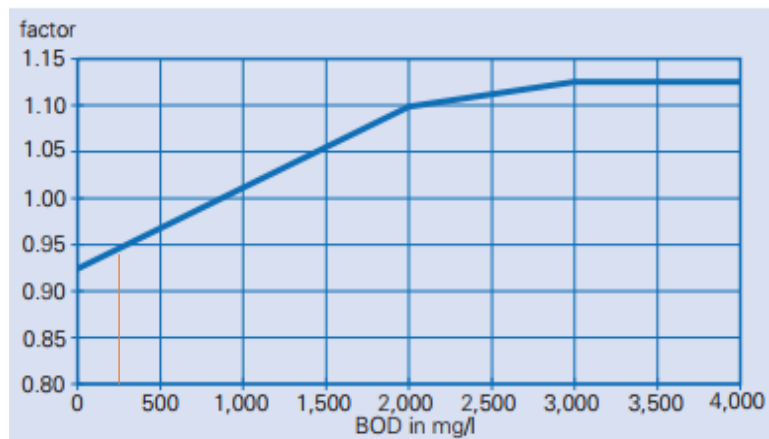
Gambar 4. 6 BOD Removal Faktor HRT
 Sumber: Gutterer *et al.*, 2009



Gambar 4. 7 BOD Removal Faktor Beban Polutan
 Sumber: Gutterer *et al.*, 2009



Gambar 4. 8 BOD Removal Faktor Temperatur
 Sumber: Gutterer *et al.*, 2009



Gambar 4. 9 BOD Removal Faktor Kadar Polutan
 Sumber: Gutterer *et al.*, 2009

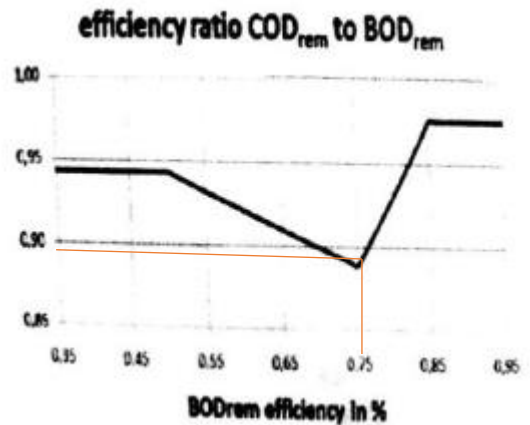
Berdasarkan keempat kurva tersebut, diketahui bahwa nilai faktor yang mempengaruhi removal BOD pada perencanaan ini adalah

$$\begin{aligned} f\text{-OLR} &= 1 \\ f\text{-strength} &= 0,97 \\ f\text{-temp} &= 1 \\ f\text{-HRT} &= 80\% \end{aligned}$$

Sehingga perhitungan theoretical removal rate pada bagian kompartemen ABR adalah berikut.

$$\begin{aligned} \text{BOD Baffle rem. Rate} &= f\text{-OLR} \times f\text{-strength} \times f\text{-temp} \times f\text{-HRT} \times (n \text{ kompartemen} \times 0,04 + 0,82) \\ &= 1 \times 0,97 \times 1 \times 80\% \times (3 \times 0,04 + 0,82) \\ &= 76\% \end{aligned}$$

Kemudian berdasarkan kurva COD/BOD rem. Ratio, dapat dihitung removal COD pada bagian Baffle.



Gambar 4. 10 Kurva Rasio Removal COD/BOD
Sumber: Gutterer *et al.*, 2009

$$\begin{aligned} \text{COD Baffle rem. Rate} &= \text{BOD Baffle rem. Rate} \times \text{COD/BOD rem. Ratio} \\ &= 76\% \times 0,89 \\ &= 68\% \end{aligned}$$

Sehingga dapat dihitung total removal untuk tiap polutan pada unit ABR seperti berikut.

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{out}} &= \text{COD}_{\text{inb}} \times (1 - \text{COD rem. Baffle}) \\ &= 369,9 \text{ mg/L} \times (1 - 68\%) \\ &= 119,55 \text{ mg/L} \\ \text{BOD}_{\text{out}} &= \text{BOD}_{\text{inb}} \times (1 - \text{BOD rem. Baffle}) \\ &= 192 \text{ mg/L} \times (1 - 76\%) \\ &= 45,99 \text{ mg/L} \\ \text{TSS}_{\text{out}} &= \text{SS/COD ratio} \times \text{COD}_{\text{out}} \\ &= 0,45 \times 119,55 \text{ mg/L} \\ &= 53,80 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

TSS Baffle rem. Rate	=	$(TSS_{inb} - TSS_{out}) / TSS_{inb}$
	=	$(166,46 \text{ mg/L} - 53,8 \text{ mg/L}) / 166,46 \text{ mg/L}$
	=	68%
Total COD rem. Rate	=	$(COD_{in} - COD_{out}) / COD_{in}$
	=	$(543 \text{ mg/L} - 119,5 \text{ mg/L}) / 543 \text{ mg/L}$
	=	78%
Total BOD5 rem. Rate	=	$(BOD_{in} - BOD_{out}) / BOD_{in}$
	=	$(290 \text{ mg/L} - 45,99 \text{ mg/L}) / 290 \text{ mg/L}$
	=	84%
Total TSS rem. Rate	=	$(TSS_{in} - TSS_{out}) / TSS_{in}$
	=	$(414 \text{ mg/L} - 53,8 \text{ mg/L}) / 414 \text{ mg/L}$
	=	87%

Tahap selanjutnya adalah menghitung dimensi settler atau settler dan bagian kompartemen.

Direncanakan

Dimensi Settler

Lebar Settler	=	2,00 m
Kedalaman pengendapan	=	2,50 m
Freeboard	=	0,10 m
Freezone	=	0,20 m
Total kedalaman settler	=	2,80 m
Tebal Baffle	=	0,10 m
Kedalaman Baffle	=	1,50 m
Upflow velocity	=	1,50 m/h
Suhu	=	28 C
Massa jenis air	=	996,26 kg/m ³
Massa jenis lumpur	=	1024 kg/m ³
konstanta kohesi (k)	=	0,05
Spesifik grafitasi padatan	=	1,25
Diameter partikel padatan	=	100 um
Faktor Darcy-Weisbach (f)	=	0,025
Percepatan gravitasi	=	9,81 m/s ²
Viskositas dinamis air (u)	=	0,8394 x 10 ⁻⁶

Berikut adalah langkah-langkah untuk menghitung dimensi settler beserta produksi lumpurnya.

Laju akumulasi lumpur	=	0,005 x (1 - (interval pengurasan x 0,014))
	=	0,005 x (1 - (12 bulan x 0,014))
	=	0,00416 L/g BOD
	=	0,00416 m ³ /kg BOD
BOD settler tersisihkan	=	BOD _{in} - BOD _{inb}

$$\begin{aligned}
&= 290 \text{ mg/L} - 192,016 \text{ mg/L} \\
&= 97,984 \text{ mg/L} \\
\text{Produksi lumpur settler} &= \text{Laju akumulasi lumpur} \times \text{BOD settler tersisihkan} \times \text{Debit} / 1000 \\
&= 0,00416 \text{ L/g BOD} \times 97,984 \text{ mg/L} \times 41,794 \text{ m}^3/\text{d} / 1000 \\
&= 0,01704 \text{ m}^3/\text{d} \\
\text{Volume lumpur settler} &= \text{Produksi lumpur settler} \times \text{interval pengurasan} \\
&= 0,01704 \text{ m}^3/\text{d} \times 12 \text{ bulan} \times 30 \text{ hari} \\
&= 6,133 \text{ m}^3 \\
\text{Volume air settler} &= \text{HRT settler} \times \text{Debit} \\
&= 1,5 \text{ jam} \times 2,79 \text{ m}^3/\text{jam} \\
&= 4,18 \text{ m}^3 \\
\text{Panjang settler} &= (\text{Volume lumpur settler} + \text{Volume air settler}) / (\text{Lebar settler} \times \\
&\quad \text{Kedalaman pengendapan}) \\
&= (6,133 \text{ m}^3 + 4,18 \text{ m}^3) / (2 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}) \\
&= 2,06 \text{ m} \\
&= 3 \text{ m} \\
\text{Cek luas area} &= \text{lebar} \times \text{panjang} \\
&= 2 \text{ m} \times 3 \text{ m} \\
&= 6,00 \text{ m}^2 \\
\text{Cek volume bak} &= \text{Luas area} \times \text{Kedalaman pengendapan} \\
&= 6 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ m} \\
&= 15 \text{ m}^3 \\
\text{Cek waktu detensi} &= V / Q \\
&= 15 \text{ m}^3 / 2,79 \text{ m}^3/\text{h} \\
&= 5,3 \text{ jam} \\
\text{Cek kedalaman lumpur} &= \text{Volume lumpur settler} / \text{Luas area} \\
&= 6,133 \text{ m}^3 / 6 \text{ m}^2 \\
&= 1,02 \text{ m} \\
&= 1,1 \text{ m} \\
\text{Cek kecepatan aliran (vh)} &= \text{Debit} / \text{Luas area} \\
&= 2,79 \text{ m}^3/\text{h} / 6 \text{ m}^2 \\
&= 0,464 \text{ m/h} \\
&= 0,00013 \text{ m/s} \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (L + H) / (L + 2H) \\
&= (2 \text{ m} + 2,5 \text{ m}) / (2 \text{ m} + 2 \times 2,5 \text{ m}) \\
&= 0,643 \text{ m} \\
\text{Cek Nre} &= (Vh \times R) / u \\
&= (0,00013 \text{ m/s} \times 0,643 \text{ m}) / 0,8394 \times 10^{-6} \\
&= 98,8 \\
\text{Kecepatan scour kritis} & \\
\text{(vc)} &= (8k \times (Sg-1) \times g \times d / f)^{1/2} \\
&= (8 \times 0,05 \times (1,25-1) \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times (100 \times 10^{-6} \text{ m}))^{1/2} \\
&= 0,063 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diketahui bahwa aliran dalam settler bersifat laminer sehingga tidak memerlukan penambahan baffle. Hal ini dibuktikan dengan pengecekan reynold number

yang menunjukkan angka dibawah 2000. Aliran horizontal pada settler juga tidak berpotensi menimbulkan resuspensi solid yang telah terendapkan. Hal ini diketahui dari hasil perhitungan yang menunjukkan kecepatan horizontal lebih kecil dari kecepatan scour kritis. Tahapan perencanaan selanjutnya adalah melakukan perhitungan desain bagian kompartemen pada unit ABR.

Direncanakan

Debit	=	20,66 m ³ /d
	=	1,38 m ³ /h
Lebar bak	=	1,50 m
Kedalaman air	=	2,20 m
Freeboard	=	0,30 m
Kedalaman total	=	2,50 m
Jumlah kompartemen	=	4 buah
OLR	=	1,5 kg COD/m ³ .hari
Upflow velocity	=	1 m/h
COD _{inb}	=	369,9188 mg/L
BOD _{inb}	=	192,0163 mg/L

Langkah pertama perencanaan bagian kompartemen adalah merencanakan dimensi sesuai dengan kriteria desain yang telah ditetapkan seperti berikut.

Luas area	=	Debit / v _{up}
	=	1,38 m ³ /h / 1 m/h
	=	1,38 m ²
Panjang kompartemen	=	Luas area / lebar kompartemen
	=	1,38 m ² / 1,5 m
	=	0,92 m
	=	1 m
Volume tiap kompartemen	=	Panjang x Lebar x Kedalaman air
	=	1 m x 1,5 m x 2,2 m
	=	3,3 m ³
Volume total kompartemen	=	Volume tiap kompartemen x jumlah kompartemen
	=	3,3 m ³ x 4
	=	13,2 m ³
Cek luas area	=	Panjang x Lebar
	=	1 m x 1,5 m
	=	1,5 m ²
Cek v _{up}	=	Debit / luas area
	=	1,38 m ³ /h / 1,5 m ²
	=	0,92 m/h
Cek OLR	=	Debit x COD _{in} / Volume
	=	(20,66 m ³ /d x 369,9 mg/L / 13,2 m ³) / 1000 g/kg
	=	0,579 kg COD/m ³ .hari
Cek HRT	=	Volume total kompartemen / Debit
	=	13,2 m ³ / 1,38 m ³ /h

$$\begin{aligned}
&= 9,6 \text{ h} \\
\text{Total HRT} &= \text{HRT settler} + \text{HRT kompartemen} \\
&= 5,3 \text{ h} + 9,6 \text{ h} \\
&= 14,9 \text{ h}
\end{aligned}$$

Perencanaan diatas telah memetui beberapa kriteria desain seperti, kecepatan aliran upflow dibawah 2 m/s, beban organik kurang dari 3 kg COD/m³.h, serta total waktu detensi pada unit ABR yang lebih dari 8 jam. Tahap selanjutnya adalah menghitung perkiraan produksi biogas yang dihasilkan dari seluruh bagian pada unit ABR.

Direncanakan

$$\begin{aligned}
\text{Debit} &= 20,66 \text{ m}^3/\text{d} \\
\text{COD}_{\text{in}} &= 543 \text{ mg/L} \\
\text{COD}_{\text{out}} &= 119,55 \text{ mg/L} \\
\text{CH}_4 &= 70\% \\
1 \text{ Kg COD} &= 0,35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \\
\text{Dissolved gas} &= 50\%
\end{aligned}$$

Dari kriteria tersebut, dapat dilakukan perhitungan perkiraan produksi biogas seperti berikut.

$$\begin{aligned}
\text{Biogas ABR} &= (\text{COD}_{\text{in}} - \text{COD}_{\text{out}}) \times Q \times 0,35 / 1000 / 0,7 \times 0,5 \\
&= (543 \text{ mg/L} - 119,55 \text{ mg/L}) \times 20,66 \text{ m}^3/\text{d} \times 0,35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / 1000 / 0,7 \times 0,5 \\
&= 4,424 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{d}
\end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan produksi lumpur total dari seluruh bagian di unit ABR seperti berikut.

$$\begin{aligned}
\text{Rasio MLVSS/MLSS} &= 0,85 \\
\text{Biodegradable VSS} &= 85\% \\
\text{Sg lumpur} &= 1,08 \\
\text{Densitas air} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\
\% \text{solid} &= 3\% \\
\text{Effective SRT} &= 25 \text{ d} \\
\text{Yield (Y)} &= 0,08 \text{ g VSS/g COD} \\
\text{Kd} &= 0,03 / \text{d} \\
\text{Perhitungan} & \\
\text{Y}_{\text{obs}} &= Y / (1 + \text{Kd} \times \text{SRT}) \\
&= 0,08 \text{ g VSS/g COD} / (1 + 0,03/\text{d} \times 25 \text{ d}) \\
&= 0,046 \text{ g VSS/g COD} \\
\text{P}_{\text{x, b}} &= \text{Y}_{\text{obs}} \times Q \times (\text{S}_0 - \text{S}) \\
&= 0,046 \text{ g VSS/g COD} \times 20,66 \text{ m}^3/\text{d} \times (543 - 119,55) \text{ g COD/m}^3 \times 10^{-3} \\
&= 0,40 \text{ kg VSS/d} \\
\text{VSS}_{\text{nb}} &= \text{TSS}_{\text{in}} \times (\text{VSS}/\text{TSS}) \times (1 - \text{Biodegradable VSS}) \\
&= 414 \text{ mg/L} \times 0,85 \times (1 - 85\%) \\
&= 52,785 \text{ g VSS/d} \\
\text{P}_{\text{x, nb}} &= Q \times \text{VSS}_{\text{nb}} \\
&= 20,66 \text{ m}^3/\text{d} \times 52,79 \text{ g VSS/m}^3 / 1000 \text{ g/kg} \\
&= 1,09 \text{ kg VSS/d}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_x, t &= P_{x, b} + P_{x, nb} \\
&= 0,390 \text{ kg VSS/d} + 1,09 \text{ kg VSS/d} \\
&= 1,49 \text{ kg VSS/d} \\
\text{Massa TSS diproduksi} &= P_x, t / \text{Rasio MLVSS/MLSS} \\
&= 1,49 \text{ kg VSS/d} / 0,85 \\
&= 1,754 \text{ kg TSS/d} \\
\text{Massa TSS efluen} &= Q \times \text{TSSe} \\
&= 20,66 \text{ m}^3/\text{d} \times 53,8 \text{ mg/L} \\
&= 1,11 \text{ kg TSS/d} \\
\text{Massa TSS akumulasi} &= M \text{ TSS produksi} - M \text{ TSS efluen} \\
&= 1,754 \text{ kg TSS/d} - 1,11 \text{ kg TSS/d} \\
&= 0,642 \text{ kg TSS/d} \\
\text{Produksi Lumpur} &= M \text{ TSS akumulasi} / \% \text{Solid} \\
&= 0,642 \text{ kg TSS/d} / 3\% \\
&= 21,4 \text{ kg/d} \\
\text{Debit lumpur (Q)} &= \text{Produksi lumpur} / (\text{Sg lumpur} \times \text{Densitas air}) \\
&= 21,4 \text{ kg/d} / (1,08 \times 1000 \text{ kg/m}^3) \\
&= 0,0198 \text{ m}^3/\text{d} \\
\text{Volume lumpur (V)} &= \text{Debit lumpur} \times \text{Periode pengurasan} \\
&= 0,0198 \text{ m}^3/\text{d} \times 12 \text{ bulan} \times 30 \text{ hari} \\
&= 7,134 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

Langkah terakhir adalah menentukan diameter pipa penghubung antar kompartemen beserta pipa outlet.

$$\begin{aligned}
\text{Diameter} &= 50 \text{ mm} \\
\text{Jumlah tiap kompartemen} &= 3 \text{ buah} \\
\text{Debit tiap pipa (Q)} &= 6,886667 \text{ m}^3/\text{d} \\
&= 7,97 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \\
\text{Luas penampang (Ac)} &= 0,002 \text{ m}^2 \\
\text{Kecepatan aliran tiap pipa (v)} &= 0,040 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4. 23 Rekapitulasi Desain Unit ABR

No	Parameter Desain	Nilai	Satuan
1	Lebar settler	2,00	m
2	Panjang settler	3,00	m
3	Kedalaman total settler	2,80	m
4	Jumlah kompartemen	4,00	unit
5	Panjang kompartemen	1,00	m
6	Lebar kompartemen	1,50	m
7	Kedalaman total kompartemen	2,50	m
8	Diameter pipa penghubung	50,00	mm
9	Diameter pipa outlet	50,00	mm

Kebutuhan aksesoris dan peralatan pendukung pada unit ABR dapat dilihat pada Tabel 4.24.

Tabel 4. 24 Kebutuhan Aksesoris & Peralatan Pendukung Unit ABR

No	Jenis Aksesoris	Jumlah	Satuan
1	Pipa PVC C 50 mm (2")	30	m
2	Tee 50 mm	17	buah
3	Tee 200 mm	1	buah
4	Elbow 45 50 mm	2	buah
5	Tangga monyet	26	buah
6	Tutup Manhole Stainless Steel	5	buah

Efisiensi Pengolahan pada unit ABR dapat dilihat dalam Tabel 4.25.

Tabel 4. 25 Efisiensi Pengolahan Unit ABR

Parameter	Satuan	Influen (mg/L)	Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal	Terdegradasi (mg/L)
BOD5	mg/L O ₂	290	45,99	84%	244,01
COD	mg/L O ₂	543	119,55	78%	423,45
TSS	mg/L	414	53,80	87%	360,20
Minyak dan Lemak	mg/L	2,5	2,50	0%	0,00
Ammonia	mg/L NH ₃ -N	53,06	53,06	0%	0,00

4.4.4 Unit *Biological Aerated Filter*

Pengolahan air limbah selanjutnya adalah pengolahan aerobik pada unit *Biological Aerated Filter* (BAF). Unit BAF pada IPAL digunakan untuk menyisihkan kadar polutan ammonia dalam air limbah. Unit BAF dilengkapi dengan media sebagai tempat melekatnya mikroorganisme, blower dan diffuser sebagai penyuplai oksigen untuk proses aerobik dalam reaktor. Pada perencanaan ini media yang akan digunakan dalam unit adalah media sarang tawon. Unit BAF terbagi dalam 2 kompartemen dimana kompartemen pertama ditujukan untuk mendegradasi BOD agar tidak mengganggu pertumbuhan bakteri nitrifikasi pada kompartemen kedua, selain itu kompartemen pertama juga ditujukan untuk mendegradasi H₂S yang mungkin terlarut dalam air limbah. H₂S bersifat toksik bagi bakteri nitrifikasi sehingga perlu dioksidasi atau dihilangkan terlebih dahulu. Kompartemen 2 ditujukan untuk mendegradasi polutan ammonia dalam air limbah.

Direncanakan

Operasional SWK	= 15 jam
Debit rata-rata	= 20,66 m ³ /d
	= 1,38 m ³ /h
BOD _{in}	= 45,99 mg/L
NH _{3in}	= 53,06 mg/L
TSS _{in}	= 53,80 mg/L
Kedalaman media	= 1,2 m

Kedalaman underdrain	=	0,55 m
Kedalaman supernatan	=	0,45 m
Freeboard	=	0,3 m
Kedalaman total	=	2,5 m
Lebar reaktor	=	1,5 m
Hydraulic application rate	=	4 m/h
BOD loading	=	3,5 kgBOD/m ³ .d
NH ₄ -N loading	=	1 kg NH ₃ -N/m ³ .d
Efisiensi transfer oksigen	=	3%
Volume media	=	80%
VSS/TSS ratio	=	0,8
Empty bed contact time	=	0,8 h

Langkah awal dalam perencanaan adalah merencanakan dimensi tiap kompartemen yang dibutuhkan.

DIMENSI REAKTOR 1

Volume media	=	Beban BOD / BOD loading
	=	Debit x Konsentrasi BOD influen
	=	$((20,66 \text{ m}^3/\text{d} \times 45,99 \text{ g/m}^3) / (1000 \text{ g/kg})) / (3,5 \text{ kgBOD/m}^3.\text{d})$
	=	0,2715 m ³
Luas area media berdasarkan organic loading	=	Volume reaktor 1 / kedalaman
	=	0,2715 m ³ / 1,2 m
	=	0,226 m ²
Luas area media berdasarkan HAR	=	Debit / hydraulic application rate
	=	1,38 m ³ /h / 4 m/h
	=	0,344 m ²
Luas media digunakan	=	0,344 m ²
Luas area reaktor	=	Luas media / 80%
	=	0,344 m ² / 80%
	=	0,430 m ²
	=	0,5 m ²
Lebar reaktor	=	1,5 m
Panjang reaktor	=	0,33 m
HRT berdasarkan EBV	=	Volume reaktor / Debit
	=	$(1,5 \text{ m} \times 0,33 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}) / 1,38 \text{ m}^3/\text{h}$
	=	0,44 h

Setelah dilakukan pengecekan terhadap waktu retensi, diketahui bahwa waktu retensi perencanaan kurang dari kriteria yang dibutuhkan yakni 0,5 h. Sehingga dilakukan perencanaan ulang berdasarkan waktu retensi kriteria desain.

Volume reaktor (V)	=	Q x EBCT
	=	1,38 m ³ /h x 0,8 h

$$\begin{aligned}
&= 1,1 \text{ m}^3 \\
\text{Luas area reaktor (As)} &= V / h \\
&= 1,1 \text{ m}^3 / 1,2 \text{ m} \\
&= 0,918 \text{ m}^2 \\
\text{Panjang reaktor (l)} &= As / w \\
&= 0,918 \text{ m}^2 / 1,5 \text{ m} \\
&= 0,612 \text{ m} \\
&= 0,7 \text{ m} \\
\text{Cek volume media} &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Kedalaman media} \\
&= 0,7 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} \\
&= 1,26 \text{ m}^3 \\
\text{Cek BOD loading} &= \text{Beban BOD} / V \\
&= ((20,66 \text{ m}^3/\text{d} \times 45,99 \text{ g}/\text{m}^3) / (1000 \text{ g}/\text{kg})) / (0,7 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}) \\
&= 0,754 \text{ kgBOD}/\text{m}^3.\text{d}
\end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan ulang, dimensi kompartemen telah sesuai dengan kriteria desain berupa waktu retensi lebih dari 0,5 h dan beban organik pengolahan kurang dari 3,5 kgBOD/m³.d. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan dimensi kompartemen 2.

$$\begin{aligned}
\text{Volume media} &= \text{Beban NH}_4\text{-N} / \text{NH}_4\text{-N loading} \\
&= \text{Debit} \times \text{Konsentrasi NH}_4\text{-N influen} \\
&= ((20,66 \text{ m}^3/\text{d} \times 53,06 \text{ mg}/\text{L}) / (1000 \text{ g}/\text{kg})) / (1 \text{ kgBOD}/\text{m}^3.\text{d}) \\
&= 1,1 \text{ m}^3 \\
\text{Luas area media berdasarkan N loading} &= \text{Volume media} / \text{kedalaman} \\
&= 1,1 \text{ m}^3 / 1,2 \text{ m} \\
&= 0,92 \text{ m}^2 \\
\text{Luas area media berdasarkan HAR} &= \text{Debit} / \text{hydraulic application rate} \\
&= 1,38 \text{ m}^3/\text{h} / 4 \text{ m}/\text{h} \\
&= 0,344 \text{ m}^2 \\
\text{Luas media digunakan} &= 0,92 \text{ m}^2 \\
\text{Luas area reaktor} &= \text{Luas media} / 80\% \\
&= 0,92 \text{ m}^2 / 80\% \\
&= 1,15 \text{ m}^2 \\
&= 1,2 \text{ m}^2 \\
\text{Lebar reaktor} &= 1,5 \text{ m} \\
\text{Panjang reaktor} &= 0,8 \text{ m} \\
\text{Cek volume media} &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Kedalaman media} \\
&= 0,8 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} \\
&= 1,44 \text{ m}^3 \\
\text{HRT berdasarkan EBV} &= \text{Volume media} / \text{Debit} \\
&= 1,44 \text{ m}^3 / 1,38 \text{ m}^3/\text{h} \\
&= 1,05 \text{ jam}
\end{aligned}$$

Perencanaan kompartemen 2 telah memenuhi kriteria desain diantaranya adalah waktu retensi yang tidak jauh lebih lama dari 1 jam dan beban pengolahan ammonia yang kurang dari 1

kgNH₃-N/m³.d. Tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan produksi lumpur yang dihasilkan dari unit BAF.

Produksi Lumpur
Removal BOD

Debit rata-rata = 20,66 m³/d
= 1,38 m³/h

BOD_{in} = 45,99 mg/L
BOD_{out} = 4,599 mg/L

Effective SRT BOD = 5 d
Y_{bod5} = 0,6 g VSS/g BOD
K_d, BOD5 = 0,06 /d

Perhitungan
Y_{obs} = $Y / (1 + K_d \times SRT)$
= 0,6 g VSS/ g BOD5 / (1 + 0,06/d x 5 d)
= 0,462 g VSS/g BOD

P_{xb} = Y_{obs} x Q x (S_o - S)
= 0,462 g VSS/g BOD5 x 20,66 m³/d x (45,99 - 4,599) gBOD5/m³ x 10⁻³
= 0,396 kg VSS/d

Kemudian dilanjut perhitungan produksi lumpur dari proses nitrifikasi ammonia.

Produksi Lumpur
Nitrifikasi

Debit rata-rata = 20,66 m³/d
= 1,38 m³/h

NH_{3in} = 53,06 mg/L
NH_{3out} = 5,306 mg/L

Effective SRT N = 8 d
Y_n = 0,2 g VSS/g NH₄-N
K_d, N = 0,05 /d

Perhitungan
Y_{obs} = $Y / (1 + K_d \times SRT)$
= 0,2 g VSS/g NH₄-N / (1 + 0,05/d x 8 d)
= 0,143 g VSS/g NH₄-N

P_{xn} = Y_{obs} x Q x (S_o - S)
= 0,143 g VSS/g NH₄-N x 20,66 m³/d x (53,06 - 5,306) g NH₄-N/m³ x 10⁻³
= 0,142 kg VSS/d

Setelah diketahui produksi lumpur dari proses degradasi bahan organik dan ammonia, dilanjutkan dengan perhitungan total produksi lumpur seperti berikut.

S_g lumpur = 1,08
%Solid = 4%
Densitas air = 1000 kg/m³
P_{xbio} = P_{xb} + P_{xn}
= 0,396 kg VSS/d + 0,142 kg VSS/d

	=	0,538 kg VSS/d
Rasio MLVSS/MLSS	=	0,85
Massa TSS diproduksi	=	0,633 kg TSS/d
Massa TSS efluen	=	0,111 kg TSS/d
Massa TSS akumulasi	=	0,522 kg TSS/d
Produksi lumpur	=	13,045 kg/d
Debit lumpur	=	0,012 m ³ /d
Periode pengurasan	=	3 bulan
Volume pengurasan	=	1,087 m ³

Perencanaan kemudian dilanjutkan dengan perhitungan kebutuhan suplai oksigen guna mendukung proses aerobik dalam reaktor.

Kebutuhan Oksigen Removal

BOD

$$\begin{aligned}
 \text{Ro, BOD} &= Q \times (S_o - S) - 1,42 \times P_{xb} \\
 &= 20,66 \text{ m}^3/\text{d} \times (45,99 - 4,599) \text{ g/m}^3 - 1,42 \times 0,396 \text{ kg VSS/d} \\
 &= 292,85 \text{ g O}_2/\text{d} \\
 &= 0,293 \text{ kg O}_2/\text{d}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan Oksigen Nitrifikasi

Nox

$$\begin{aligned}
 &= N_o - N_e - 0,12 \times P_{xn} / Q \\
 &= 53,06 - 5,306 - 0,12 \times 0,142 \text{ kg VSS/d} / 20,66 \text{ m}^3/\text{d} \\
 &= 47,75 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Ro, Ntf

$$\begin{aligned}
 &= 4,57 \times Q \times \text{Nox} \\
 &= 4,57 \times 20,66 \text{ m}^3/\text{d} \times 47,75 \text{ g/m}^3 \\
 &= 4508,7 \text{ g O}_2/\text{d} \\
 &= 4,509 \text{ kg O}_2/\text{d}
 \end{aligned}$$

Total kebutuhan oksigen

Ro

$$\begin{aligned}
 &= \text{Ro, BOD} + \text{Ro, Ntf} \\
 &= 0,293 \text{ kg O}_2/\text{d} + 4,509 \text{ kg O}_2/\text{d} \\
 &= 4,802 \text{ kg O}_2/\text{d}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan Blower

%O₂

$$= 20\%$$

SOTE

$$= 2,5\%$$

Total kebutuhan udara

$$\begin{aligned}
 &= \text{Ro} / \% \text{O}_2 / \text{SOTE} \\
 &= 4,802 \text{ kg O}_2/\text{d} / 20\% / 5\% \\
 &= 960,4 \text{ kg/d}
 \end{aligned}$$

Operasional Blower

$$= 24 \text{ jam}$$

Massa jenis udara

$$= 1,2 \text{ kg/m}^3$$

Debit udara

$$\begin{aligned}
 &= \text{Total kebutuhan udara} / \text{Massa jenis udara} / \text{waktu operasional} \\
 &= 960,4 \text{ kg/d} / 1,2 \text{ kg/m}^3 / 24 \text{ h/d} \\
 &= 33,35 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &= 0,56 \text{ m}^3/\text{menit}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dipilih blower tipe Ring Blower Takafan 250 watt. Spesifikasi blower tersebut adalah:

Kecepatan	= 2900 RPM
Flow udara	= 45 m ³ /h
Power	= 250 watt
Standart Pressure	= 8200 Pa
Tegangan	= 220 V



Gambar 4. 11 Ring Blower Takafan 250 W

Selanjutnya dilakukan perhitungan guna menentukan jumlah diffuser yang dibutuhkan.

Debit udara per diffuser	= 150 L/s
	= 9 m ³ /h
Debit udara dibutuhkan	= 33,35 m ³ /h
Jumlah diffuser	= Debit udara dibutuhkan / Debit udara diffuser
	= 33,35 m ³ /jam / 9 m ³ /jam
	= 3,614657 buah
	= 4 buah

Tipe diffuser yang dipilih adalah jenis Coarse Bubble Diffuser dengan nama produk Pearlcomb D-1310. Diffuser tersebut mampu mengalirkan udara dengan debit 150-400 L/min.



Gambar 4. 12 Coarse Air Bubble Diffuser Pearlcomb
Sumber: Daicem Ltd.

Tahapan terakhir adalah menghitung diameter pipa penghubung antar kompartemen dan pipa outlet.

Diameter	=	50	mm
Jumlah tiap kompartemen	=	3	buah
Debit tiap pipa (Q)	=	6,886667	m ³ /d
	=	7,97x10 ⁻⁵	m ³ /s
Luas penampang (Ac)	=	0,002	m ²
Kecepatan aliran tiap pipa (v)	=	0,040	m/s

Hasil dari perencanaan unit BAF berdasarkan perhitungan diatas dapat dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4. 26 Rekapitulasi Desain Unit BAF

No	Parameter Desain	Nilai	Satuan
1	Lebar kompartemen 1	1,50	m
2	Panjang kompartemen 1	0,70	m
3	Lebar kompartemen 2	1,50	m
4	Panjang kompartemen 2	0,80	m
5	Kedalaman media	1,20	m
6	Kedalaman underdrain	0,55	m
7	Kedalaman total reaktor	2,50	m
8	Diameter pipa penghubung	50,0	m
9	Diameter pipa outler	50,0	mm
10	Diameter pipa blower	38,0	mm
11	Jumlah diffuser	4,0	buah

Kebutuhan aksesoris dan peralatan pendukung pada unit BAF dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Tabel 4. 27 Kebutuhan Aksesoris & Peralatan Pendukung Unit BAF

No	Jenis Aksesoris	Jumlah	Satuan
1	Pipa PVC C 50 mm (2")	15	m
2	Pipa PVC AW 38 mm (1.5")	6	m
3	Tee 38mm	1	buah
4	Tee 50mm	7	buah
5	Elbow 45 50 mm	4	buah
6	Elbow 90 50 mm	6	buah
7	Media sarang tawon	2,7	m ³
8	Ring Blower Takafan 250 W	2	buah
9	Pearlcomb D-1310 Coarse Diffuser	4	buah
10	Tutup Manhole Stainless Steel	2	buah

Efisiensi Pengolahan pada unit BAF dapat dilihat pada Tabel 4.28.

Tabel 4. 28 Efisiensi Pengolahan Unit BAF

Parameter	Satuan	Influen (mg/L)	Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal	Terdegradasi (mg/L)
BOD5	mg/L O ₂	45,99	4,599	90%	41,393
COD	mg/L O ₂	119,55	11,955	90%	107,593
TSS	mg/L	53,80	5,380	90%	48,417
Minyak dan Lemak	mg/L	2,50	2,500	0%	0,000
Ammonia	mg/L NH ₃ -N	53,06	5,306	90%	47,754

4.4.5 Unit Bak Pengendap

Air limbah kemudian dialirkan menuju bak pengendap. Dengan semakin bertambahnya mikroorganisme, semakin menyebabkan lapisan mikroorganisme pada media menebal. Mikroorganisme yang berada pada bagian terluar dalam lapisan tersebut dapat kehilangan kemampuannya untuk melekat pada media, sehingga menyebabkan beberapa lapisan terlepas dari media. Untuk mengantisipasi terbawanya lapisan mikroorganisme tersebut ke dalam efluen pengolahan, maka dirasa perlu direncanakan unit Bak Pengendap untuk mengendapkannya.

Direncanakan

Operasional SWK	=	15 jam
Debit rata-rata	=	20,66 m ³ /d
	=	1,38 m ³ /h
	=	0,00038 m ³ /s
BOD _{in}	=	4,599 mg/L
NH _{3in}	=	5,306 mg/L
TSS _{in}	=	5,380 mg/L
Surface overflow rate	=	0,85 m ³ /m ² .h
Waktu detensi	=	4 h
Weir loading rate	=	10 m ³ /m.h
Lebar bak	=	1 m
Kedalaman bak	=	2,2 m
Freeboard	=	0,5 m

Langkah pertama adalah melakukan perhitungan dimensi untuk unit Bak Pengendap.

Luas lahan	=	Debit / Surface overflow rate
	=	1,38 m ³ /h / 0,85 m ³ /m ² .h
	=	1,62 m ²
	=	1,6 m ²
Panjang bak	=	Luas lahan / Lebar
	=	1,6 m ² / 1 m
	=	1,6 m
Cek luas lahan	=	Lebar x Panjang
	=	1 m x 1,6 m
	=	1,6 m ²
Cek surface overflow rate	=	Debit / Luas lahan

$$\begin{aligned}
&= 20,66 \text{ m}^3/\text{d} / 1,6 \text{ m}^2 \\
&= 0,86 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h} \\
\text{Volume} &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Kedalaman} \\
&= 1,6 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 2,2 \text{ m} \\
&= 3,52 \text{ m}^3 \\
\text{Cek waktu detensi} &= \text{Volume} / \text{Debit} \\
&= 3,52 \text{ m}^3 / 1,38 \text{ m}^3/\text{h} \\
&= 2,56 \text{ jam} \\
\text{Lebar baffle} &= \text{Lebar bak} \\
&= 1 \text{ m} \\
\text{Tebal baffle} &= 0,1 \text{ m} \\
\text{Kedalaman baffle} &= 1 \text{ m}
\end{aligned}$$

Perhitungan diatas telah memenuhi beberapa kriteria desain yang ada, yaitu waktu detensi antara 1,5-3 jam, dan surface overflow rate antara 0,8-2,5 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$. Selanjutnya dilakukan pengecekan scouring pada dimensi tersebut.

Direncanakan

$$\begin{aligned}
\text{Operasional SWK} &= 15 \text{ jam} \\
\text{Debit operasional} &= 20,66 \text{ m}^3/\text{d} \\
&= 1,38 \text{ m}^3/\text{h} \\
&= 0,00038 \text{ m}^3/\text{s} \\
\text{konstanta kohesi (k)} &= 0,05 \\
\text{Spesifik grafitasi padatan} &= 1,25 \\
\text{Diameter partikel padatan} &= 100 \text{ um} \\
\text{Faktor Darcy-Weisbach (f)} &= 0,025 \\
\text{Percepatan gravitasi} &= 9,81 \text{ m/s}^2 \\
\text{Luas melintang (Ac)} &= \text{Kedalaman} \times \text{Lebar bak} \\
&= 2 \text{ m} \times 1 \text{ m} \\
&= 2 \text{ m}^2 \\
\text{Kecepatan horizontal(vh)} &= \text{Debit maksimum} / \text{Luas melintang} \\
&= 0,00038 \text{ m}^3/\text{s} / 2 \text{ m}^2 \\
&= 0,00019 \text{ m/s} \\
\text{Kecepatan scour kritisal (vc)} &= (8k(S-1)gd/f)^{1/2} \\
&= (8 \times 0,05 \times (1,25-1) \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times (100 \times 10^{-6} \text{ m}))^{1/2} \\
&= 0,063 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, kecepatan horizontal memiliki nilai yang lebih kecil dari kecepatan scour kritisal sehingga reuspensi solid tidak terjadi. Perencanaan dilanjutkan dengan perhitungan bagian outlet pada bak pengendap yang direncanakan berupa Weir 90 V-Notches dan launder.

Direncanakan

$$\begin{aligned}
\text{Operasional SWK} &= 15 \text{ jam} \\
\text{Debit rata-rata} &= 20,66 \text{ m}^3/\text{d}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 1,38 \text{ m}^3/\text{h} \\
&= 0,00038 \text{ m}^3/\text{s} \\
\text{Weir loading rate} &= 1,5 \text{ m}^3/\text{m.h} \\
\text{Koefisien discharge (Cd)} &= 0,06 \\
\text{Cw} &= 1
\end{aligned}$$

Dilakukan perhitungan jumlah dan panjang weir plate yang akan digunakan

$$\begin{aligned}
\text{Lebar saluran outlet} &= 0,1 \text{ m} \\
\text{Panjang weir plat} &= 1/2 \times (\text{lebar} - \text{outlet}) \\
&= 1/2 \times (1 \text{ m} - 0,1 \text{ m}) \\
&= 0,45 \text{ m} \\
\text{Total panjang weir} &= \text{Debit} / \text{Weir loading rate} \\
&= 1,38 \text{ m}^3/\text{h} / 10 \text{ m}^3/\text{m.h} \\
&= 0,92 \text{ m} \\
&= 0,9 \text{ m} \\
\text{Jumlah weir plat} &= \text{Total panjang weir} / \text{panjang weir} \\
&= 0,9 \text{ m} / 0,45 \text{ m} \\
&= 2 \text{ buah}
\end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan detail V-notches yang akan digunakan.

$$\begin{aligned}
\text{Jarak antar notches} &= 0,05 \text{ m} \\
\text{Jumlah notches per plat} &= \text{Panjang plat} / \text{Jarak notches} \\
&= (0,45 \text{ m} / 0,05 \text{ m}) \\
&= 9 \text{ buah} \\
\text{Total notches} &= \text{Jumlah notches per plat} \times \text{jumlah plat} \\
&= 9 \times 2 \\
&= 18 \text{ buah} \\
\text{Debit per notch} &= \text{Debit operasional} / \text{Total notches} \\
&= 0,00038 \text{ m}^3/\text{s} / 18 \\
&= 2,12551\text{E-}05 \text{ m}^3/\text{s} \\
\text{Head notch} &= (15/8 \times \text{Debit notch} / (\text{Cd} \times (2 \times g)^{1/2})^{2/5}) \\
&= (15/8 \times 2,07 \times 10^{-5}) / (0,06 \times (2 \times 9,81 \text{ m/s}^2)^{1/2})^{2/5} \\
&= 6,77119\text{E-}05 \text{ m} \\
&= 0,00677119 \text{ cm} \\
&= 0,007 \text{ cm} \\
\text{Freeboard} &= 0,05 \text{ m} \\
\text{Total ketinggian notch} &= \text{Head notch} + \text{Freeboard} \\
&= 0,00007 \text{ m} + 0,05 \text{ m} \\
&= 0,051 \text{ m}
\end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan launder yang akan menerima aliran dari weir tersebut.

$$\begin{aligned}
\text{Debit launder} &= \text{Debit operasional} / \text{jumlah launder} \\
&= 0,00038 \text{ m}^3/\text{s} / 2 \\
&= 0,00019 \text{ m}^3/\text{s} \\
\text{Lebar launder} &= 0,05 \text{ m} \\
\text{Panjang launder} &= 0,45 \text{ m}
\end{aligned}$$

Jumlah launder	=	2 buah
Kedalaman akhir launder (yc=y ₂)	=	$(\text{Debit} / (C_w \times \text{lebar launder} \times g^{1/2}))^{2/3}$
	=	$(0,00019 \text{ m}^3/\text{s} / (1 \times 0,1 \times (9,81 \text{ m/s}^2)^{1/2}))^{2/3}$
	=	0,000658 m
	=	0,00066 m
Kedalaman awal launder (y ₁)	=	$((y_2^2) + 2(q_{\text{launder}})^2 / (g(b_{\text{launder}})^2 \times y_2))^{1/2}$
	=	$((0,00066^2) + 2 \times (0,00019 \text{ m}^3/\text{s})^2 / (9,81 \text{ m/s}^2 \times (0,1 \text{ m})^2 \times 0,00066 \text{ m}))^{1/2}$
	=	0,067 m
	=	0,075 m
Freeboard	=	0,064 m
Total kedalaman launder	=	Kedalaman awal launder + Freeboard + Total ketinggian notch
	=	0,075 m + 0,064 m + 0,051 m
	=	0,19 m

Dilanjutkan dengan merencanakan dimensi saluran outlet yang akan menampung aliran dari 2 launder tersebut.

Debit saluran	=	Debit operasional
	=	0,00038 m ³ /s
Lebar saluran	=	0,1 m
Panjang saluran	=	Lebar launder + Tebal beton
	=	0,05 m + 0,15 m
	=	0,2 m
Kecepatan aliran	=	0,5 m/s
Luas melintang (Ac)	=	Debit saluran / Kecepatan aliran
	=	0,00038 m ³ /s / 0,5 m/s
	=	0,00079 m ²
Kedalaman air	=	Luas melintang / Lebar saluran
	=	0,00079 m ² / 0,1 m
	=	0,0079 m
	=	0,008 m
Freeboard	=	0,052 m
Total kedalaman saluran	=	Total kedalaman launder + Kedalaman air + Freeboard
	=	0,9 m + 0,008 m + 0,052 m
	=	0,25 m

Hasil perencanaan untuk unit Bak Pengendap diatas dapat dilihat pada Tabel 4.29.

Tabel 4. 29 Rekapitulasi Desain Unit Bak Pengendap

No	Parameter Desain	Nilai	Satuan
1	Lebar unit	1,00	m
2	Panjang unit	1,60	m
3	Kedalaman total unit	2,50	m
4	Panjang baffle	1,00	m
5	Kedalaman baffle	1,00	m
6	Lebar saluran outlet	0,10	m
7	Panjang saluran outlet	0,20	m
8	Kedalaman saluran outlet	0,25	m
9	Lebar launder	0,05	m
10	Panjang launder	0,45	m
11	Kedalaman launder	0,19	m
12	Jumlah launder	2,00	buah
13	Jumlah weir plat	2,00	buah
14	Panjang weir plat	0,45	m
15	V-notches per plat	9,00	buah
16	Ketinggian notch	0,05	m
17	Jarak antar notch	0,05	m

Kebutuhan aksesoris dan peralatan pendukung untuk operasional bak pengendap dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4. 30 Kebutuhan Aksesoris & Peralatan Pendukung Unit Bak Pengendap

No	Jenis Aksesoris	Jumlah	Satuan
1	Pipa PVC D 50mm	1	m
2	Tee 50 mm	1	buah
3	Elbow 45 50 mm	2	buah
4	V Notches	9	buah
5	Weir Plate	0,2	m ²
6	Tangga monyet	5	buah
7	Tutup Manhole Stainless Steel	1	buah

Efisiensi Pengolahan pada unit Bak Pengendap dapat dilihat pada Tabel 4.31.

Tabel 4. 31 Efisiensi Pengolahan Unit Bak Pengendap

Parameter	Satuan	Influen (mg/L)	Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal	Terdegradasi (mg/L)
BOD5	mg/L O ₂	4,60	3,68	20%	0,92
COD	mg/L O ₂	11,95	9,56	20%	2,39
TSS	mg/L	5,38	2,69	50%	2,69
Minyak dan Lemak	mg/L	2,50	2,50	0%	0,00
Ammonia	mg/L NH ₃ -N	5,31	5,31	0%	0,00

4.4.6 Unit Bak Disinfeksi UV

Unit pengolahan terakhir adalah bak disinfeksi yang menggunakan sinar UV. Pada karakteristik sampel air limbah yang diperoleh, diketahui bahwa air limbah mengandung total koliform yang tinggi, sehingga perlu dilakukan pengolahan untuk menonaktifkan mikroorganisme berbahaya yang ada dalam air limbah. Sisi dalam pada bak disinfeksi direncanakan menggunakan lapisan aluminium guna memaksimalkan penyinaran UV pada air limbah. Berikut adalah perhitungan perencanaan Disinfeksi UV di SWK Bratang Binangun.

Direncanakan

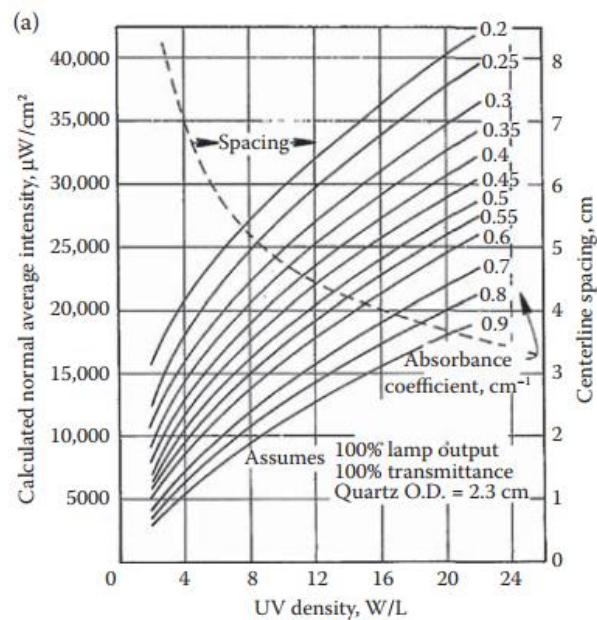
Reaktor UV tercelup vertical	
Operasional SWK	= 15 jam
Debit rata-rata (Q)	= 20,660 m ³ /d
	= 1,38 m ³ /h
	= 0,023 m ³ /menit
	= 0,00038 m ³ /s
Panjang lampu (l)	= 0,4 m
Diameter lampu (d)	= 0,023 m
Panjang tabung lampu (Larc)	= 0,3 m
	= 30 cm
Jarak antar lampu	= 0,08 m
Power lampu (P _{lamp})	= 35 W
Konsentrai influen organisme (No)	= 2,2 x 10 ⁹ MPN/100 mL
Konsentrasi efluen organisme (N')	= 2000 MPN/100 mL
UV Transmittance (UVT)	= 60%
Faktor penuaan lampu (Fa)	= 0,8
Faktor fouling lampu (Ft)	= 0,5
konstanta a	= 0,0000145
konstanta b	= 1,3
koefisien dispersi (d)	= 0,03

Langkah pertama guna merencanakan reaktor disinfeksi UV adalah dengan menentukan jumlah lampu UV yang dibutuhkan.

Luas penampang antar lampu (A _{dis})	= s ²
	= (0,08 m) ²
	= 0,0064 m ²
Luas penampang lampu (A _{lamp})	= 3,14/4 x D ²

$$\begin{aligned}
&= 3,14 / 4 \times 0,023^2 \\
&= 0,0005 \text{ m}^2 \\
\text{Volume air terekspos (V}_{\text{lamp}}) &= (A_{\text{dis}} - A_{\text{lamp}}) \times L_{\text{arc}} \\
&= (0,0064 \text{ m}^2 - 0,0005 \text{ m}^2) \times 0,3 \text{ m} \\
&= 0,0018 \text{ m}^3/\text{lampu} \\
\text{Densitas UV (pUV)} &= P_{\text{lamp}} / V_{\text{lamp}} \\
&= 35 \text{ W/lampu} / 0,0018 \text{ m}^3/\text{lampu} \\
&= 19444,44 \text{ W/m}^3 \\
&= 19,44444 \text{ W/L} \\
\text{Koefisien absorbansi UV (aUV)} &= -\log(\text{UVT}/100\%) \\
&= -\log(60\%/100\%) \\
&= 0,221849 \text{ a.u./cm}
\end{aligned}$$

Kemudian dapat diketahui intensitas UV berdasarkan grafik pada Gambar 14.



Gambar 4. 13 Nominal Intensitas Rata-Rata UV Berdasarkan Densitas UV & Koefisien Absorbansi
 Sumber: Qasim & Zhu, 2018

$$\begin{aligned}
\text{Intensitas UV Rata-rata nominal (I}_{\text{avg,nom}}) &= 39000 \text{ uW/cm}^2 \\
\text{Intensitas UV Rata-rata (I}_{\text{avg}}) &= I_{\text{avg,nom}} \times F_a \times F_t \\
&= 39000 \text{ uW/cm}^2 \times 0,8 \times 0,5 \\
&= 15600,00 \text{ uW/cm}^2 \\
\text{konstanta inaktivasi koliform (k)} &= a \times (I_{\text{avg}})^{\text{(b)}} \\
&= 0,0000145 \times (15600 \text{ uW/cm}^2)^{1,3} \\
&= 4,096661 /\text{s} \\
\text{UV volume loading (UVL}_{\text{v}}) &= V_{\text{lamp}} / P_{\text{lamp}} \\
&= 0,0018 \text{ m}^3 / \text{lampu} / (35 \text{ W} / \text{Lampu}) \\
&= 5,14\text{E-}05 \text{ m}^3/\text{W}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Waktu exposure (teks)} &= 5 \text{ s} \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= x/td \\
&= 30 \text{ cm} / 5 \text{ s} \\
&= 6 \text{ cm/s} \\
\text{Koefisiensi dispersi (.E)} &= d \times u \times x \\
&= 0,03 \times 3,75 \text{ cm/s} \times 30 \text{ cm} \\
&= 5,4 \text{ cm}^2/\text{s} \\
-\log(N'/N_0) &= \\
&= -\log(e) \times \left[\frac{ux}{2E} \left(1 - \left(1 + \frac{4kE}{u^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right] \\
&= -0,434 \times \left[\frac{\frac{6 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \times 30 \text{ cm}}{2 \times 5,4 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}} \left(1 - \left(1 + \frac{4 \times 4,1 \text{ s}^{-1} \times 5,4 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}}{\left(6 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right)^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right] \\
&= 6,217548
\end{aligned}$$

Dalam merencanakan intensitas UV, perlu dilakukan pertimbangan absorbansi untuk jenis efluen air limbah yang diolah serta faktor penuaan lampu dan faktor fouling lampu atau penurunan transparansi pada tabung lampu. Setelah diketahui log inaktivasi bakteri berdasarkan perencanaan, maka dilakukan perbandingan dengan log inaktivasi berdasarkan perhitungan log secara langsung.

$$\begin{aligned}
-\log(N'/N_0) &= -\log(2 \times 10^3 / 2,2 \times 10^9) \\
&= 6,041393
\end{aligned}$$

Diketahui bahwa log inaktifasi bakteri berdasarkan hasil perencanaan lebih tinggi dari log inaktivasi secara perhitungan langsung, sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan waktu paparan selama 5 detik menggunakan lampu UV 35 watt mampu untuk menginaktifkan bakteri sesuai dengan perencanaan. Kemudian dilakukan perhitungan guna menghitung jumlah lampu yang dibutuhkan sesuai dengan debit air limbah yang akan diolah.

$$\begin{aligned}
\text{UV dose (D}_{uv}) &= I_{avg} \times \text{teks} \\
&= 78 \text{ mJ/cm}^2 \\
\text{UV volume loading (UVL}_f) &= \text{UVL}_v / \text{teks} \\
&= 5,1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{W} / 5 \text{ s} \\
&= 1,03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s.W} \\
\text{Jumlah lampu (N)} &= Q / (\text{P}_{lamp} \times \text{UVL}_f) \\
&= 0,00038 \text{ m}^3/\text{s} / (35 \text{ W/lampu} \times 1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s.W}) \\
&= 2 \text{ buah}
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, dibutuhkan 2 buah lampu UV dengan daya 35 Watt untuk unit Disinfeksi UV di SWK Bratang Binangun. Selanjutnya dilakukan perhitungan guna merencanakan dimensi reaktor yang dibutuhkan.

$$\begin{aligned}
\text{Lebar reaktor} &= 3 \times \text{Jarak antar lampu} \\
&= 3 \times 0,08 \text{ m} \\
&= 0,16 \text{ m} \\
\text{Panjang reaktor} &= 1 \times \text{Jarak antar lampu} \\
&= 1 \times 0,08 \text{ m} \\
&= 0,08 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Luas penampang reaktor} &= P \times L \\
&= 0,16 \text{ m} \times 0,08 \text{ m} \\
&= 0,0128 \text{ m}^2 \\
\text{Kedalaman efektif} &= 0,6 \text{ m} \\
\text{Freeboard} &= 0,4 \text{ m} \\
\text{Total kedalaman reaktor} &= 1 \text{ m} \\
\text{Volume reaktor} &= A_s \times h \\
&= 0,0128 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m} \\
&= 0,0128 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

Terakhir dilakukan perhitungan untuk menentukan diameter pipa outlet menuju badan air terdekat, yaitu saluran drainase yang berada tepat didepan IPAL.

$$\begin{aligned}
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,5 \text{ m/s} \\
\text{Luas penampang basah (A)} &= Q/v \\
&= 0,000765 \text{ m}^2 \\
\text{Diameter pipa (D)} &= ((4 \times A) / 3,14)^{1/2} \\
&= 0,0312 \text{ m} \\
&= 31,2 \text{ mm} \\
\text{Diameter pipa digunakan (D)} &= 75 \text{ mm} \\
\text{Cek luas penampang (A)} &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \\
&= 0,0044 \text{ m}^2 \\
\text{Cek kecepatan aliran} &= Q / A \\
&= 0,09 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

Hasil dari perencanaan unit Bak Disinfeksi UV dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4. 32 Rekapitulasi Desain Unit Disinfeksi UV

No	Parameter Desain	Nilai	Satuan
1	Lebar unit	0,08	m
2	Panjang unit	0,16	m
3	Kedalaman total unit	1,00	m
4	Jumlah lampu UV	1,00	buah
5	Panjang lampu UV	0,40	m
6	Diameter lampu UV	0,023	m
7	Diameter pipa outlet	75,00	mm

Kebutuhan aksesoris dan peralatan pendukung untuk menunjang operasional unit Disinfeksi UV dapat dilihat pada Tabel 4.33.

Tabel 4. 33 Kebutuhan Aksesoris & Peralatan Pendukung Unit Disinfeksi UV

No	Jenis Aksesoris	Jumlah	Satuan
1	Pipa PVC C 75mm	10	m
2	Plat Aluminium	0,64	m ²
3	Lampu UV Submersible Sakkai Pro 35 W	2	buah
4	Tutup Manhole Stainless Steel	1	buah

Lampu UV yang digunakan memiliki gelombang penyinaran 254 nm sehingga termasuk ke dalam sinar UV-C dimana sinar UV-C memiliki rentang gelombang penyinaran 100-280 nm. Karena tidak terjadi reduksi polutan non coliform pada unit Disinfeksi UV maka konsentrasi efluen polutan akan sama dengan konsentrasi influen polutan yang masuk pada unit Disinfeksi UV. Efisiensi Pengolahan pada unit pengolahan Disinfeksi UV dapat dilihat pada Tabel 4.34.

Tabel 4. 34 Efisiensi Pengolahan Unit Disinfeksi UV

Parameter	Satuan	Influen (mg/L)	Efluen (mg/L)	Efisiensi Removal	Terdegradasi (mg/L)
BOD5	mg/L O ₂	3,68	3,68	0%	0,00
COD	mg/L O ₂	9,56	9,56	0%	0,00
TSS	mg/L	2,69	2,69	0%	0,00
Minyak dan Lemak	mg/L	2,50	2,50	0%	0,00
Ammonia	mg/L NH ₃ -N	5,31	5,31	0%	0,00

4.5 Profil Hidrolis Unit IPAL

Tahapan perencanaan IPAL selanjutnya adalah menghitung profil hidrolis pada tiap unit pengolahan. Penyusunan profil hidrolis bertujuan untuk menentukan ketinggian muka air dalam setiap unit pengolahan agar aliran tetap terjaga di setiap unitnya. Terdapat 2 jenis head loss yang dihitung, yakni headloss mayor yang merupakan head loss friksi dalam pipa pembawa serta headloss minor yang merupakan head loss friksi dengan aksesoris pipa. Berikut adalah contoh perhitungan headloss mayor.

Perhitungan Headloss Mayor Saluran

Grease Trap Kompartemen 1

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien kekasaran HW PVC (C)} &= 150 \\
 \text{Diameter pipa (D)} &= 0,05 \text{ m} \\
 \text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,24 \text{ m/s} \\
 \text{Panjang pipa (L)} &= 1 \text{ m} \\
 \text{Headloss (Hf)} &= 6,82 \times (v/C)^{1,85} \times L / (D^{1,167}) \\
 &= 6,82 \times (0,24 \text{ m/s} / 150)^{1,85} \times 1 \text{ m} / (0,05^{1,167}) \\
 &= 0,00153 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Bak Pengendap

$$\begin{aligned}
 \text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,5 \text{ m/s} \\
 \text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\
 \text{Kedalaman (y)} &= 0,008 \text{ m} \\
 \text{Lebar saluran (w)} &= 0,1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Panjang saluran (L)} &= 0,2 \text{ m} \\
\text{Radius hidrolis (Rh)} &= (w \times y) / (w + 2 \times y) \\
&= (0,1 \text{ m} \times 0,008 \text{ m}) / (0,1 \text{ m} + 2 \times 0,008 \text{ m}) \\
&= 0,0069 \text{ m} \\
\text{Koef. Kekasaran Manning (n)} &= 0,012 \\
\text{Slope (S)} &= 0,0274 \\
\text{Friction Headloss (hf)} &= S \times L \\
&= 0,0274 \times 0,2 \text{ m} \\
&= 0,005485 \text{ m}
\end{aligned}$$

Perhitungan headloss pada greasetrap kompartemen 1 merupakan contoh perhitungan headloss pada pipa pembawa sedangkan pada perhitungan Bak Pengendap menunjukkan perhitungan headloss mayor untuk saluran terbuka. Perhitungan headloss pada pipa pembawa seperti pada unit Grease Trap menggunakan rumus Hazen-William, dimana pipa tersebut diletakkan dibawah permukaan air sehingga pipa terisi penuh. Perhitungan headloss pada saluran outlet Bak Pengendap menggunakan rumus Manning dikarenakan sifat saluran pembawa tersebut yang berbentuk open channel sehingga tidak terisi penuh. Untuk perhitungan headloss mayor pada unit pengolahan lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.35.

Tabel 4. 35 Rekapitulasi Headloss Mayor Saluran Pembawa

Bangunan		Diameter Pipa (m)	Panjang Pipa (m)	Kecepatan Aliran (m/s)	Koef. HW (C)	Headloss Mayor (m)
Grease Trap	Kompartemen 1	0,050	1	0,24	150	0,001534
	Kompartemen 2	0,050	1	0,24	150	0,001534
Bak Pengumpul	Kompartemen 1	0,038	0,60	0,34	150	0,002358
ABR	Settler	0,050	1	0,04	150	0,000055
	Kompartemen 1	0,050	1	0,04	150	0,000055
	Kompartemen 2	0,050	1	0,04	150	0,000055
	Kompartemen 3	0,050	1	0,04	150	0,000055
	Kompartemen 4	0,050	1	0,04	150	0,000055
BAF	Kompartemen 1	0,050	0,25	0,04	150	0,000014
	Kompartemen 2	0,050	0,25	0,04	150	0,000014
Bak Pengendap	Saluran Outlet	-	-	-	-	0,005485
UV Chamber	Pipa Outlet	0,075	10	0,09	150	0,001431

Headloss minor dihitung berdasarkan jumlah aksesoris pada pipa atau saluran pembawa seperti belokan, valve, dan aksesoris lainnya. Berikut adalah contoh perhitungan untuk menghitung headloss minor pada saluran pembawa.

$$\begin{aligned}
\text{Grease Trap Kompartemen 1} \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,24 \text{ m/s} \\
\text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\
\text{Jumlah belokan} &= 1 \\
\text{K belokan 90} &= 0,3 \\
\text{K entrance} &= 0,5 \\
\text{K exit} &= 1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Headloss kecepatan} &= v^2 / 2g \\
&= (0,24 \text{ m/s})^2 / 2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= 0,0030 \text{ m} \\
\text{Total K minor} &= 1 \times \text{K belokan} + \text{K entrance} + \text{K exit} \\
&= 1 \times 0,3 + 0,5 + 1 \\
&= 1,8 \\
\text{Headloss minor} &= \text{Total K minor} \times \text{Headloss kecepatan} \\
&= 1,8 \times 0,003 \text{ m} \\
&= 0,0054 \text{ m}
\end{aligned}$$

Perhitungan headloss minor untuk unit pengolahan lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.36.

Tabel 4. 36 Rekapitulasi Headloss Minor Saluran Pembawa

Bangunan		Aksesoris	Jumlah	K total	K minor	Headloss kecepatan (m)	Headloss minor (m)
Grease Trap	Kompartemen 1	Belokan	1	0,3	1,8	0,0054	0,0097
		Exit	1	1			
		Entrance	1	0,5			
	Kompartemen 2	Belokan	1	0,3	1,8	0,0054	0,0097
		Exit	1	1			
		Entrance	1	0,5			
Bak Pengumpul	Kompartemen 1	Belokan	1	0,3	1,8	0,0054	0,0097
		Exit	1	1			
		Entrance	1	0,5			
ABR	Settler	Belokan	2	0,6	2,1	0,0001	0,0002
		Exit	1	1			
		Entrance	1	0,5			
	Kompartemen 1	Belokan	2	0,6	2,1	0,0001	0,0002
		Exit	1	1			
		Entrance	1	0,5			
	Kompartemen 2	Belokan	2	0,6	2,1	0,0001	0,0002
		Exit	1	1			
		Entrance	1	0,5			
	Kompartemen 3	Belokan	2	0,6	2,1	0,0001	0,0002
		Exit	1	1			
		Entrance	1	0,5			
	Kompartemen 4	Belokan	2	0,6	2,1	0,0001	0,0002
		Exit	1	1			
		Entrance	1	0,5			
BAF	Kompartemen 1	Belokan	2	0,6	2,1	0,0001	0,0002
		Exit	1	1			
		Entrance	1	0,5			
	Kompartemen 2	Belokan	2	0,6	2,1	0,0001	0,0002
		Exit	1	1			
		Entrance	1	0,5			
Bak Pengendap	Kompartemen 1	Belokan	0	0	1,5	0,0127	0,0191
		Exit	1	1			
		Entrance	1	0,5			
UV Chamber	Kompartemen 1	Belokan	0	0	1,5	0,0004	0,0006
		Exit	1	1			
		Entrance	1	0,5			

Kemudian dilakukan perhitungan terhadap headloss akibat gesekan dalam tiap unit bangunan pengolahannya. Berikut adalah contoh perhitungan headloss akibat gesekan pada unit Grease Trap Kompartemen 1:

Grease Trap Kompartemen 1

Debit (Q) = 0,00077 m³/s

Kedalaman air (y) = 1,5 m

Lebar bak (w) = 0,60 m

Panjang kompartemen (L) = 0,80 m

Luas Penampang (Ac) = w x y
= 0,6 m x 1,5 m
= 0,9 m²

Kecepatan aliran (vh) = Q / Ac
= 0,00077 m³/s / 0,9 m²
= 0,00086 m/s

Radius hidrolis (Rh) = (w x y) / (w + 2 x y)
= (0,6 m x 1,5 m) / (0,6 m + 2 x 1,5 m)
= 0,25 m

Koef. Kekasaran Manning (n) = 0,012

Slope (S) = 6,76191E-10

Headloss (hf) = S x L
= 6,76 x 10⁻¹⁰ x 0,8 m
= 5,40953 x 10⁻¹⁰ m

Dari perhitungan diatas, diketahui bahwa headloss akibat gesekan yang terjadi pada tiap unit bangunan pengolahan sangat kecil. Hal ini dikarenakan tiap-tiap unit bangunan pengolahan memiliki kecepatan aliran yang kecil sehingga headloss akibat gesekan pada tiap unit pengolahan dapat diabaikan. Rekapitulasi total perhitungan headloss untuk tiap unit pengolahannya dapat dilihat pada Tabel 4.37.

Tabel 4. 37 Rekapitulasi Perhitungan Headloss

Bangunan		Headloss Mayor (m)	Headloss minor (m)	Total Headloss (m)
Grease Trap	Kompartemen 1	0,00153	0,00967	0,01120
	Kompartemen 2	0,00153	0,00967	0,01120
Bak Pengumpul	Kompartemen 1	0,00236	0,00967	0,01203
	Pompa	-0,78444		
ABR	Settler	0,000055	0,00017	0,00022
	Kompartemen 1	0,000055	0,00017	0,00022
	Kompartemen 2	0,000055	0,00017	0,00022
	Kompartemen 3	0,000055	0,00017	0,00022
	Kompartemen 4	0,000055	0,00017	0,00022
BAF	Kompartemen 1	0,000014	0,00017	0,00018
	Kompartemen 2	0,000014	0,00017	0,00018
Bak Pengendap	Saluran Outlet	0,005485	0,01911	0,02460
UV Chamber	Pipa Outlet	0,001431	0,00057	0,00200

Berdasarkan perhitungan headloss tersebut dapat ditentukan muka air pada tiap unit pengolahannya. Rekapitulasi elevasi muka air pada tiap unit pengolahannya dapat dilihat pada Tabel 4.38.

Tabel 4. 38 Elevasi Muka Air IPAL

Bangunan		Total Headloss (m)	Elevasi Pipa Penghubung / Outlet	Elevasi Muka Air Dalam Unit
Grease Trap	Kompartemen 1	0,01120	1,50	1,60
	Kompartemen 2	0,01120	1,50	1,59
Bak Pengumpul	Kompartemen 1	0,01203	-	1,58
	Pompa	-0,78444	2,45	-
ABR	Settler	0,00022	2,30	2,35
	Kompartemen 1	0,00022	2,30	2,35
	Kompartemen 2	0,00022	2,30	2,35
	Kompartemen 3	0,00022	2,30	2,35
	Kompartemen 4	0,00022	2,30	2,35
BAF	Kompartemen 1	0,00018	2,30	2,35
	Kompartemen 2	0,00018	2,30	2,35
Bak Pengendap	Saluran Outlet	0,02460	2,10	2,35
UV Chamber	Pipa Outlet	0,00200	2,03	2,07
Badan Air		0	1,80	1,55

Muka tanah berada pada elevasi +2,8 m, Grease Trap menerima aliran air limbah dari pipa penyalur pada elevasi +1,60 m kemudian dialirkan menuju unit Bak Pengumpul. Untuk mengurangi kedalaman galian pada unit pengolahan selanjutnya, ditambahkan pompa submersible untuk menaikkan elevasi air juga menjaga debit aliran pengolahan, sehingga pada settler ABR terjadi peningkatan elevasi pada muka air menjadi +2,35 m. Selanjutnya aliran air dalam IPAL bergantung pada gravitasi sehingga elevasi muka air akan mengikuti headloss yang telah dihitung. Terdapat selisih kurang lebih 0,50 m dari pipa outlet di unit *UV Chamber* dengan badan air, hal ini guna menjaga agar aliran air pada badan air tidak masuk ke dalam IPAL apabila suatu saat terdapat peningkatan elevasi pada muka air di badan air.

4.6 Gambar Desain Unit IPAL

Gambar-gambar desain terkait unit IPAL dapat dilihat pada lembar lampiran.

4.7 Penyusunan Bill of Quantity (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Tahap perencanaan selanjutnya adalah menghitung BOQ dan RAB pembangunan IPAL guna memberikan estimasi biaya yang diperlukan untuk membangun IPAL di SWK Bratang Binangun.

4.7.1 Penyusunan Bill of Quantity (BOQ)

Perhitungan BOQ digunakan untuk menentukan beban pekerjaan untuk pembangunan IPAL dan SPAL yang telah direncanakan diatas. Untuk mempermudah perhitungan BOQ maupun RAB, dapat menggunakan tabel rekapitulasi desain perencanaan yang telah dilakukan seperti pada Tabel 4.39 & 4.40.

Tabel 4. 39 Rekapitulasi Desain IPAL

No	Unit	Panjang (m)	Kedalaman (m)	Lebar (m)	Jumlah Unit	
1	Grease Trap	Kompartemen 1	0,80	2,70	0,60	1
		Kompartemen 2	0,40	2,70	0,60	1
2	Bak Pengumpul	Kompartemen 1	0,40	1,87	0,80	1
3	<i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	Settler	3,00	2,80	2,00	1
		Kompartemen 1	1,00	2,50	1,50	1
		Kompartemen 2	1,00	2,50	1,50	1
		Kompartemen 3	1,00	2,50	1,50	1
		Kompartemen 4	1,00	2,50	1,50	1
4	<i>Biological Aerated Filter</i>	Kompartemen 1	0,70	2,50	1,50	1
		Kompartemen 2	0,80	2,50	1,50	1
5	Bak Pengendap	Kompartemen 1	1,60	2,50	1,00	1
6	UV Chamber	Kompartemen 1	0,16	1,00	0,08	1

Tabel 4. 40 Rekapitulasi Desain SPAL

No	Jalur Pipa	D pipa	L pipa	Elevasi awal pipa (m)		Elevasi akhir pipa (m)		Kedalaman (m)	
		mm	m	bawah	atas	bawah	atas	awal	akhir
1	B1-P1	150	12,5	2,5	2,65	2,375	2,525	0,3	0,425
2	A1-P2	150	20,5	2,5	2,65	2,295	2,445	0,3	0,505
3	D1-C1	150	26	2,5	2,65	2,24	2,39	0,3	0,56
4	C1-P3	150	53	2,24	2,39	1,71	1,86	0,56	1,09
5	P1-P2	150	2,7	2,375	2,525	2,348	2,498	0,425	0,452
6	P2-P3	150	15	2,295	2,445	2,145	2,295	0,505	0,655
7	P3-P4	150	3	1,71	1,86	1,68	1,83	1,09	1,12
8	P4-P5	150	8	1,68	1,83	1,6	1,75	1,12	1,20
9	T1-T2	200	8	2,3	2,5	2,14	2,34	0,5	0,66

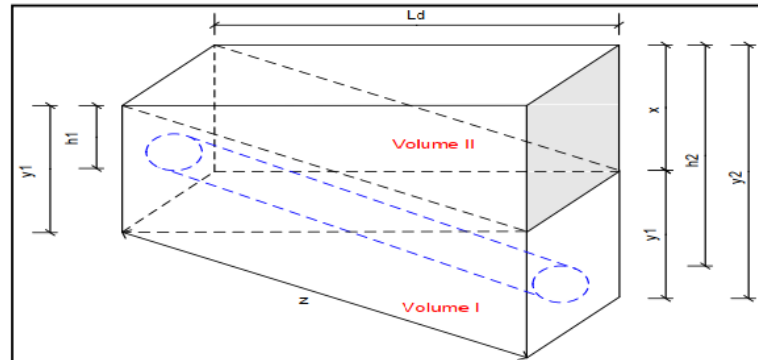
Berikut adalah perhitungan BOQ untuk membangun IPAL dan SPAL di SWK Bratang Binangun.

4.7.1.1 Penyusunan BOQ SPAL

Perhitungan yang dilakukan adalah menghitung volume pekerjaan yang harus dilakukan pada tiap tahapan pekerjaan pembangunan SPAL. Berikut adalah contoh perhitungan BOQ pada penanaman pipa SPAL jalur B1-P1

Jalur B1-P1	
Panjang pipa	= 12,5 m
Diameter Pipa	= 0,15 m
Kedalaman galian awal	= 0,3 m
Kedalaman galian akhir	= 0,425 m
Lebar Galian	= 0,6 m
Urugan pasir atas	= 0,15 m
Urugan pasir bawah	= 0,15 m

$$\begin{aligned}
\text{Luas area galian} &= \text{Panjang pipa} \times \text{Lebar galian} \\
&= 12,5 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \\
&= 7,5 \text{ m}^2
\end{aligned}$$



Gambar 4. 14 Skema Penanaman Pipa SPAL
Sumber: KemenPUPR, 2018

Perhitungan BOQ galian dan urugan tanah sepanjang jalur penyaluran mengikuti skema gambar diatas dimana:

- D = diameter pipa
- Y1 = kedalaman galian awal
- Y2 = kedalaman galian akhir
- H1 = kedalaman penanaman bawah pipa awal
- H2 = kedalaman penanaman bawah pipa akhir
- Ld = panjang jalur SPAL
- X = Selisih elevasi galian awal dan akhir
- Z = panjang pipa

Berikut adalah contoh perhitungan galian penanaman pipa SPAL jalur B1-P1:

$$\begin{aligned}
Y1 &= 0,3 \text{ m} \\
Y2 &= 0,425 \text{ m} \\
X &= Y2 - Y1 \\
&= 0,125 \text{ m} \\
Z &= (Y1^2 + Ld^2)^{1/2} \\
&= 12,6 \text{ m} \\
\text{Volume galian 1} &= \text{Panjang pipa} \times Y1 \times \text{Lebar galian} \\
&= 12,6 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \\
&= 2,27 \text{ m}^3 \\
\text{Volume galian 2} &= 1/2 \times (Y2 - Y1) \times Ld \times \text{Lebar galian} \\
&= 1/2 \times (0,425 \text{ m} - 0,3 \text{ m}) \times 12,5 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \\
&= 0,47 \text{ m}^3 \\
\text{Volume galian total} &= 2,74 \text{ m}^3 \\
\text{Volume pipa} &= (22/7 \times D^2)/4 \times Z \\
&= 0,22 \text{ m}^3 \\
\text{Volume urugan pasir} &= Ld \times \text{Lebar galian} \times (\text{Urugan pasir atas} + \text{Urugan pasir bawah}) \\
&= 12,5 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times (0,15 \text{ m} + 0,15 \text{ m}) \\
&= 2,25 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume urugan tanah} &= \text{Vol. galian} - (\text{Vol. pipa} + \text{Vol. urugan pasir}) \\
 &= 2,74 \text{ m}^3 - (0,22 \text{ m}^3 + 2,25 \text{ m}^3) \\
 &= 0,26 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume sisa tanah} &= \text{Vol. galian} - \text{Vol. urugan tanah} \\
 &= 2,74 \text{ m}^3 - 0,26 \text{ m}^3 \\
 &= 2,47 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Perhitungan untuk jalur pipa lain dapat dilihat pada Tabel 4.41-4.43.

Tabel 4. 41 BOQ Luas Area Penanaman Pipa

No	Jalur Pipa	Panjang Pipa	Lebar Galian	Luas Area Galian
		m	m	m ²
1	B1-P1	12,5	0,6	7,5
2	A1-P2	20,5	0,6	12,3
3	D1-C1	26	0,6	15,6
4	C1-P3	53	0,6	31,8
5	P1-P2	2,7	0,6	1,62
6	P2-P3	15	0,6	9
7	P3-P4	3	0,6	1,8
8	P4-P5	8	0,6	4,8
9	T1-T2	8	0,6	4,8
Total		148,7	-	89,22

Tabel 4. 42 Volume Galian Pipa SPAL

No	Jalur Pipa	Y1	Y2	X	Z	Volume Galian (m ³)	
		m	m	m	m	I	II
1	B1-P1	0,3	0,425	0,125	12,60	2,27	0,47
2	A1-P2	0,3	0,505	0,205	20,60	3,71	1,26
3	D1-C1	0,3	0,56	0,26	26,10	4,70	2,03
4	C1-P3	0,56	1,09	0,53	53,10	17,84	8,43
5	P1-P2	0,425	0,452	0,027	2,80	0,71	0,02
6	P2-P3	0,505	0,655	0,15	15,10	4,58	0,68
7	P3-P4	1,09	1,12	0,03	3,20	2,09	0,03
8	P4-P5	1,12	1,20	0,08	8,10	5,44	0,19
9	T1-T2	0,5	0,66	0,16	8,10	2,43	0,38

Tabel 4. 43 BOQ Galian & Urugan Pipa SPAL

No	Jalur Pipa	Volume Galian Total (m ³)	Volume Pipa (m ³)	Volume Urugan Pasir (m ³)	Volume Tanah Urug (m ³)	Volume Sisa Tanah Galian (m ³)
1	B1-P1	2,74	0,22	2,25	0,26	2,47
2	A1-P2	4,97	0,36	3,69	0,91	4,05
3	D1-C1	6,73	0,46	4,68	1,58	5,14
4	C1-P3	26,27	0,94	9,54	15,79	10,48
5	P1-P2	0,74	0,05	0,49	0,20	0,54
6	P2-P3	5,25	0,27	2,70	2,28	2,97
7	P3-P4	2,12	0,06	0,54	1,52	0,60
8	P4-P5	5,64	0,14	1,44	4,05	1,58
9	T1-T2	2,81	0,25	1,44	1,12	1,69
Total		57,26	0,00	26,77	30,49	26,77

4.7.1.2 Penyusunan BOQ IPAL

Perhitungan yang dilakukan adalah menghitung volume pekerjaan yang harus dilakukan pada tiap tahapan pekerjaan pembangunan IPAL. Berikut adalah contoh perhitungan BOQ pada pembangunan unit Grease Trap.

Grease Trap Kompartemen 1

Ketebalan beton (b)	= 0,15 m
Panjang	= 0,80 m
Lebar	= 0,60 m
Kedalaman	= 2,70 m
Kedalaman Galian (H)	= 1 x b + Kedalaman
	= 1 x 0,15 m + 2,75 m
	= 2,85 m
Panjang Galian (P)	= 2 x b + Panjang
	= 2 x 0,15 m + 0,80 m
	= 1,10 m
Lebar Galian (L)	= 2 x b + Lebar
	= 2 x 0,15 m + 0,60 m
	= 0,90 m
Volume Galian & Pengangkutan Tanah	= H x P x L
	= 2,85 m x 1,1 m x 0,9 m
	= 2,8215 m ³
Luas Lahan Pembersihan	= P x L
	= 0,99 m ²
Luas Lahan Waterproof	= P x L
	= 0,99 m ²

Untuk volume galian, pengangkutan tanah, luas pembersihan lahan, dan luas waterproofing unit pengolahan lain dapat dilihat pada Tabel 4.44 dan Tabel 4.45.

Tabel 4. 44 Volume Galian & Pengangkutan Tanah IPAL

No	Unit		H galian(m)	P galian (m)	L galian (m)	Vol. Galian (m ³)
1	Grease Trap	Kompartemen 1	2,85	1,10	0,90	2,82
		Kompartemen 2	2,85	0,55	0,90	1,41
2	Bak Pengumpul	Kompartemen 1	2,02	0,55	1,10	1,22
3	<i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	Settler	2,95	3,15	2,30	21,37
		Kompartemen 1	2,65	1,15	1,80	5,49
		Kompartemen 2	2,65	1,15	1,80	5,49
		Kompartemen 3	2,65	1,15	1,80	5,49
		Kompartemen 4	2,65	1,15	1,80	5,49
4	<i>Biological Aerated Filter</i>	Kompartemen 1	2,65	0,85	1,80	4,05
		Kompartemen 2	2,65	0,95	1,80	4,53
5	Bak Pengendap	Kompartemen 1	2,65	1,75	1,30	6,03
6	UV Chamber	Kompartemen 1	1,15	0,31	0,38	0,14

Tabel 4. 45 Luas Lahan Pembersihan & Waterproofing IPAL

No	Unit		Luas Lahan Pembersihan (m ²)	Luas Lahan Waterproofing (m ²)
1	Grease Trap	Kompartemen 1	0,99	0,99
		Kompartemen 2	0,495	0,495
2	Bak Pengumpul	Kompartemen 1	0,605	0,605
2	<i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	Settler	7,245	7,245
		Kompartemen 1	2,07	2,07
		Kompartemen 2	2,07	2,07
		Kompartemen 3	2,07	2,07
		Kompartemen 4	2,07	2,07
3	<i>Biological Aerated Filter</i>	Kompartemen 1	1,53	1,53
		Kompartemen 2	1,71	1,71
4	Bak Pengendap	Kompartemen 1	2,275	2,275
5	UV Chamber	Kompartemen 1	0,1178	0,1178

Kemudian dilakukan perhitungan untuk merencanakan rangka tiap unit pengolahannya.

Grease Trap Kompartemen 1

$$\begin{aligned} \text{Volume kolom} &= \text{Luas penampang} \times \text{Kedalaman Galian} \times \text{Jumlah} \\ &= 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 2,85 \text{ m} \times 4 \\ &= 0,2565 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume sloof memanjang} &= \text{Luas penampang} \times \text{Panjang Galian} \times \text{Jumlah} \\ &= 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 1,1 \text{ m} \times 2 \\ &= 0,0495 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume sloof melintang} &= \text{Luas penampang} \times \text{Lebar Galian} \times \text{Jumlah} \\ &= 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,9 \text{ m} \times 2 \\ &= 0,0405 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume balok memanjang} &= \text{Luas penampang} \times \text{Panjang Galian} \times \text{Jumlah} \\
 &= 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 1,1 \text{ m} \times 2 \\
 &= 0,05175 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume balok melintang} &= \text{Luas penampang} \times \text{Lebar Galian} \times \text{Jumlah} \\
 &= 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 0,9 \text{ m} \times 2 \\
 &= 0,081 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan volume rangka tiap unit pengolahan dapat dilihat pada Tabel 4.46.

Tabel 4. 46 Volume Rangka Beton

No	Unit		Vol. Kolom (m ³)	Vol. Sloof memanjang (m ³)	Vol. Sloof melintang (m ³)	Vol. Balok memanjang (m ³)	Vol. Balok melintang (m ³)
1	Grease Trap	Kompartemen 1	0,2565	0,0495	0,0405	0,0495	0,0405
		Kompartemen 2	0,2565	0,02475	0,0405	0,02475	0,0405
2	Bak Pengumpul	Kompartemen 1	0,1818	0,02475	0,0495	0,02475	0,0495
3	Anaerobic Baffled Reactor	Settler	0,2655	0,14175	0,1035	0,14175	0,1035
		Kompartemen 1	0,2385	0,05175	0,081	0,05175	0,081
		Kompartemen 2	0,2385	0,05175	0,081	0,05175	0,081
		Kompartemen 3	0,2385	0,05175	0,081	0,05175	0,081
4	Biological Aerated Filter	Kompartemen 1	0,2385	0,03825	0,081	0,03825	0,081
		Kompartemen 2	0,2385	0,04275	0,081	0,04275	0,081
5	Bak Pengendap	Kompartemen 1	0,2385	0,07875	0,0585	0,07875	0,0585
6	UV Chamber	Kompartemen 1	0,1035	0,01395	0,0171	0,01395	0,0171

Selanjutnya dilakukan perhitungan volume beton yang diperlukan untuk membuat dinding tiap unit pengolahan. Berikut adalah contoh perhitungan pada unit Grease Trap.

Grease Trap Kompartmen 1

$$\begin{aligned}
 \text{Volume dinding memanjang} &= \text{Panjang} \times \text{tebal beton} \times \text{kedalaman} \times \text{jumlah} \\
 &= 0,8 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 2,70 \text{ m} \times 2 \\
 &= 0,648 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume dinding melintang} &= \text{Lebar} \times \text{tebal beton} \times \text{kedalaman} \times \text{jumlah} \\
 &= 0,6 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 2,70 \text{ m} \times 2 \\
 &= 0,486 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan volume dinding tiap unit pengolahan dapat dilihat pada Tabel 4.47.

Tabel 4. 47 Volume Dinding Beton

No	Unit		Vol. dinding memanjang (m ³)	Vol. dinding melintang (m ³)	Vol. dinding total (m ³)
1	Grease Trap	Kompartemen 1	0,648	0,486	1,134
		Kompartemen 2	0,324	0,486	0,81
2	Bak Pengumpul	Kompartemen 1	0,2244	0,4488	0,6732
3	Anaerobic Baffled Reactor	Settler	2,52	1,68	4,2
		Kompartemen 1	0,75	1,125	1,875
		Kompartemen 2	0,75	1,125	1,875
		Kompartemen 3	0,75	1,125	1,875
		Kompartemen 4	0,75	1,125	1,875
4	Biological Aerated Filter	Kompartemen 1	0,525	1,125	1,65
		Kompartemen 2	0,6	1,125	1,725
5	Bak Pengendap	Kompartemen 1	1,2	0,75	1,95
6	UV Chamber	Kompartemen 1	0,048	0,024	0,072

4.7.2 Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

4.7.2.1 Penyusunan RAB SPAL

Penyusunan RAB untuk pembangunan SPAL dilakukan dengan mengalikan volume pekerjaan dengan nilai HSPK tiap pekerjaannya beserta jumlah aksesoris dan peralatan pendukungnya. HSPK yang digunakan adalah HSPK Kota Surabaya tahun 2020. Hasil perhitungan RAB untuk pembangunan SPAL di SWK Bratang Binangun dapat dilihat pada Tabel 4.48, sementara untuk detail penyusunan RAB SPAL dapat dilihat pada lembar lampiran.

Tabel 4. 48 Total Biaya Pembangunan SPAL

No	Pekerjaan	Biaya Pembangunan
1	Pekerjaan Persiapan	Rp 2.066.000
2	Pekerjaan Galian	Rp 7.844.000
3	Pekerjaan Pengadaan & Penanaman Pipa	Rp 57.540.000
4	Pekerjaan Urugan Pasir & Tanah	Rp 11.291.000
Total		Rp 78.741.000

4.7.2.2 Penyusunan RAB IPAL

Penyusunan RAB untuk pembangunan IPAL dilakukan dengan mengalikan volume pekerjaan dengan nilai HSPK tiap pekerjaannya beserta jumlah aksesoris dan peralatan pendukungnya. HSPK yang digunakan adalah HSPK Kota Surabaya tahun 2020. Hasil perhitungan RAB untuk tiap unit pengolahan yang ada di IPAL dapat dilihat pada Tabel 4.49, sementara untuk detail penyusunan RAB IPAL dapat dilihat pada lembar lampiran.

Tabel 4. 49 Total Biaya Pembangunan IPAL

No	Unit	Biaya Pembangunan
1	Grease Trap	Rp 18.366.000
2	Bak Pengumpul	Rp 9.971.000
3	<i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	Rp 103.757.000
4	<i>Biological Aerated Filter</i>	Rp 29.293.000
5	Bak Pengendap	Rp 17.233.000
6	UV Chamber	Rp 3.670.000
Total		Rp 182.290.000

Untuk detail perhitungan RAB tiap unit pengolahan dapat dilihat pada lembar lampiran.

4.7.2.2 Penyusunan RAB Operasional IPAL

Operasional IPAL terdiri dari 2 aspek utama yakni listrik & pengurasan lumpur. Listrik pada IPAL digunakan sebagai sumber energi bagi Pompa IPAL, Blower udara, dan Lampu UV, dimana ketiga peralatan tersebut merupakan peralatan yang penting bagi operasional IPAL di SWK Bratang Binangun. Rincian biaya operasional IPAL di SWK Bratang Binangun dapat dilihat pada Tabel 4.50 & 4.51.

Tabel 4. 50 Penggunaan Listrik

Bangunan	Peralatan	Jumlah	Daya (kW)	Durasi Operasional (Jam)	Total Penggunaan Listrik (kWh/hari)
Bak Pengumpul	Pompa Grundfos KPC 300A	1	0,35	15	5,25
BAF	Ring Blower Takafan 250 W	1	0,25	24	6
UV Chamber	Lampu UV Submersible Sakkai Pro 35 W	2	0,035	15	1,05
Total					12,3

$$\begin{aligned}
 \text{Harga listrik} &= \text{Rp } 1444,7 / \text{kWh} \\
 \text{Biaya listrik per hari} &= 12,3 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1444,70 / \text{kWh} \\
 &= \text{Rp } 18.000 \\
 \text{Biaya listrik per bulan} &= \text{Rp } 540.000 \\
 \text{Biaya listrik per tahun} &= \text{Rp } 6.480.000
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 51 Volume Pengurasan Lumpur IPAL

Bangunan	Volume Lumpur (m ³)	Frekuensi Pengurasan	Volume Pengurasan (m ³)
<i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	7,13	1	7,13
<i>Biological Aerated Filter</i>	1,09	4	4,35
Bak Pengendap	0,12	4	0,46
Total			11,95

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya Pengurasan} &= \text{Rp } 500.000 / \text{m}^3 \\
 \text{Total Biaya Pengurasan} &= 11,95 \text{ m}^3 \times \text{Rp. } 500.000 \\
 &= \text{Rp } 5.973.000
 \end{aligned}$$

Berdasarkan artikel online Napitoe (2022), Harga untuk sedot WC bervariasi dari Rp 250.000-Rp 600.000. Biaya pengurasan lumpur IPAL sudah termasuk biaya pengangkutan & pembuangan lumpur. Total biaya operasional IPAL setiap tahunnya dapat dilihat pada Tabel 4.52.

Tabel 4.52 Biaya Operasional IPAL

No	Aspek Operasional	Biaya
1	Listrik	Rp 6.480.000
2	Pengurasan Lumpur	Rp 5.973.000
Total		Rp 12.453.000

4.8 Prosedur Pengoperasian dan Pemeliharaan IPAL

Untuk memastikan IPAL yang akan dibangun dapat beroperasi dengan maksimal, maka perlu dilakukan penyusunan SOP sebagai panduan operasional IPAL. SOP dikategorikan dalam 2 bagian yakni SOP Operasional IPAL & SOP Pemeliharaan IPAL.

4.8.1 Prosedur pengoperasian IPAL

SOP Pengoperasian IPAL terdiri dari 2 prosedur, yakni Prosedur Pengoperasian IPAL & Prosedur Monitoring Performa IPAL. Dari 2 prosedur tersebut terdapat 1 Formulir sebagai hasil output kegiatan, Formulir Monitoring Performa IPAL dan 1 Formulir yang digunakan sebagai panduan yakni Formulir Permasalahan IPAL. Dokumen SOP & Formulir terkait dapat dilihat pada lembar lampiran.

4.8.2 Prosedur pemeliharaan IPAL

SOP Pemeliharaan IPAL terdiri dari 3 prosedur, yakni Prosedur Perawatan IPAL, Prosedur Inspeksi IPAL, dan Prosedur Pengurasan Lumpur IPAL. Dari 3 prosedur tersebut, dihasilkan 3 buah Formulir, yakni Formulir Pembersihan Manhole/Bak Kontrol, Formulir Pemeriksaan IPAL, dan Formulir Pengurasan Lumpur IPAL. Dokumen SOP & Formulir terkait dapat dilihat pada lembar lampiran.

BAB V

KESIMPULAN & SARAN

5.1 Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan yang diperoleh dari perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah di SWK Bratang Binangun:

1. Berdasarkan perhitungan, diperoleh IPAL berupa 1 unit Grease Trap (1,65 m x 0,9 m x 2,85 m), 1 Unit Bak Pengumpul (2,71 m x 0,7 m x 1,1 m) 1 Unit ABR dengan 1 Settler (3,3 m x 2,3 m x 3,1 m) dan 4 kompartemen (4,75 m x 1,8 m x 2,8 m), 1 Unit BAF (1,95 m x 1,8 m x 2,8 m), 1 Unit Bak Pengendap (1,9 m x 1,3 m x 2,8 m), dan 1 unit Bak Disinfeksi UV (0,68 m x 0,46 m x 1,45 m)
2. Total panjang pipa penyaluran air limbah di SWK Bratang Binangun sepanjang 148,7 m dengan diameter pipa penyaluran non kakus sebesar 150 mm dan pipa kakus sebesar 200 mm
3. Biaya investasi yang diperlukan untuk membangun IPAL di SWK Bratang Binangun sebesar Rp 182.290.000.
4. Biaya investasi yang diperlukan untuk membangun SPAL di SWK Bratang Binangun sebesar Rp 78.741.000
5. Biaya operasional IPAL yang diperlukan selama satu tahun waktu operasional sebesar Rp 12.453.000
6. Diperlukan pengurasan scum dan lumpur pada unit Grease Trap, ABR, & BAF. Apabila terjadi penurunan efisiensi pengolahan pada unit BAF, maka perlu dilakukan pencucian/regenesari media. Pastikan seluruh sensor & peralatan dapat bekerja dengan baik. Perlu dilakukan penggelontoran secara rutin pada SPAL guna meminimalisir endapan pada pipa.

5.2 Saran

Berikut adalah saran yang dapat digunakan sebagai penyempurnaan bagi penelitian/perencanaan selanjutnya, yaitu:

1. Perlu dilakukan analisis terkait kecukupan alkalinitas dan nutrien dalam air limbah agar proses pengolahan biologis berjalan dengan baik
2. Perlu dilakukan pertimbangan biaya perawatan peralatan mekanis & elektrik pada IPAL
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait karakteristik lumpur yang dihasilkan

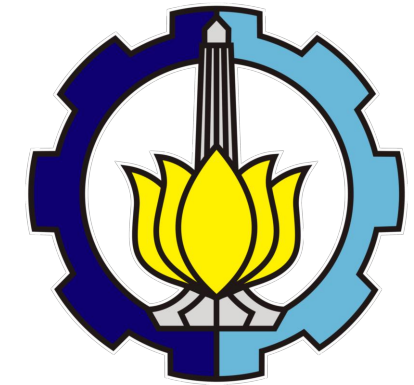
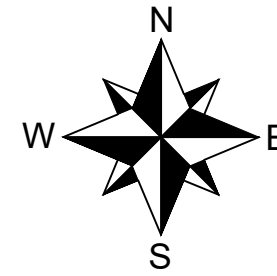
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

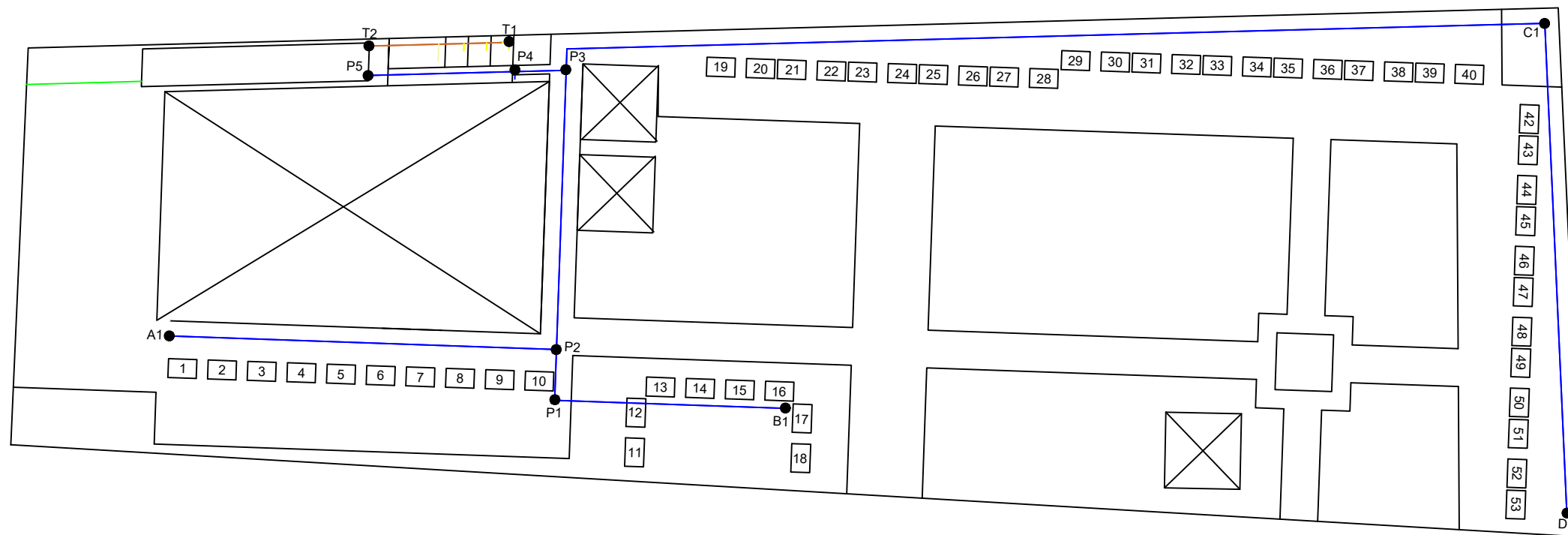
- Adam, A. R., Astuti, U. P., & Setiani, V. (2020). Penentuan alternatif pengolahan instalasi pengolahan air limbah pada restoran. *National Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*, (pp. 184-188).
- Anonymous. (2014). *WSA 02-2014 gravity sewerage code of Australia version 3.1*.
- Barber, W. P., & Stuckey, D. C. (1999). The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment: a review. *Water Research*, 33(7): 1559-1578.
- Bilotta, G., & Brazier, R. (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, 42: 2849-2861.
- Devy, B. L., & R., H. A. (2021). Pengaruh beda potensial dan waktu kontak terhadap penurunan kadar COD dan TSS pada limbah batik menggunakan metode elektrokoagulasi. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 10(2): 63-69.
- Dinas Lingkungan Hidup Pemerintah Kota Surabaya. (2019). *Petunjuk teknis: pengelolaan limbah cair kegiatan perhotelan*.
- Fachrurozi, M., Utami, L. B., & Suryani, D. (2010). Pengaruh variasi biomassa *Pistia Stratiotes* L. terhadap penurunan kadar BOD, COD, dan TSS limbah cair tahu di Dusun Klero Sleman Yogyakarta. *Jurnal KES MAS UAD*, 4(1): 1-15.
- Farahdiba, A. U., Purnomo, Y. S., Sakti, S. N., & Kamal, M. F. (2019). Pengolahan limbah domestik rumah makan dengan proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(1): 65-74.
- Filliazati, M. (2013). Pengolahan limbah cair domestik dengan biofilter aerob menggunakan media bioball dan tanaman kiambang. *Jurnal Teknologi Lingkungan dan Lahan Basah*.
- Foxon, K., Pillay, S., Lalbahadur, T., Rodda, N., Holder, F., & Buckley, C. (2007). The anaerobic baffled reactor (ABR): An appropriate technology for on-site sanitation. *Water SA*, 30(5): 44-50.
- Gutterer, B., Sasse, L., Panzerbieter, T., & Reckerzugel, T. (2009). *Decentralised wastewater treatment systems (DEWATS) and sanitation in developing countries*.
- Hahn, M., & Figueroa, L. (2015). Pilot scale application of anaerobic baffled reactor for biologically enhanced primary treatment of raw municipal wastewater. *Water Research*, 87: 494-502.
- Houndedjihou, D., Kodom, T., Wolff, D., Marchioro, L., Formentini, T., Bawa, L., & Djaneye-Boundjou, G. (2021). Pollutants removal in sewage wastewater efficiency and kinetic of ammonia nitrogen removal through subsurface vertical flow constructed wetland (SSVFCW). *International Research Journal of Pure & Applied Chemistry*.
- Hu, Z., & Grasso, D. (2005). Chemical oxygen demand. *Water Analysis*, 325-330.
- Jaelani, M. H., Arifin, & Apriani, I. (2021). Pengolahan limbah cair rumah makan menggunakan pengendapan dan sub-surface constructed wetland dalam menurunkan konsentrasi BOD dan TSS. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Tropis*, 5(1).
- Ji, G., Sun, T., Ni, J., & Tong, J. (2009). Anaerobic baffled reactor (ABR) for treating heavy oil produced water with high concentrations of salt and poor nutrient. *Bioresource Technology*, 100: 1108-1114.
- Juliasih, N. G., & Amha, R. F. (2019). Analisis COD, DO, kandungan posfat dan nitrogen limbah cair tapioka. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 4(1): 65-72.
- Kementerian PUPR. (2018). *Pedoman perencanaan teknik terinci sistem pengelolaan air limbah domestik terpusat (SPALD-T) buku A*.
- Kementerian PUPR. (2018). *Pedoman perencanaan teknik terinci sistem pengelolaan air limbah domestik terpusat (SPALD-T) buku B*.

- Kim, M., Jeong, S.-Y., Yoon, S., Cho, S., Kim, Y., Kim, M., . . . Lee, S.-J. (2008). Aerobic denitrification of *Pseudomonas putida* AD-21 at different C/N ratios. *J Biosci Bioeng*, 106(5):498-502.
- Napitoe. (2022). *10 Jasa sedot wc profesional harga murah meriah di daerah Kota Surabaya, tarif mulai dari 50 ribu saja*. Retrieved from Jejakpiknik.com: <https://jejakpiknik.com/sedot-wc-surabaya/>
- Orange County Sanitation District. (2010). *Design guidelines for grease interceptors*.
- Prakoso, D., & Tangahu, B. (2016). Desain IPAL komunal limbah domestik perumahan sukolilo regency dengan teknologi constructed wetland. *Simposium I Jaringan Perguruan Tinggi untuk Pembangunan Infrastruktur Indonesia*.
- Purnawan, Warisaura, A. D., & Setyaningrum, A. (2018). Pengolahan limbah cair rumah makan dengan sistem kombinasi presipitasi-aerobic biofilter. *Jurnal Teknologi Technoscintia*, 11(1): 47-53.
- Qasim, S., & Zhu, G. (2018). *Wastewater treatment and reuse: theory and design examples*.
- Said, & Idaman, N. (2018). Teknologi biofilter anaerob-aerob untuk pengolahan air limbah domestik (perkantoran, rumah sakit, hotel, dan domestik industri). *Prosiding Seminar Nasional dan Konsultasi Teknologi Lingkungan*, (pp. 99-108).
- Salmin. (2005). Oksigen terlarut (DO) dan kebutuhan oksigen biologi (BOD) sebagai salah satu indikator untuk menentukan kualitas perairan. *Oseana*, 30(3): 21-26.
- Serrano, E., & Salgado, E. R. (2016). *Articles & Presentations*. Retrieved from Surcis: multifunctional respirometry system: www.surcis.com
- Seto, A. N., Dewi, T. U., & Afiuddin, A. E. (2020). Alternatif pengolahan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) grey water di perusahaan plastik untuk pengemasan. *National Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*, (pp. 139-143).
- Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., Burton, F., Abu-Orf, M., Bowden, G., & Pfrang, W. (2014). *Wastewater engineering: treatment and resource recovery (5th ed)*.
- Urzola, M. E., Sierra, N. R., Cabarcas, L. S., Martinez, D. V., & Bolanos, E. Q. (2019). Oil and grease as a water quality index parameter for the conservation of marine biota. *Water*, 11(4): 856.
- Winarti, C. (2020). Penurunan bakteri total coliform pada air limbah rumah sakit terhadap pengaruh lama waktu penyinaran dengan sinar ultra violet. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Vol. 20*, 1: 52-57.
- Wisesa, D., & Slamet, A. (2016). Perencanaan instalasi pengolahan air limbah rumah susun tanah merah surabaya. *Jurnal Teknik ITS*.
- Xu, Y., He, T., Li, Z., Ye, Q., Chen, Y., Xie, E., & Zhang, X. (2017). Nitrogen removal characteristics of *Pseudomonas putida* Y-9 capable of heterotrophic nitrification and aerobic denitrification at low temperature. *BioMed Research International* .
- Zaharah, T. A., Nurlina, & Moelyani, R. E. (2017). Reduksi minyak, lemak, dan bahan organik limbah rumah makan menggunakan grease trap termodifikasi karbon aktif. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan*, 1(3): 25-32.
- Zahra, L. Z., & Purwanti, I. F. (2013). Pengolahan limbah rumah makan dengan proses biofilter aerobik. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1).

**LAMPIRAN A: GAMBAR DED BANGUNAN IPAL & PIPA PENYALURAN AIR
LIMBAH**



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

DENAH & JARINGAN PENYALURAN AIR
 LIMBAH SWK BRATANG BINANGUN

LEGENDA

- Pipa SPAL Non Kaku
- Pipa SPAL Kaku
- Pipa Efluen

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

DOSEN PEMBIMBING

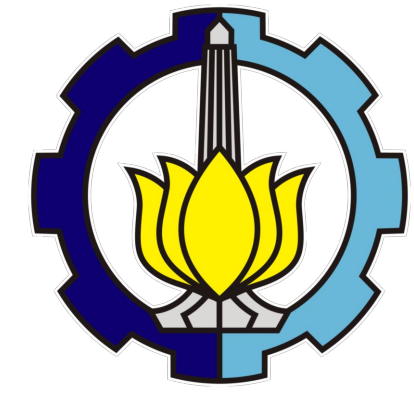
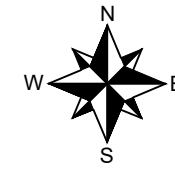
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

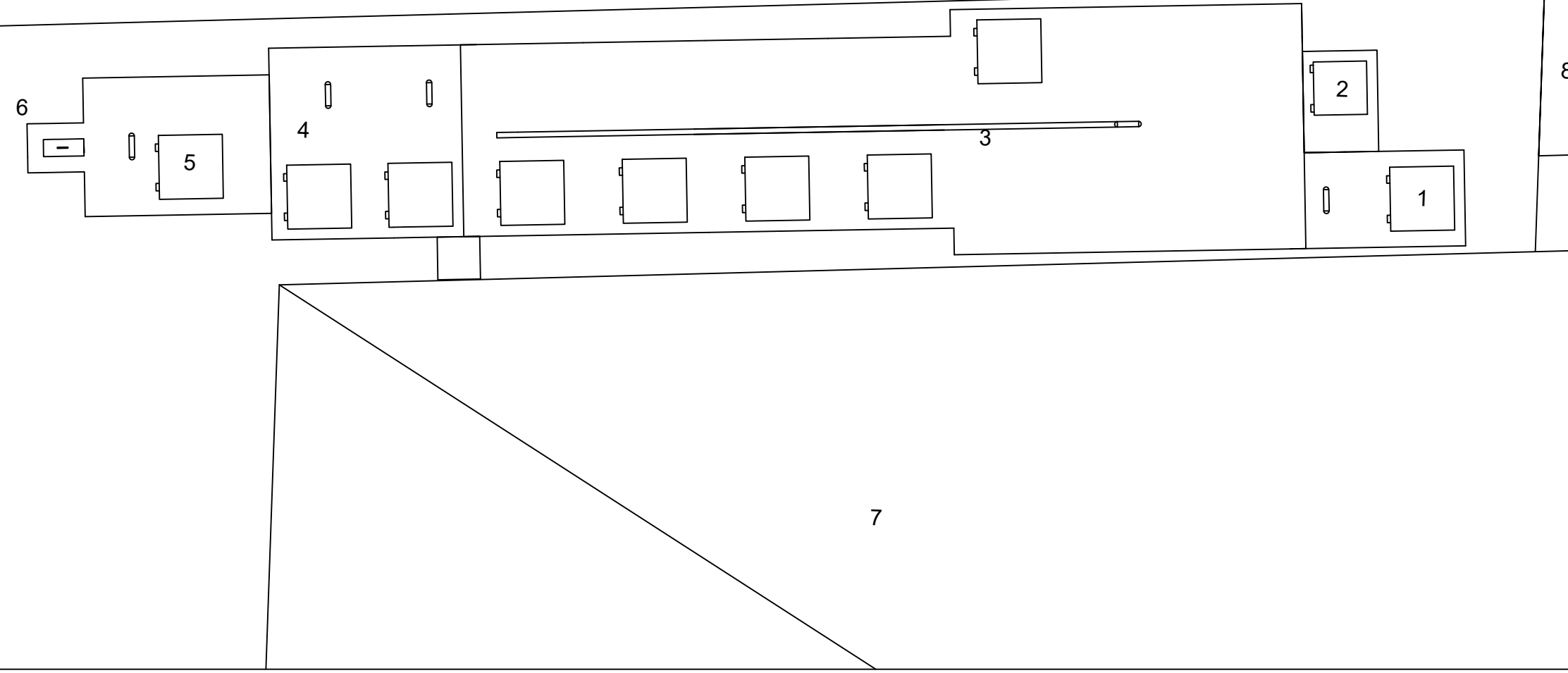
1 : 300

HALAMAN

01



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER, SURABAYA
2022



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

LAYOUT INSTALASI PENGOLAHAN AIR
LIMBAH SWK BRATANG BINANGUN

LEGENDA

Keterangan:

1. Unit Grease Trap
2. Unit Bak Pengumpul
3. Unit Anaerobic Baffled Reactor
4. Unit Biological Aerated Filter
5. Unit Bak Pengendap
6. Unit Disinfeksi UV
7. Sentra Jahit & Permak Jeans
8. Toilet SWK

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
0321184000062

DOSEN PEMBIMBING

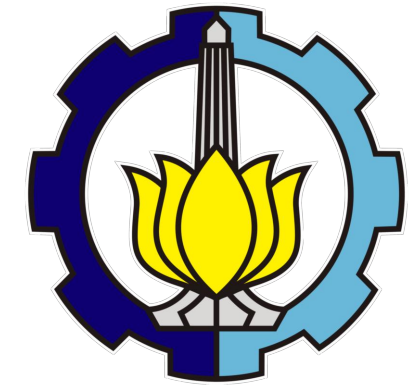
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

1 : 50

HALAMAN

02



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022

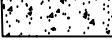


JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

DENAH & POTONGAN
 UNIT GREASE TRAP

LEGENDA

-  Beton
-  Muka Tanah
-  Muka Air

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

DOSEN PEMBIMBING

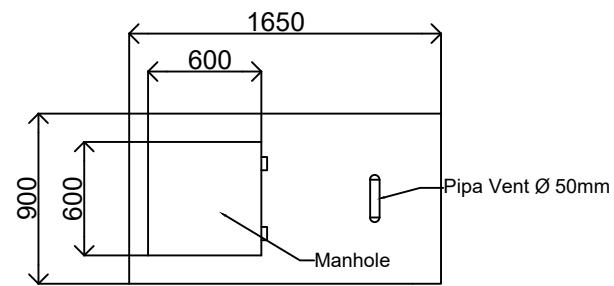
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

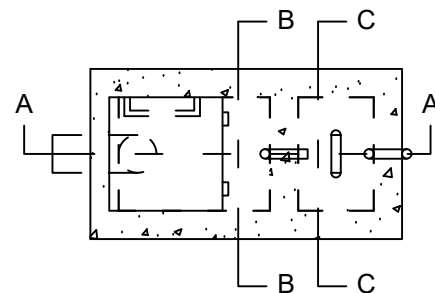
1 : 40

TOTAL HALAMAN

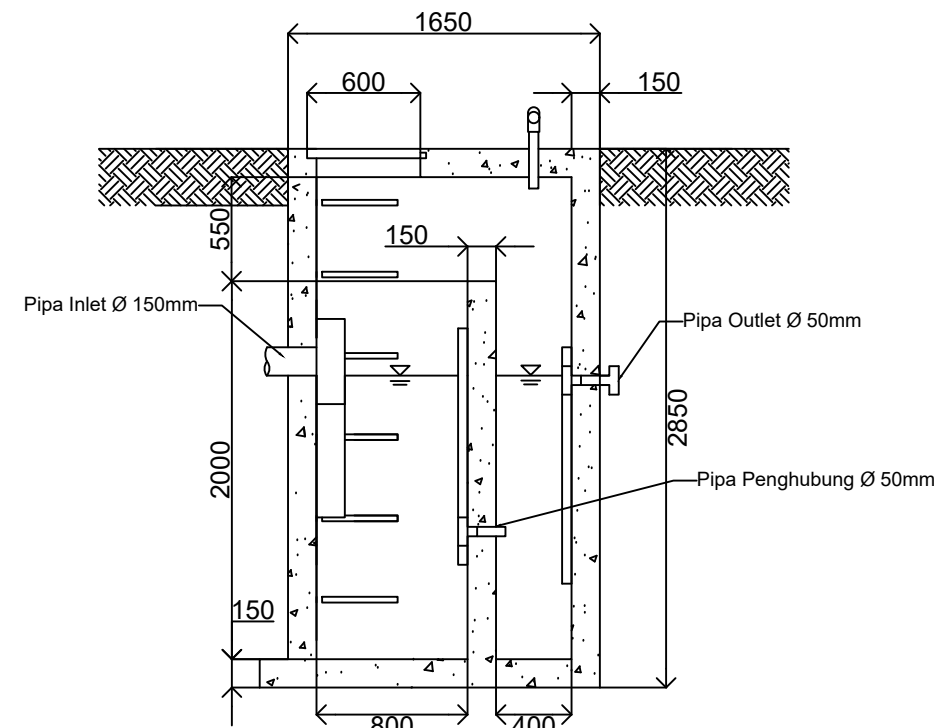
03



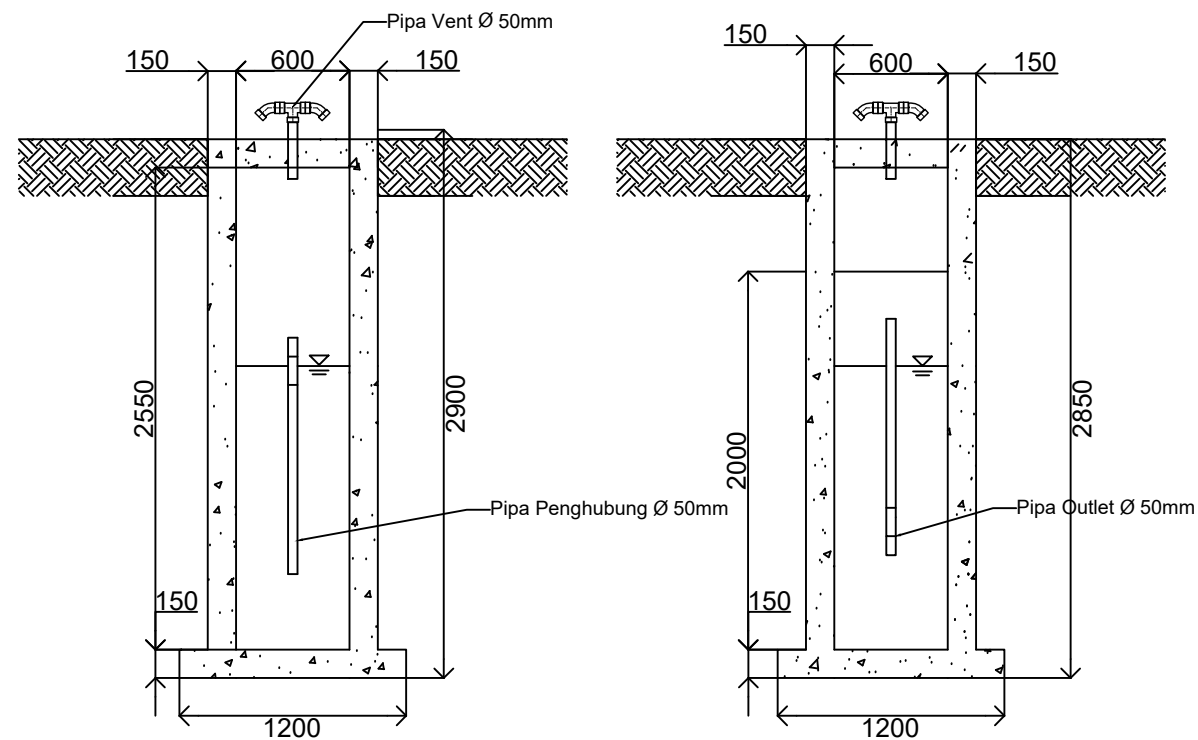
DENAH GREASE TRAP
 SKALA 1 : 40



DENAH INSTALASI PIPA GREASE TRAP
 SKALA 1 : 40

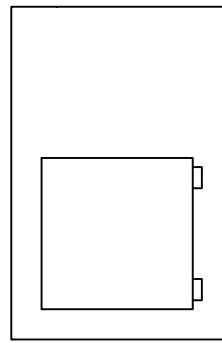


Potongan A-A

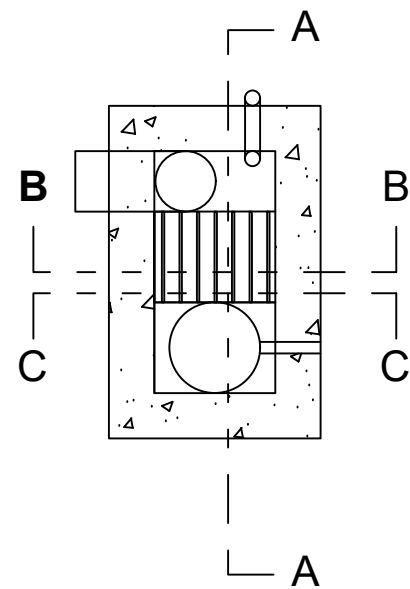


Potongan B-B

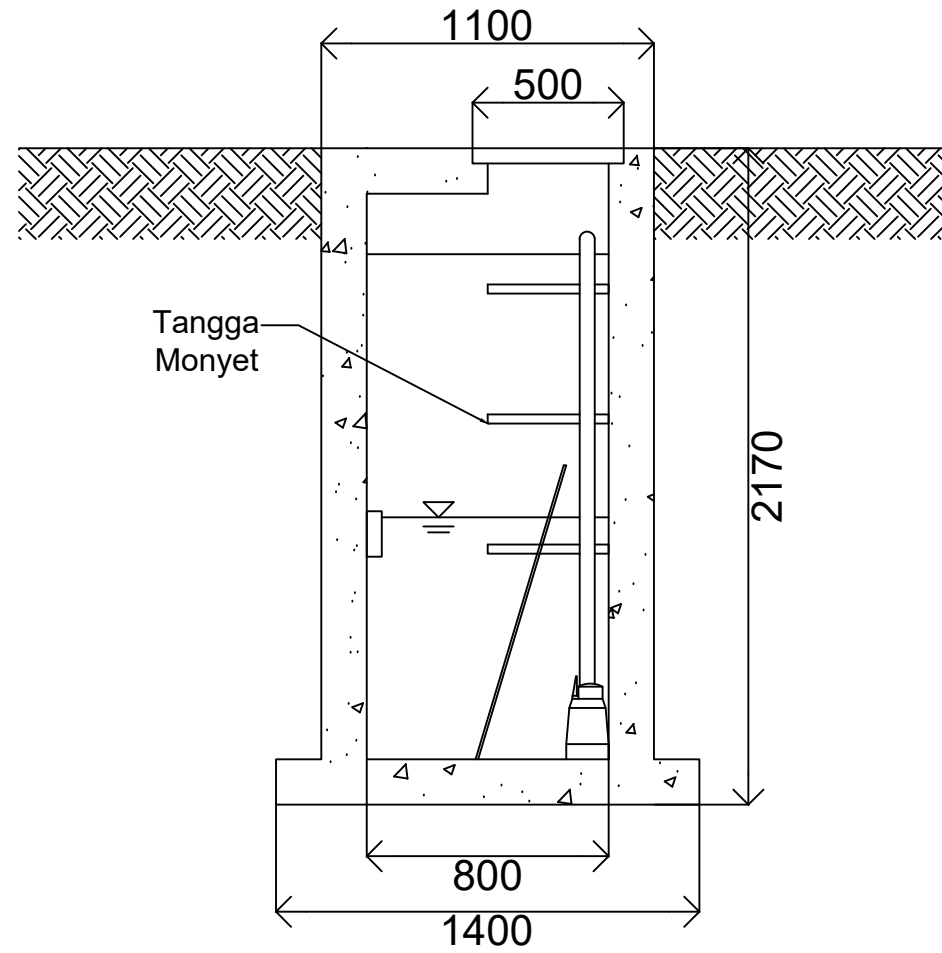
Potongan C-C



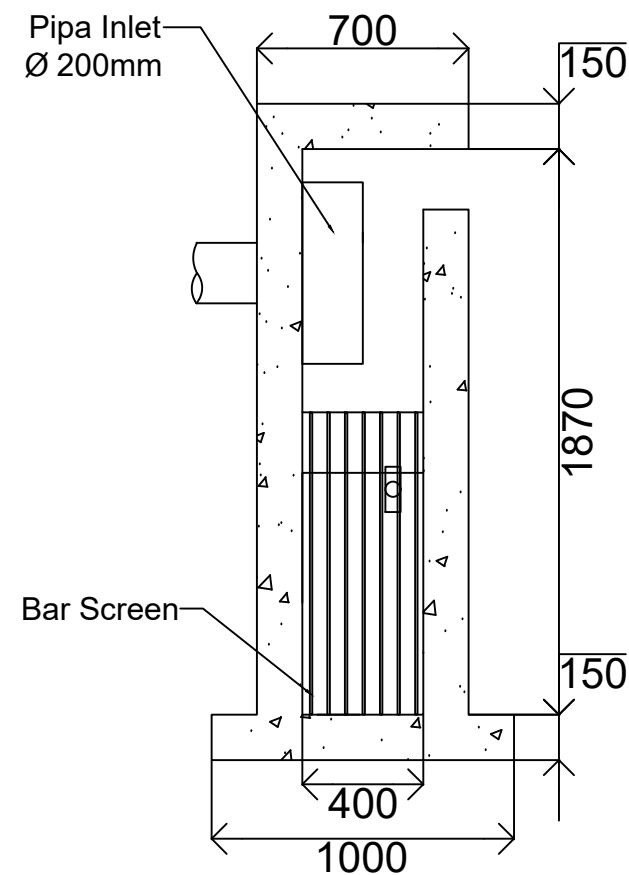
DENAH BAK PENGUMPUL



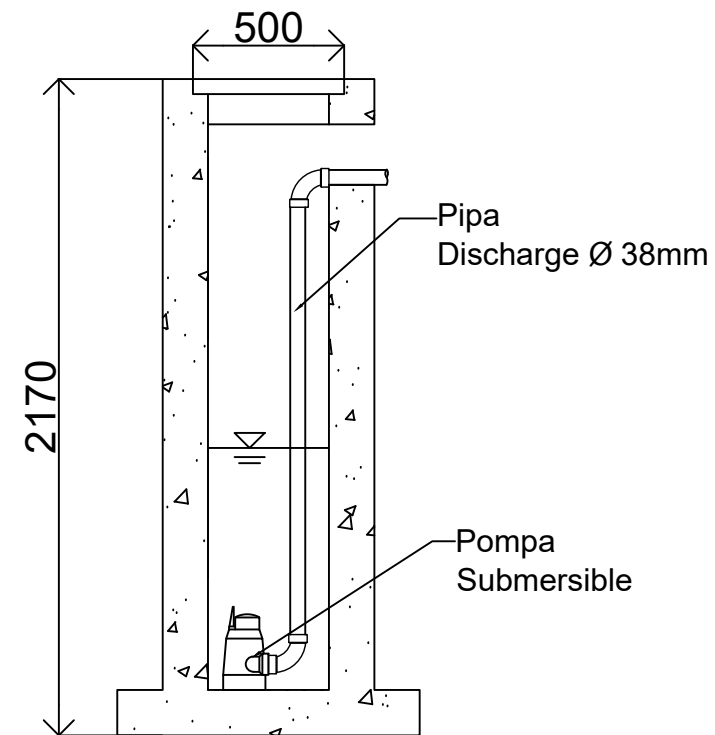
DENAH INSTALASI BAK PENGUMPUL



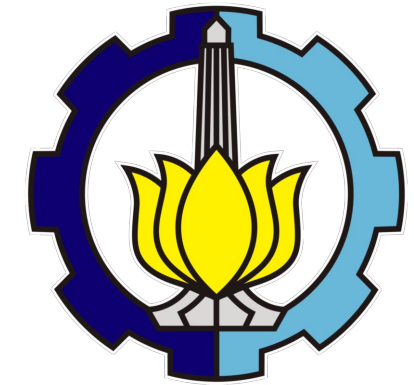
Potongan A-A



Potongan B-B



Potongan C-C



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022




JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

DENAH & POTONGAN
 UNIT BAK PENGUMPUL

LEGENDA

-  Beton
-  Muka Tanah
-  Muka Air

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

DOSEN PEMBIMBING

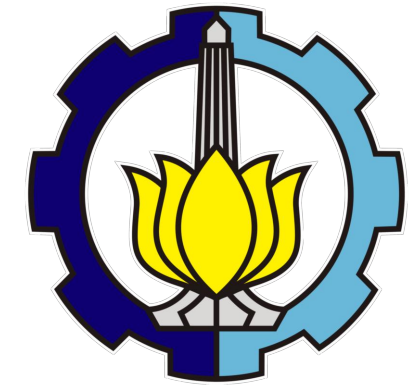
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

1 : 25

HALAMAN

04



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER, SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

DENAH & INSTALASI SETTLER ABR

LEGENDA

 Beton

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
0321184000062

DOSEN PEMBIMBING

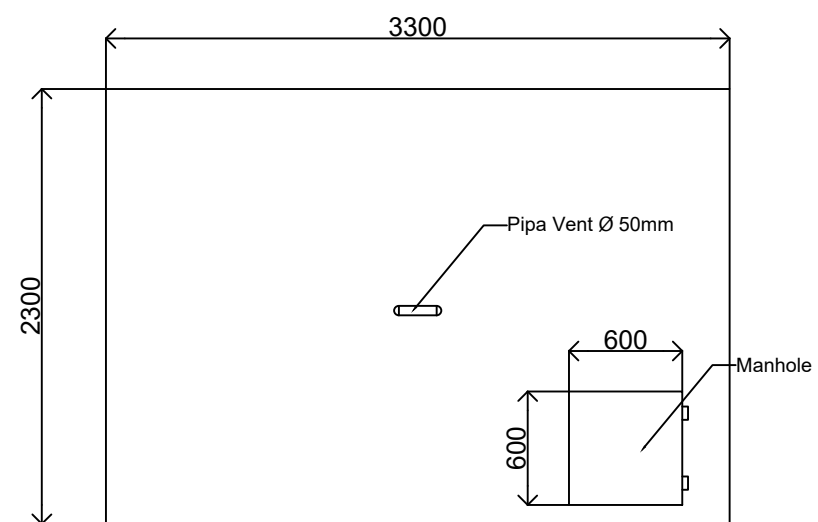
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

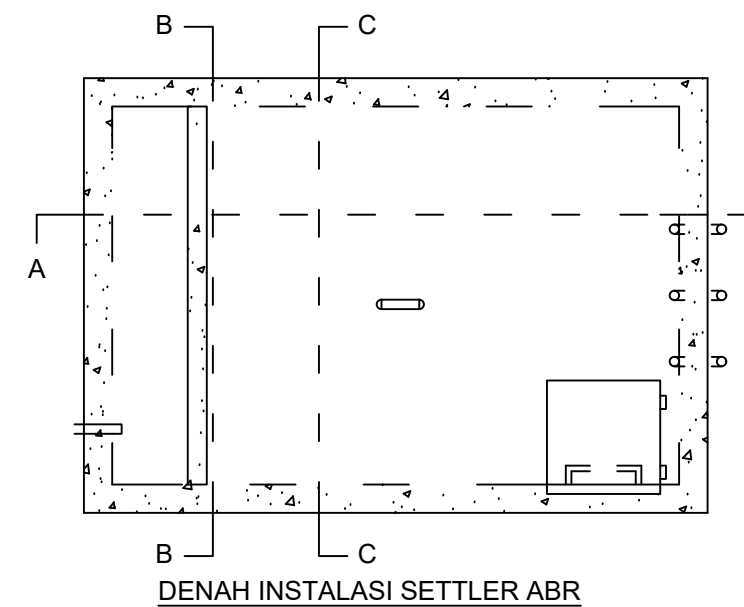
1 : 40

HALAMAN

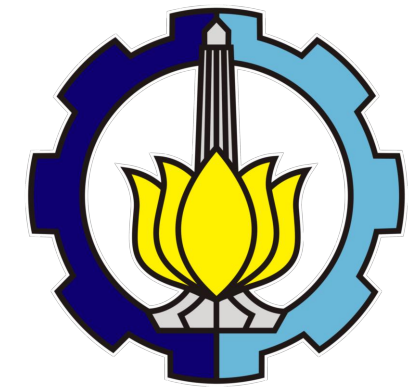
05



DENAH SETTLER ABR



DENAH INSTALASI SETTLER ABR



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022




JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

POTONGAN & DETAIL SETTLER ABR

LEGENDA

-  Beton
-  Muka Tanah
-  Muka Air

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

DOSEN PEMBIMBING

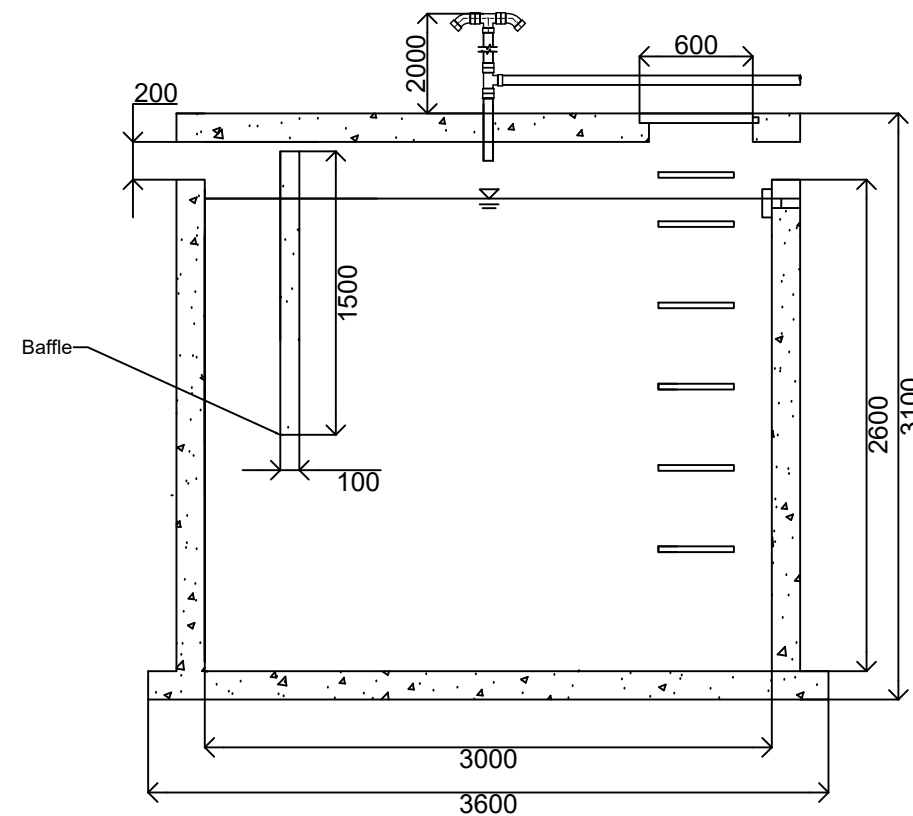
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

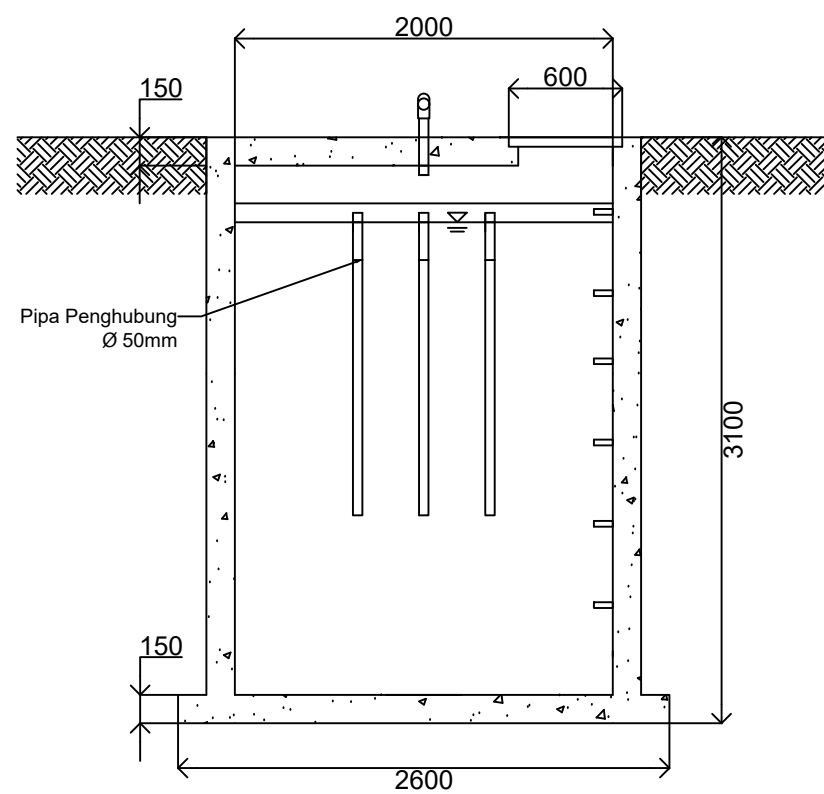
1 : 40

HALAMAN

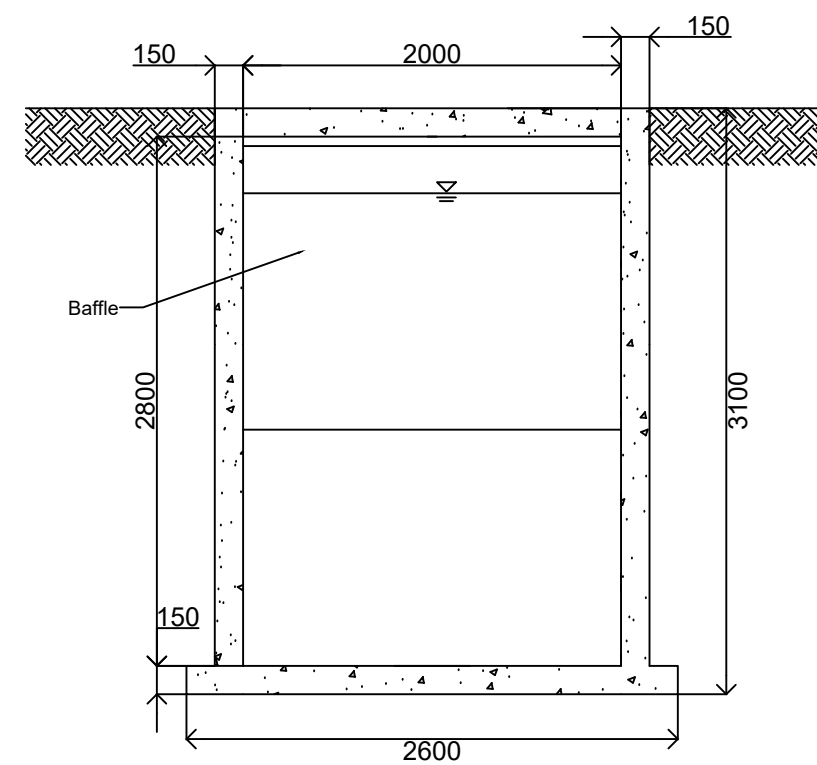
06



Potongan A-A



Potongan C-C



Potongan B-B



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER, SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

DENAH & INSTALASI KOMPARTEMEN
ABR

LEGENDA

 Beton

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
0321184000062

DOSEN PEMBIMBING

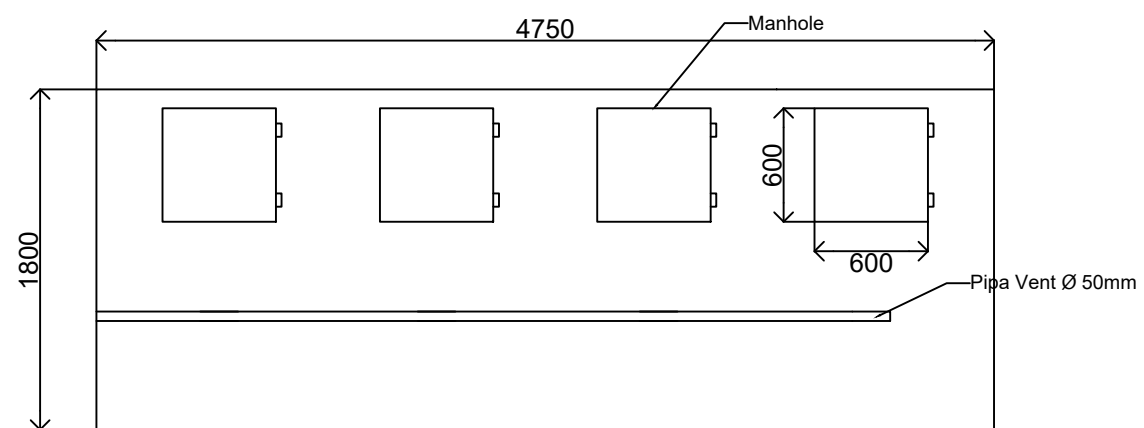
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

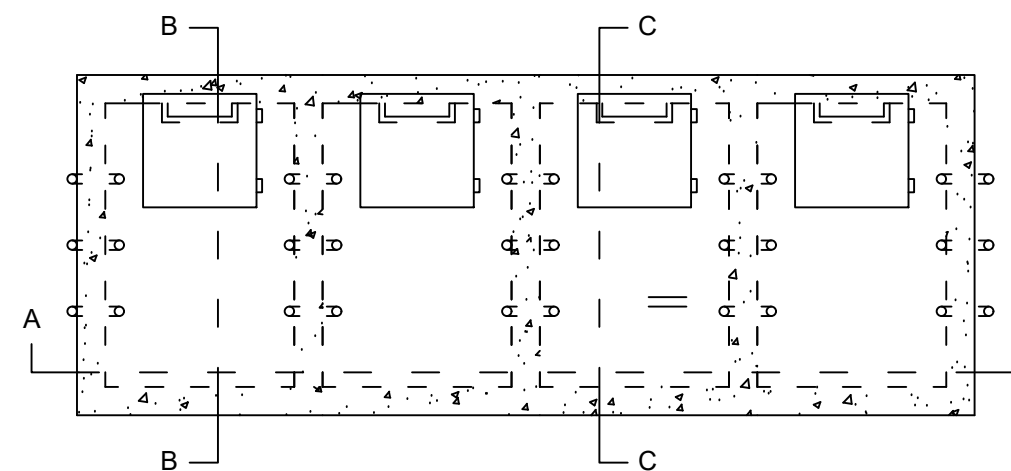
1 : 40

HALAMAN

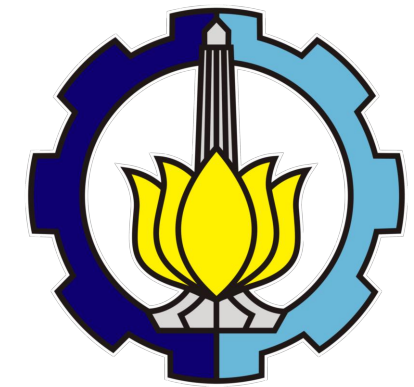
07



DENAH KOMPARTEMEN ABR



DENAH INSTALASI KOMPARTEMEN ABR



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022




JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

POTONGAN & DETAIL KOMPARTEMEN
 ABR

LEGENDA

-  Beton
-  Muka Tanah
-  Muka Air

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

DOSEN PEMBIMBING

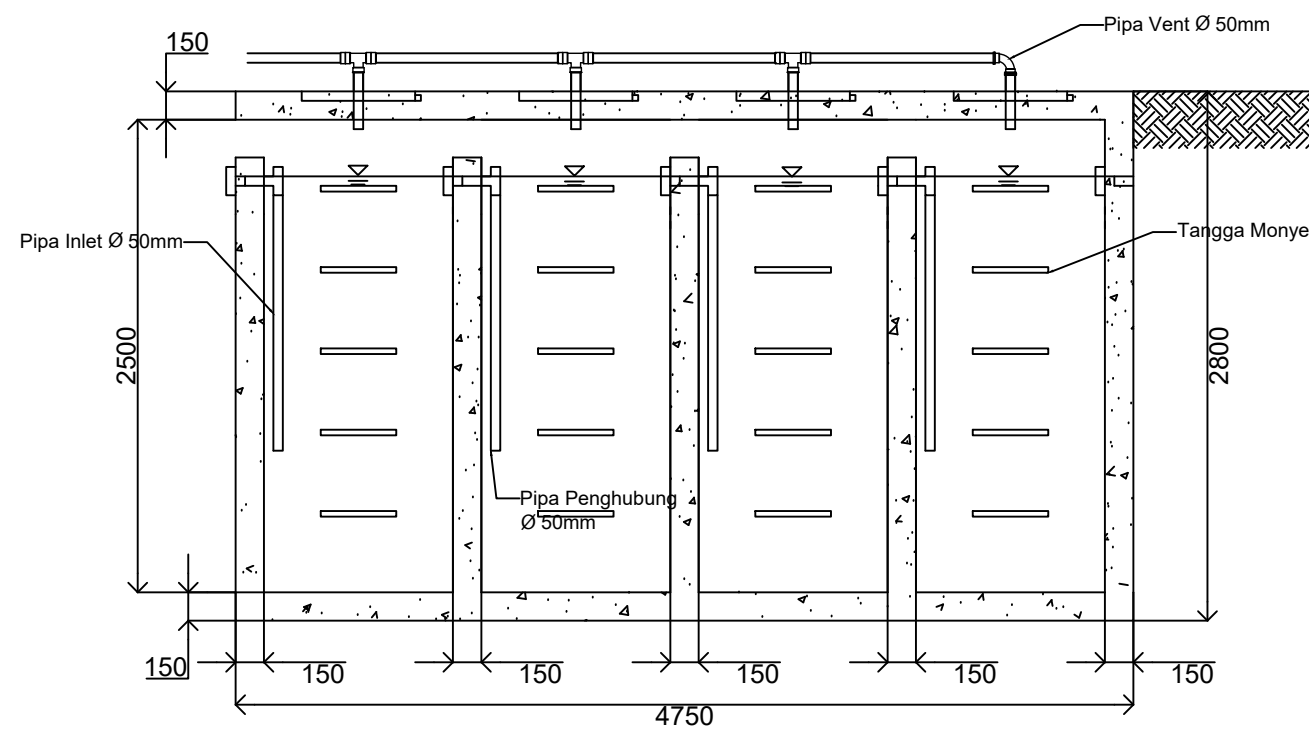
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

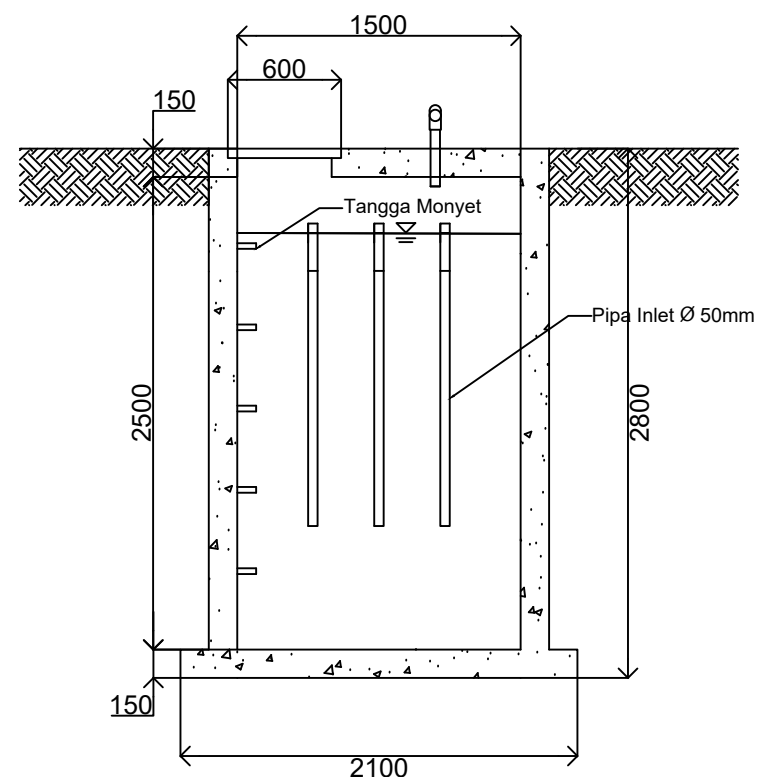
1 : 40

HALAMAN

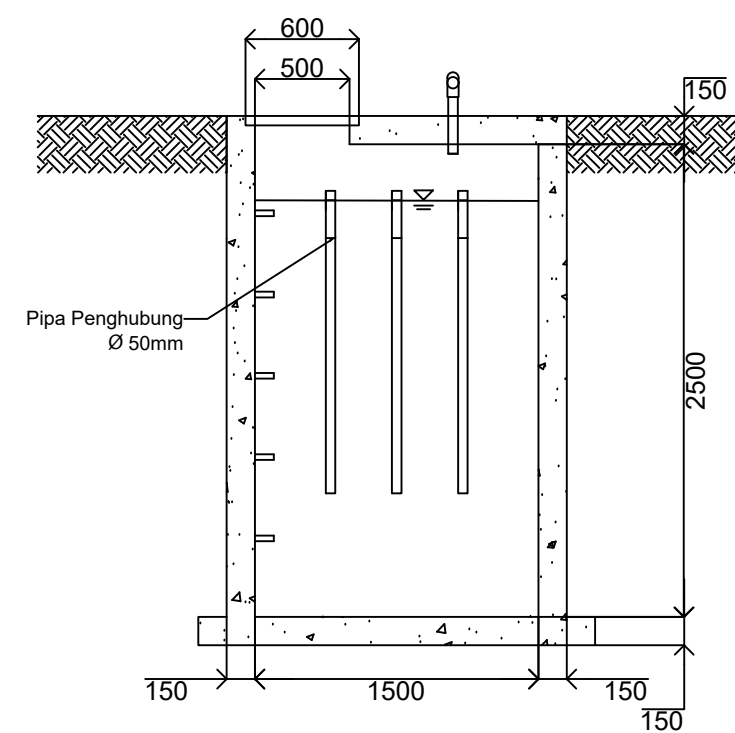
08



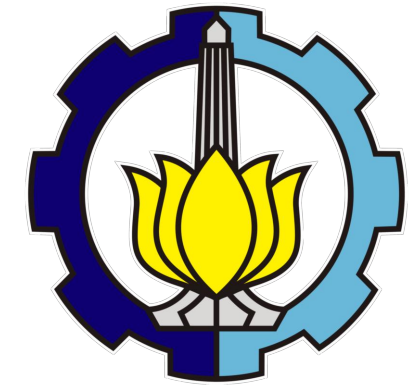
Potongan A-A



Potongan B-B



Potongan C-C



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

DENAH & INSTALASI BAF

LEGENDA

 Beton

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

DOSEN PEMBIMBING

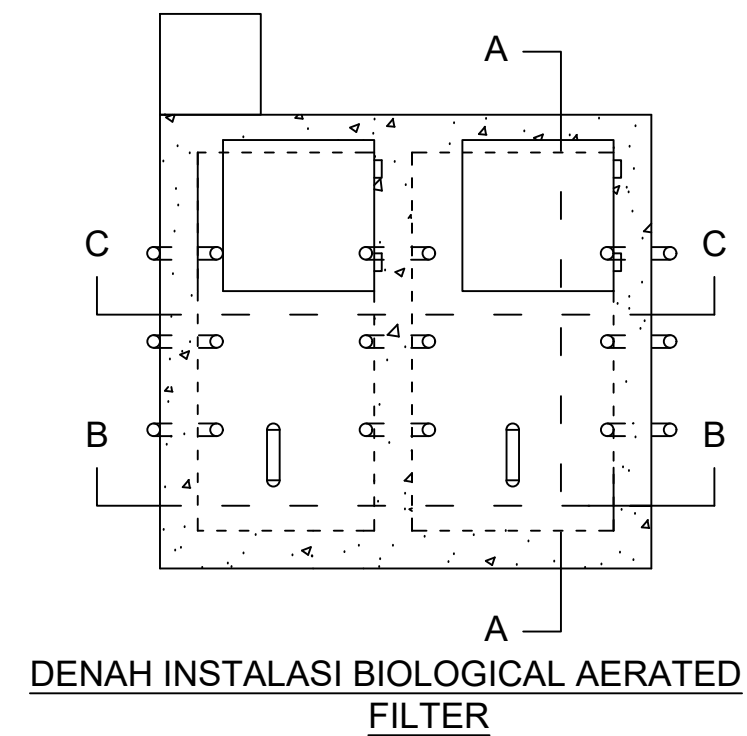
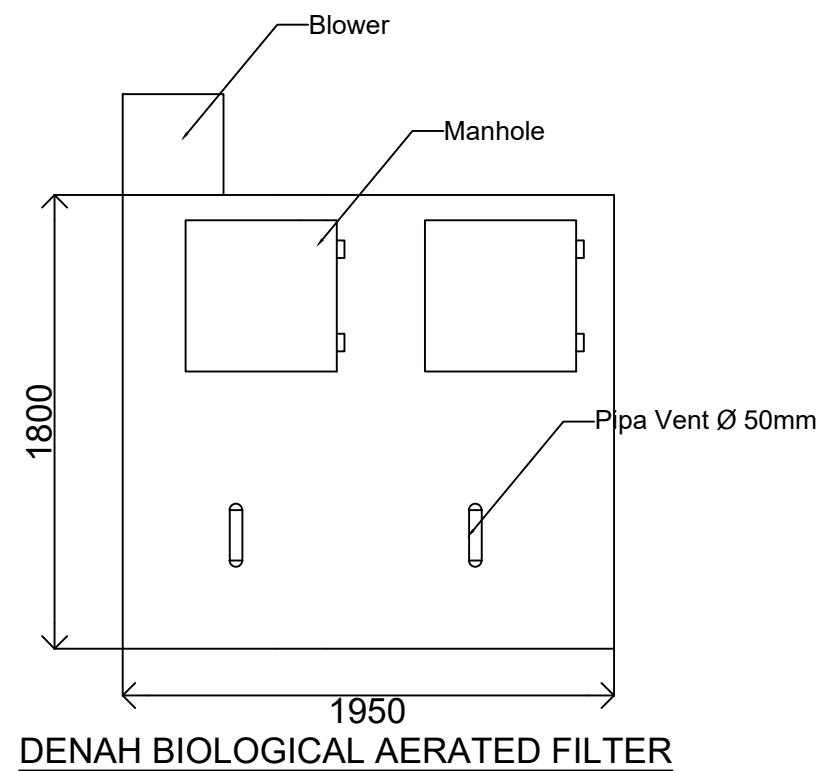
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

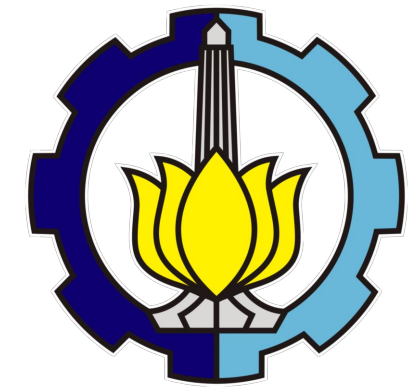
SKALA

1 : 30

HALAMAN

09





DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022

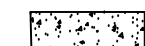


JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

POTONGAN & DETAIL BAF

LEGENDA

-  Beton
-  Muka Tanah
-  Muka Air

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

DOSEN PEMBIMBING

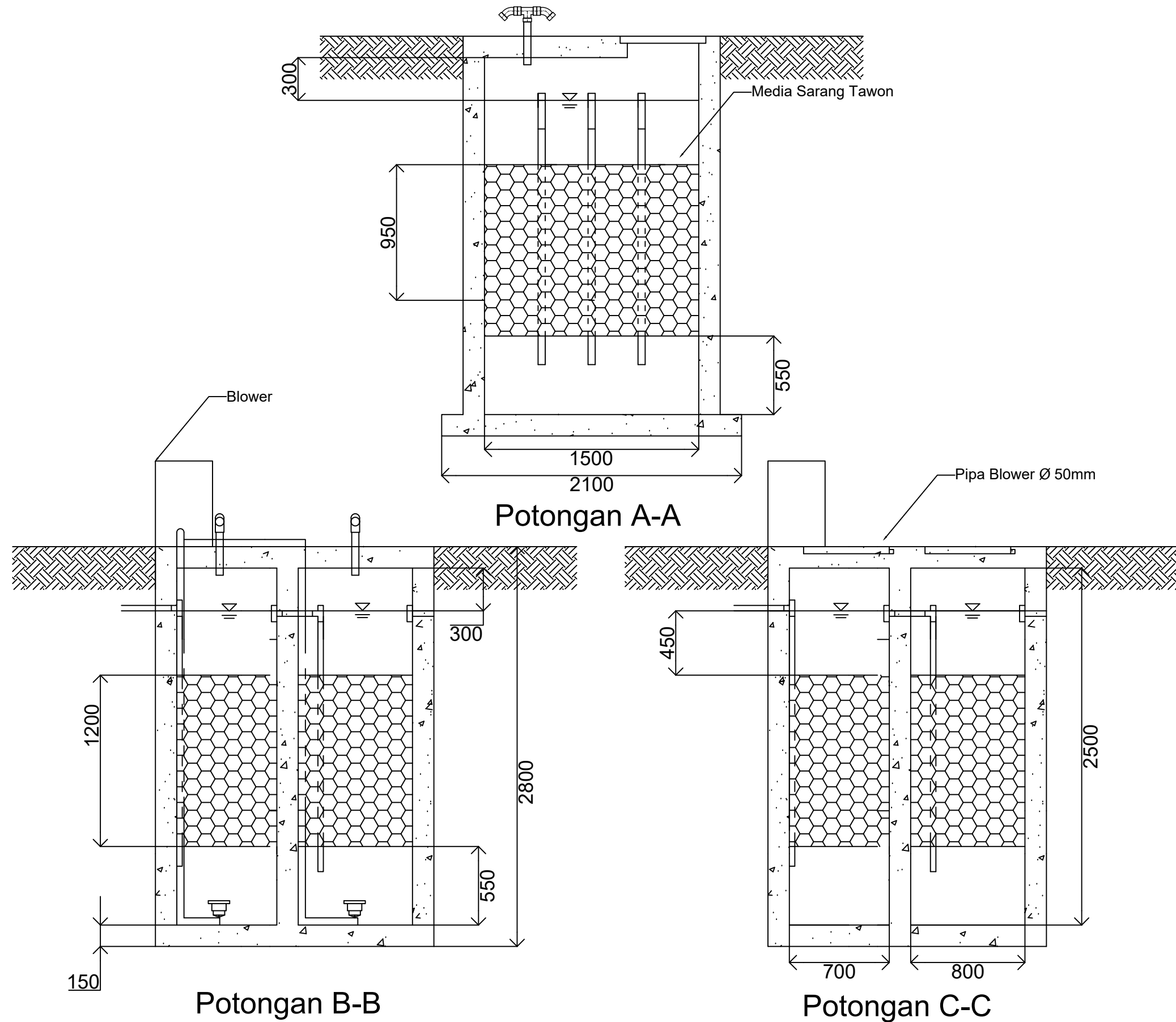
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

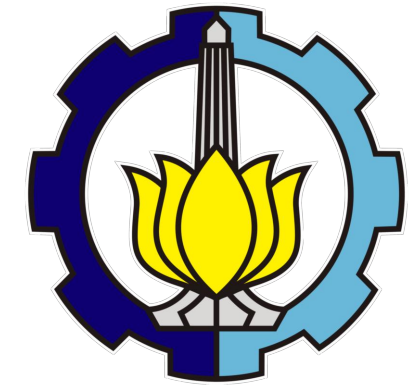
SKALA

1 : 30

HALAMAN

10





DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER, SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

DENAH & INSTALASI BAK PENGENDAP

LEGENDA

 Beton

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
0321184000062

DOSEN PEMBIMBING

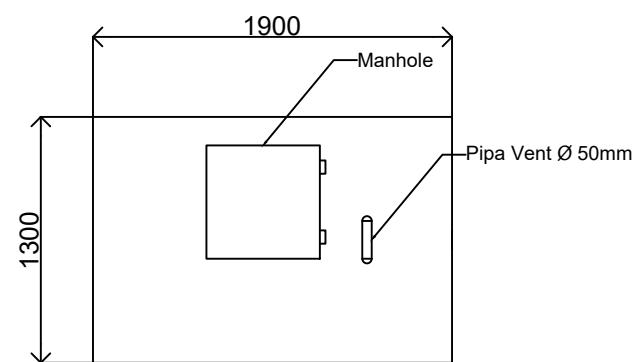
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

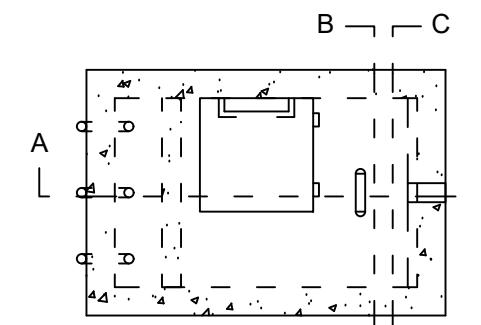
1 : 40

HALAMAN

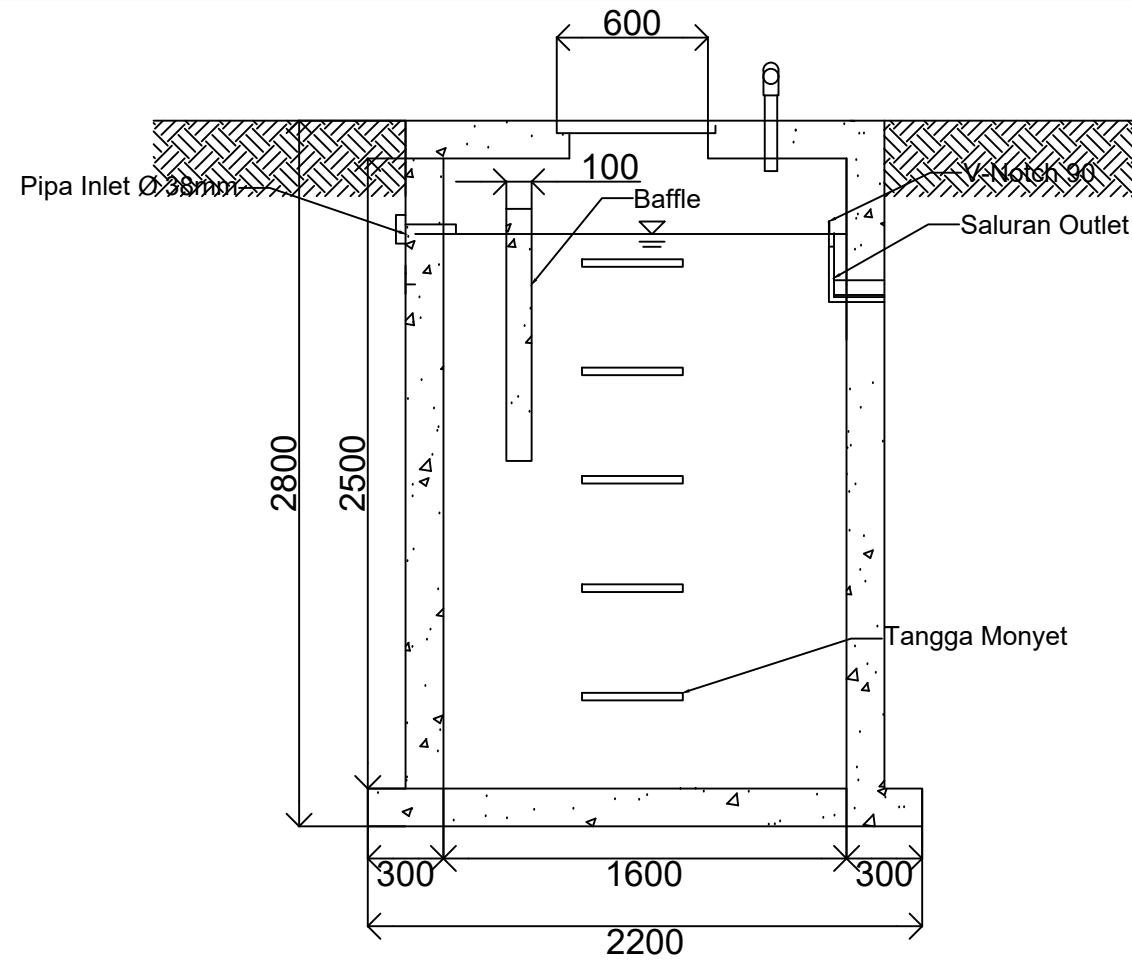
11



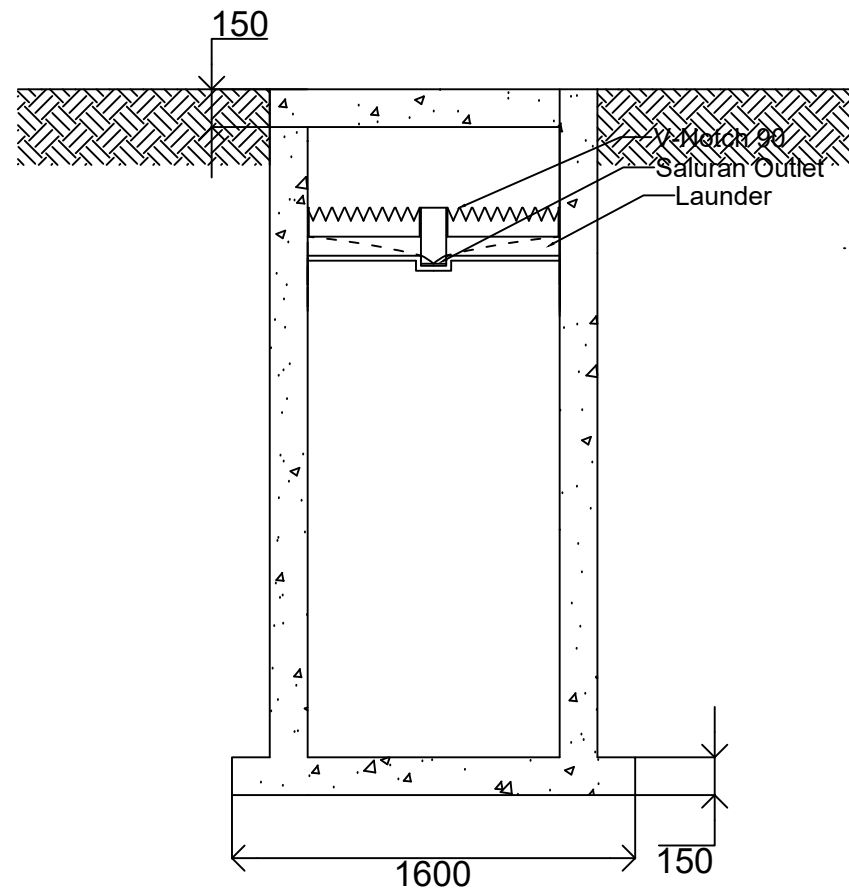
DENAH BAK PENGENDAP



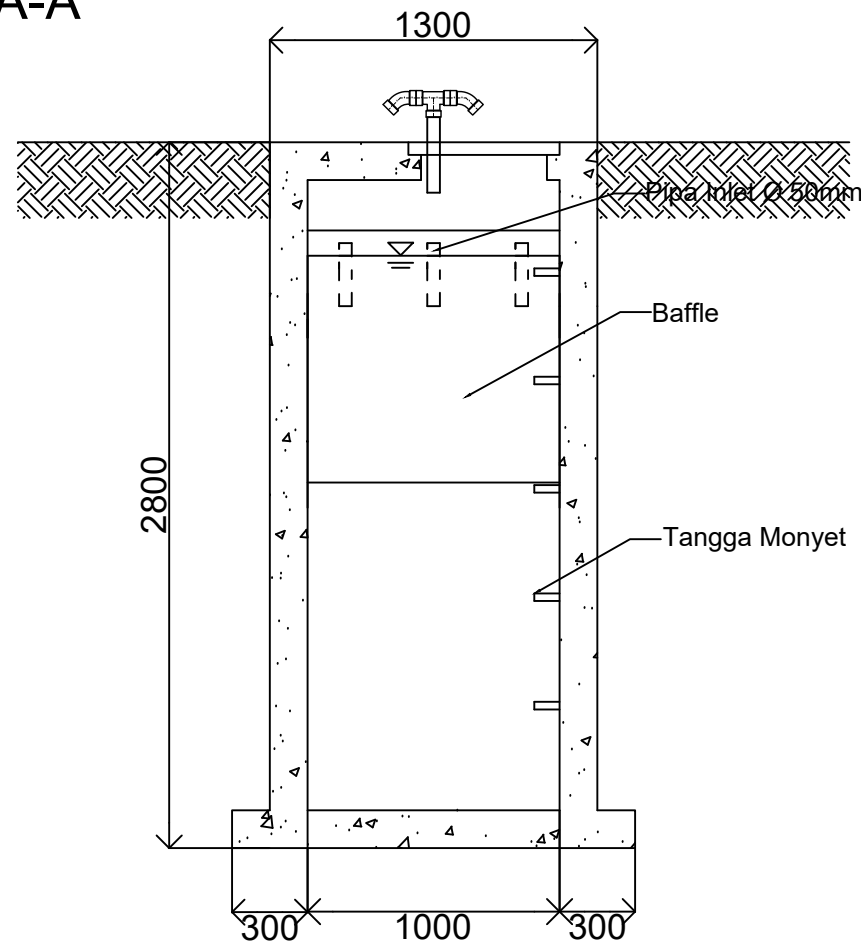
DENAH INSTALASI BAK PENGENDAP



Potongan A-A



Potongan C-C



Potongan B-B



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022




JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

POTONGAN & DETAIL BAK PENGENDAP

LEGENDA

-  Beton
-  Muka Tanah
-  Muka Air

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

DOSEN PEMBIMBING

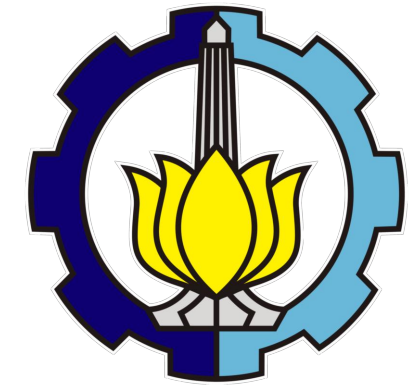
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

1 : 40

HALAMAN

12



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022




JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

DENAH & POTONGAN
 UNIT BAK DISINFEKSI UV

LEGENDA

-  Beton
-  Muka Tanah
-  Muka Air

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

DOSEN PEMBIMBING

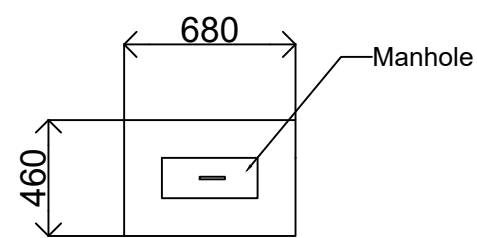
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

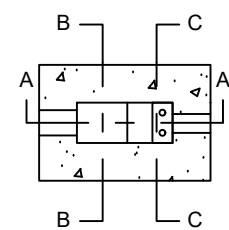
1 : 30

HALAMAN

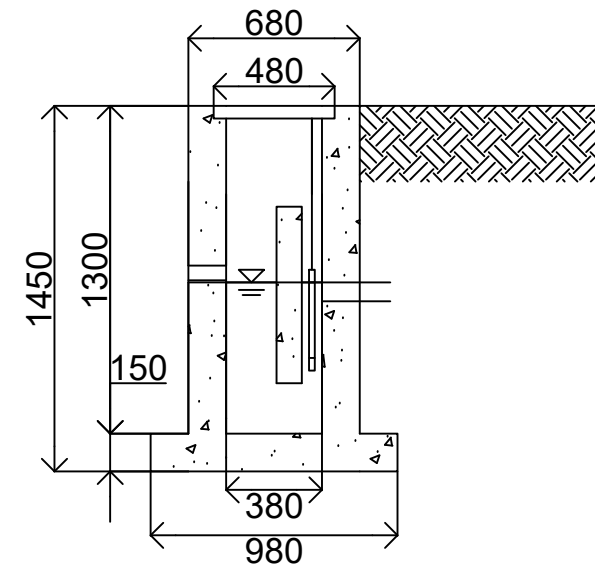
13



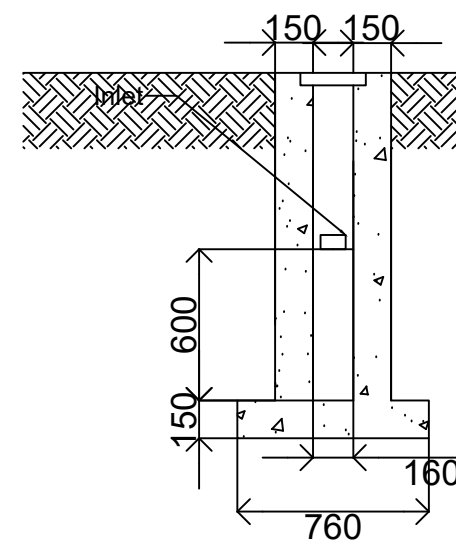
DENAH BAK DISINFEKSI UV



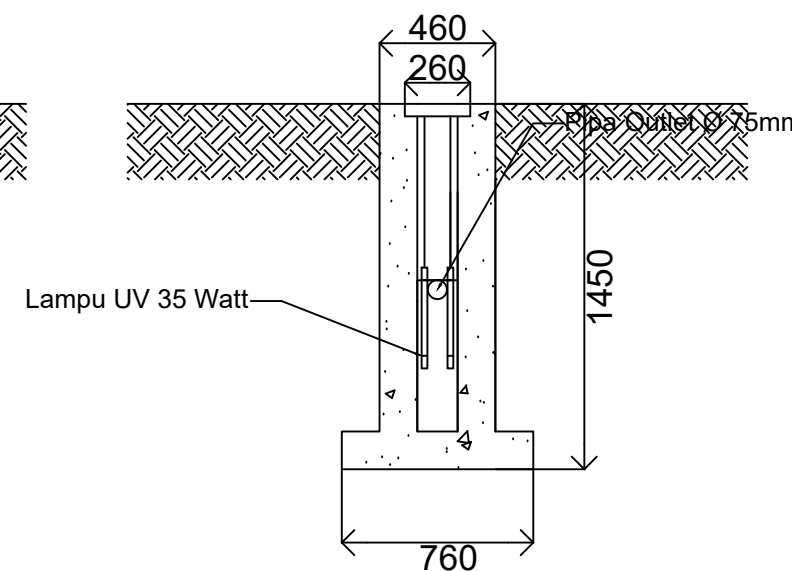
DENAH INSTALASI BAK
 DISINFEKSI UV



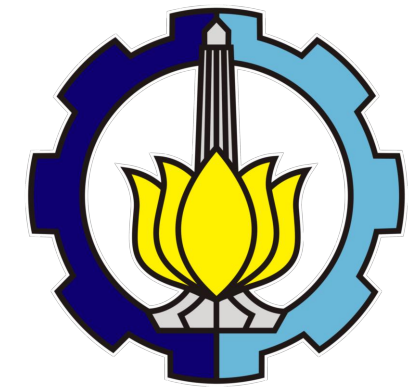
Potongan A-A



Potongan B-B



Potongan C-C



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022


JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

DENAH & PROFIL HIDROLIS IPAL

LEGENDA

-  Muka Tanah
-  Muka Air

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

DOSEN PEMBIMBING

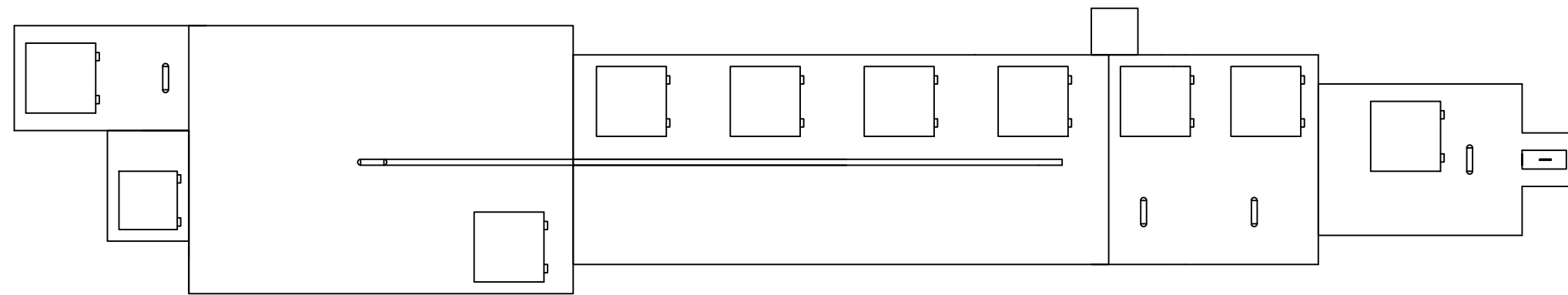
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

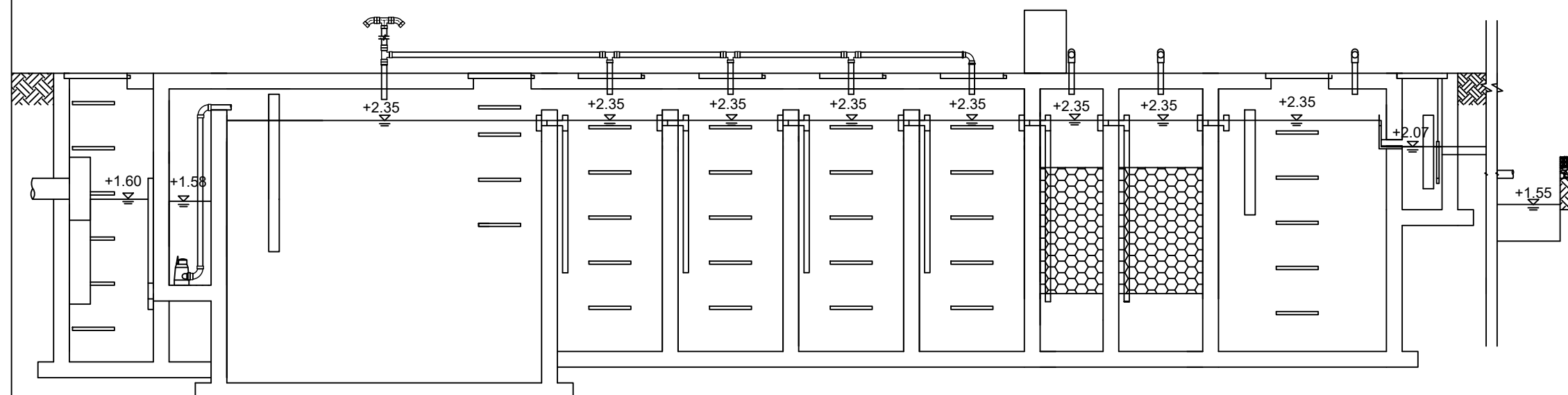
1 : 50

HALAMAN

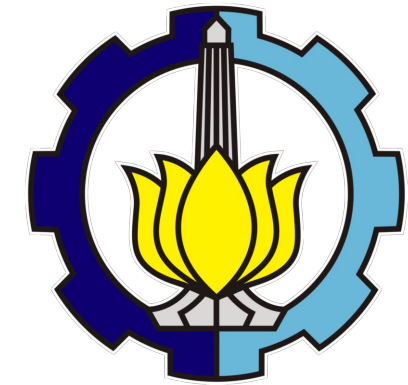
14



DENAH INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
 SWK BRATANG BINANGUN, SURABAYA



PROFIL HIDROLIS INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
 SWK BRATANG BINANGUN, SURABAYA



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

PENANAMAN PIPA JALUR B1 - P1

LEGENDA

 Muka Tanah

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

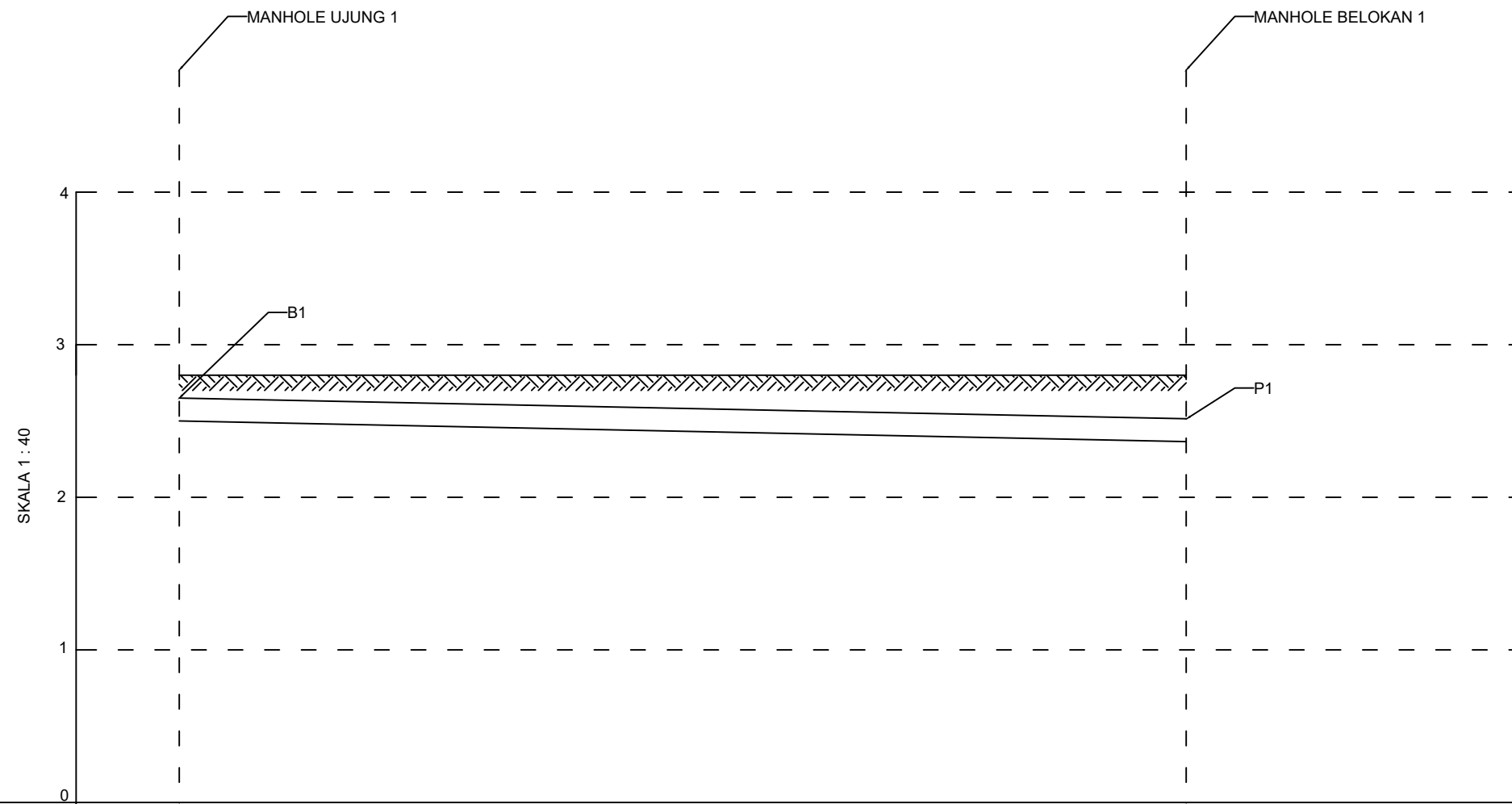
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

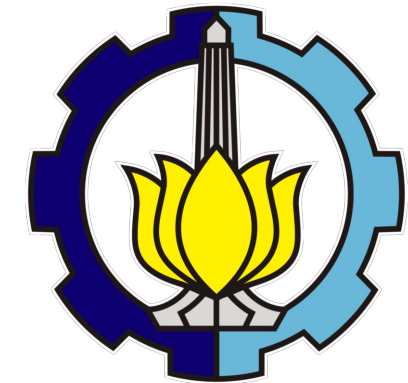
HALAMAN

15



ELEVASI TANAH (m)	2.8	2.8
ELEVASI PIPA BAWAH (m)	2.50	2.375
KEDALAMAN GALIAN (m)	0.30	0.425
PANJANG PIPA (m)		12.5
SLOPE (%)		1.00%
DIAMETER PIPA (mm)		D.150

SKALA 1 : 80



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022


JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

PENANAMAN PIPA JALUR A1 - P2

LEGENDA

 Muka Tanah

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

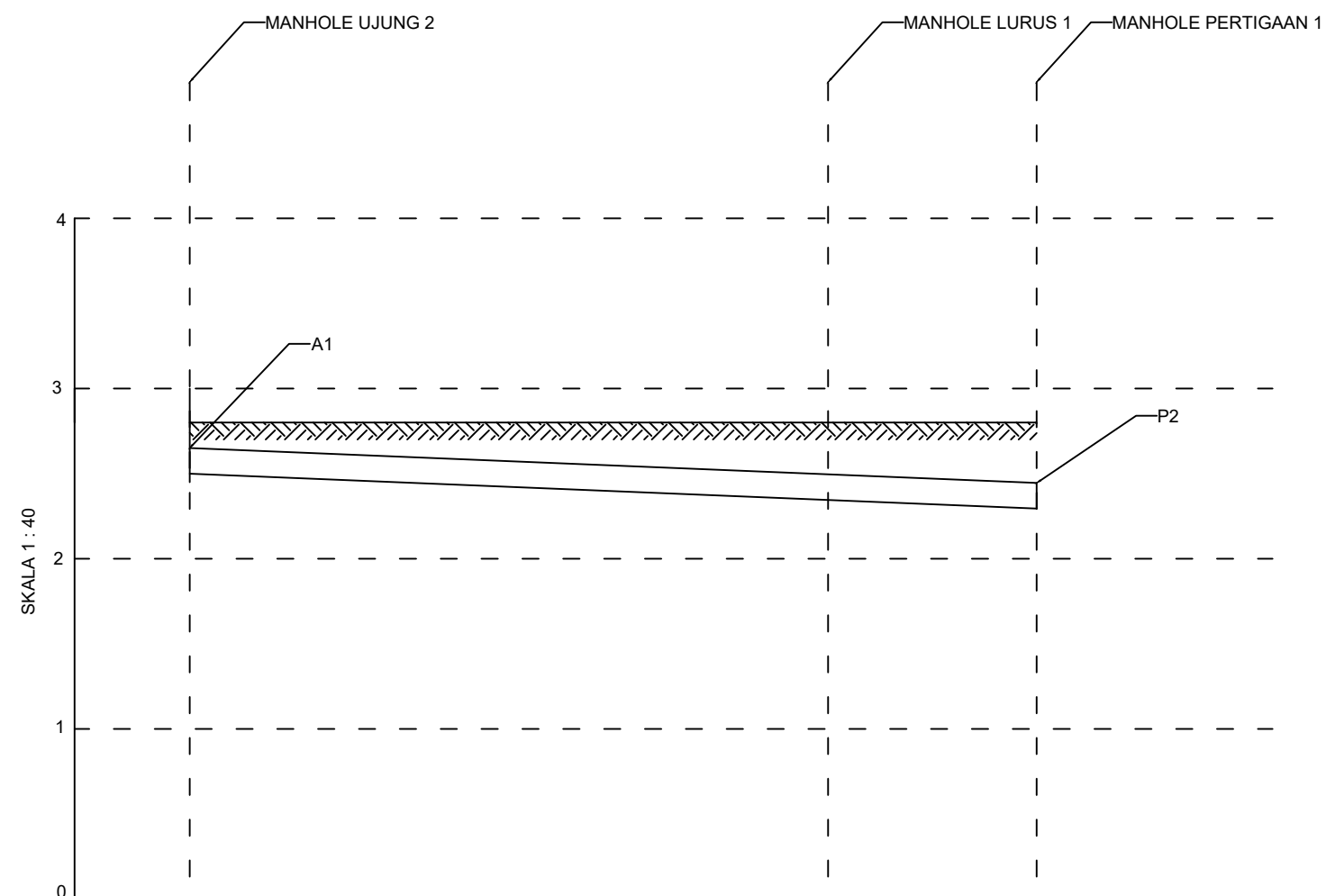
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

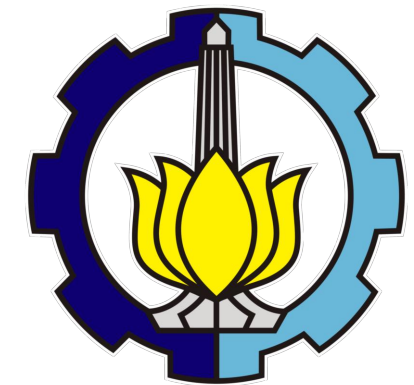
HALAMAN

16



ELEVASI TANAH (m)	2.8	2.8
ELEVASI PIPA BAWAH (m)	2.500	2.295
KEDALAMAN GALIAN (m)	0.300	0.505
PANJANG PIPA (m)		20.5
SLOPE (%)		1.00%
DIAMETER PIPA (mm)		D.150

SKALA 1 : 160



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

PENANAMAN PIPA JALUR D1 - C1

LEGENDA

 Muka Tanah

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

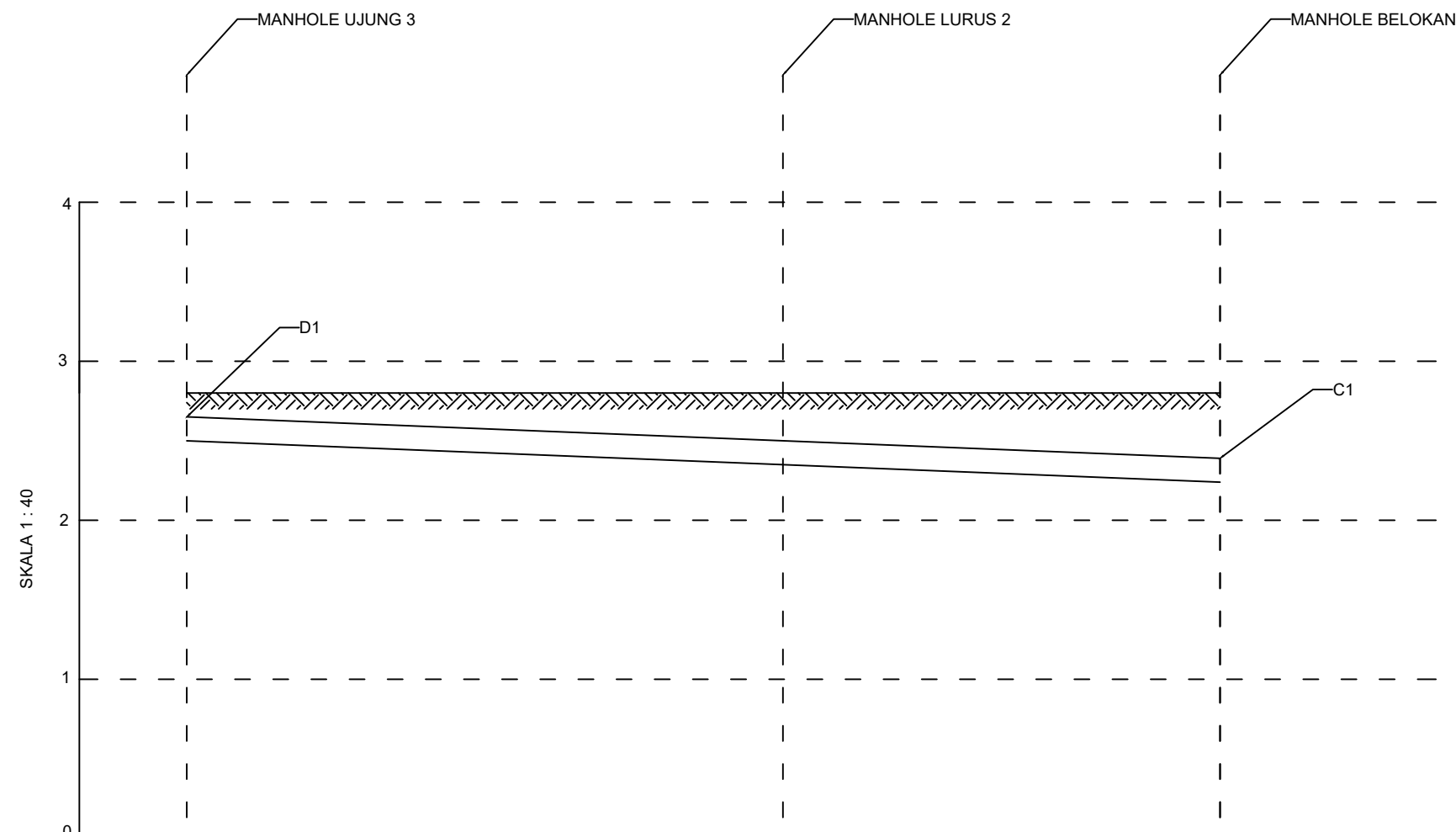
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

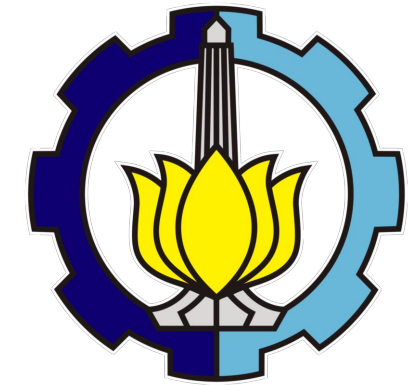
HALAMAN

17



ELEVASI TANAH (m)	2.8		2.8
ELEVASI PIPA BAWAH (m)	2.500		2.240
KEDALAMAN GALIAN (m)	0.300		0.560
PANJANG PIPA (m)		26	
SLOPE (%)		1.00%	
DIAMETER PIPA (mm)		D.150	

SKALA 1 : 160



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022

JUDUL TUGAS AKHIR

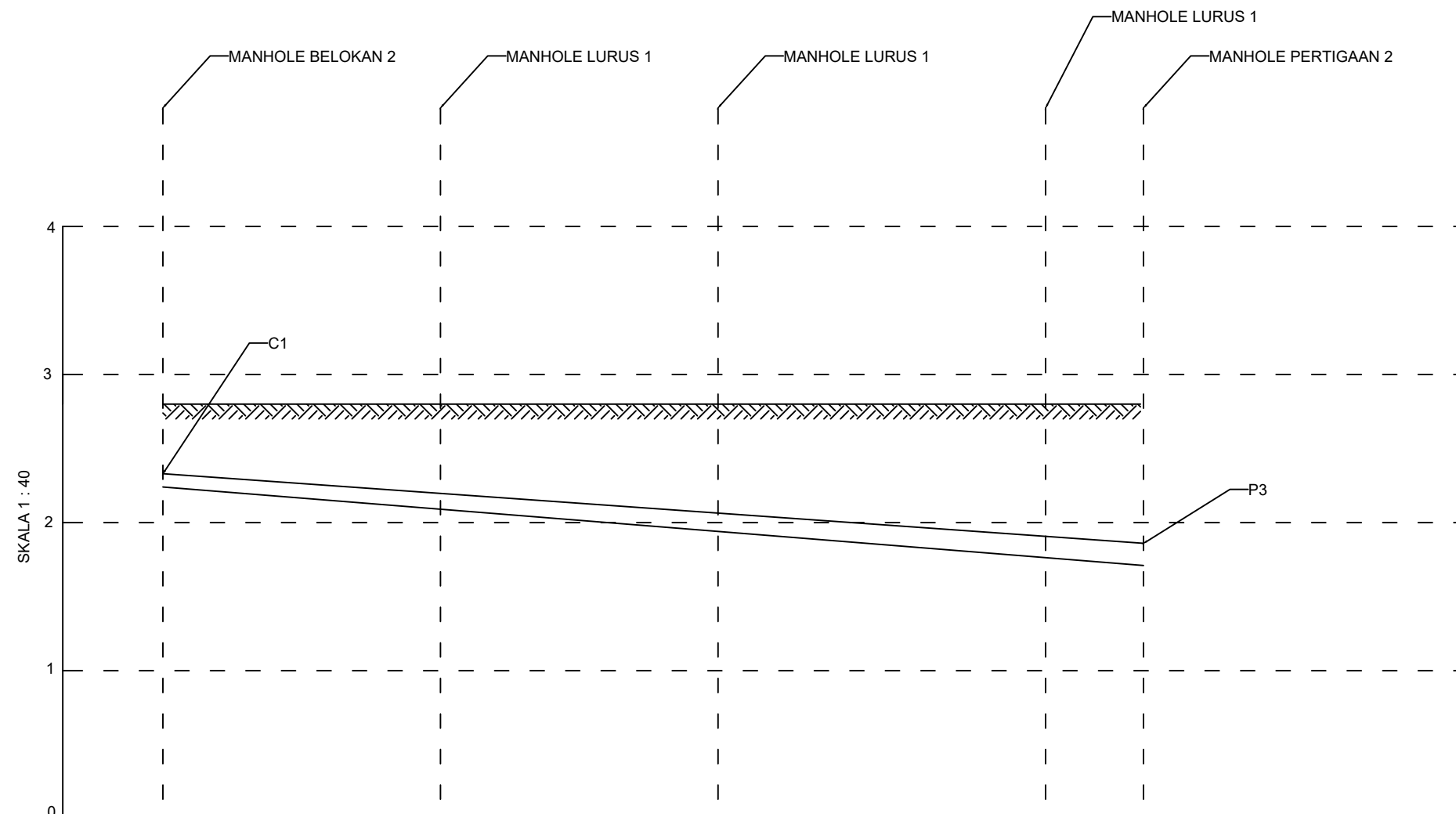
PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

PENANAMAN PIPA JALUR C1 - P3

LEGENDA

 Muka Tanah



ELEVASI TANAH (m)	2.8				2.8
ELEVASI PIPA BAWAH (m)	2.240				1.710
KEDALAMAN GALIAN (m)	0.560				1.090
PANJANG PIPA (m)			53		
SLOPE (%)			1.00%		
DIAMETER PIPA (mm)			D.150		

SKALA 1 : 320

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

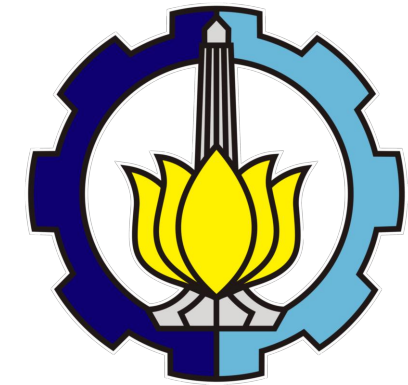
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

HALAMAN

18



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

PENANAMAN PIPA JALUR P1 - P2

LEGENDA

 Muka Tanah

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

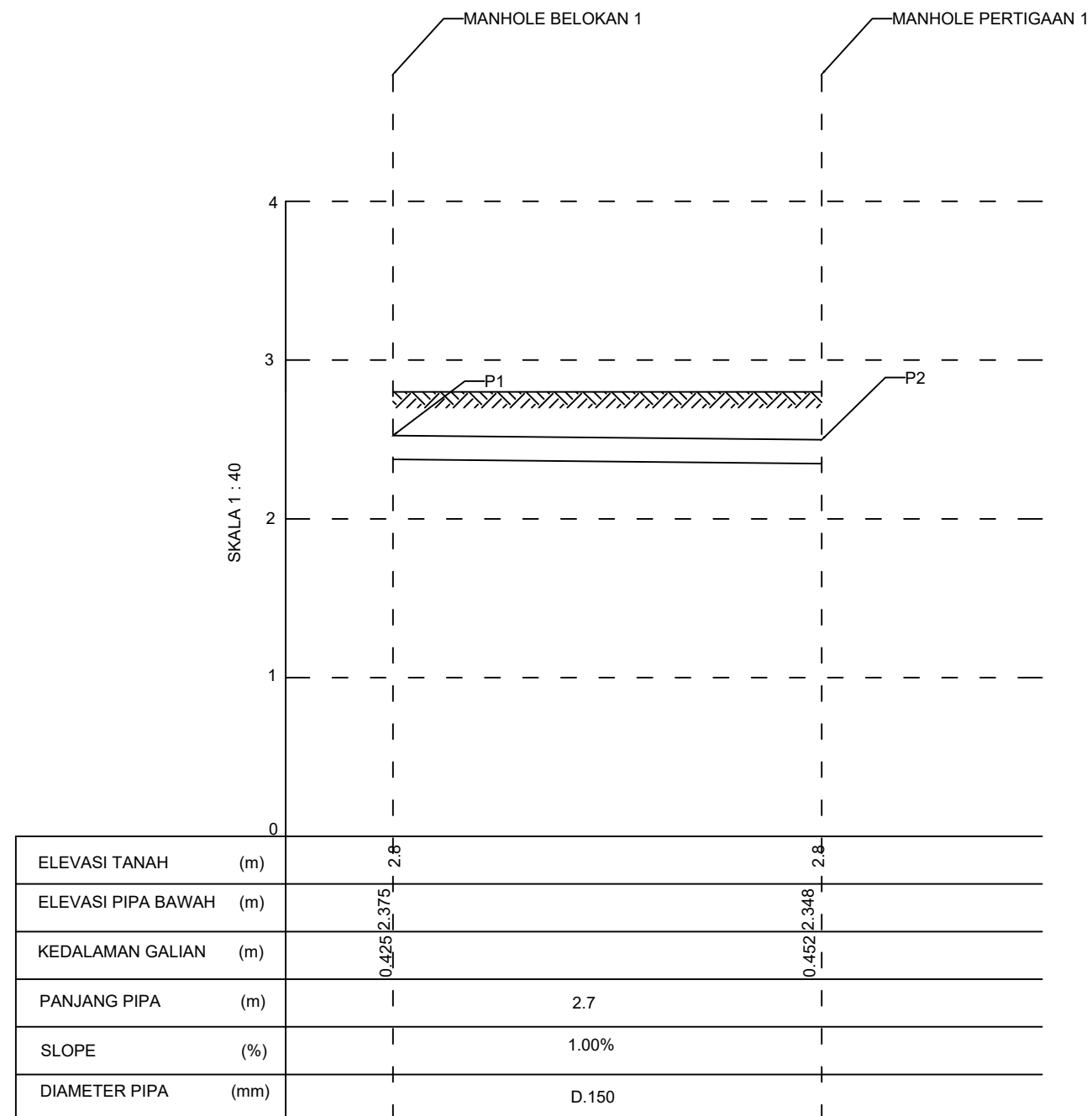
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

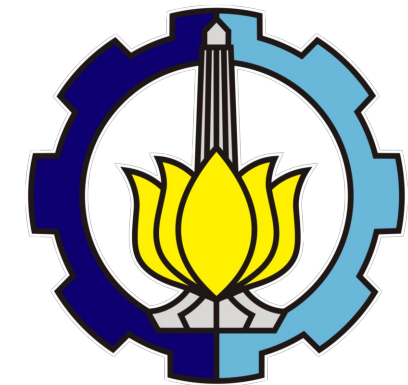
SKALA

HALAMAN

19



SKALA 1 : 40



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022


JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

PENANAMAN PIPA JALUR P2 - P3

LEGENDA

 Muka Tanah

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

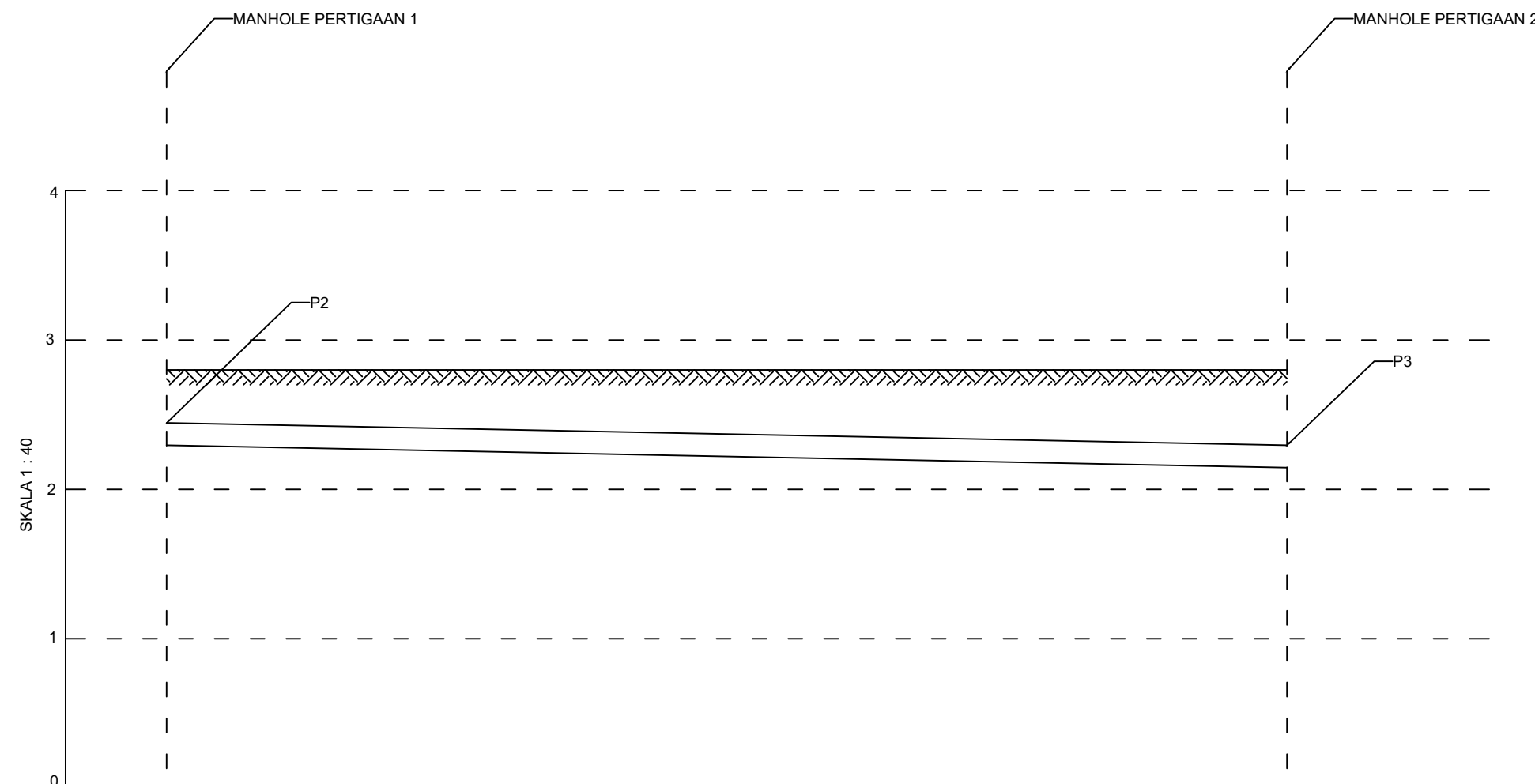
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

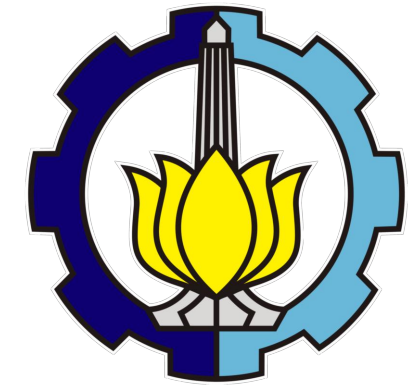
HALAMAN

20



ELEVASI TANAH (m)	2.8	2.8
ELEVASI PIPA BAWAH (m)	2.295	2.145
KEDALAMAN GALIAN (m)	0.505	0.655
PANJANG PIPA (m)	15	
SLOPE (%)	1.00%	
DIAMETER PIPA (mm)	D.150	

SKALA 1 : 80



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

PENANAMAN PIPA JALUR P3 - P4

LEGENDA

 Muka Tanah

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

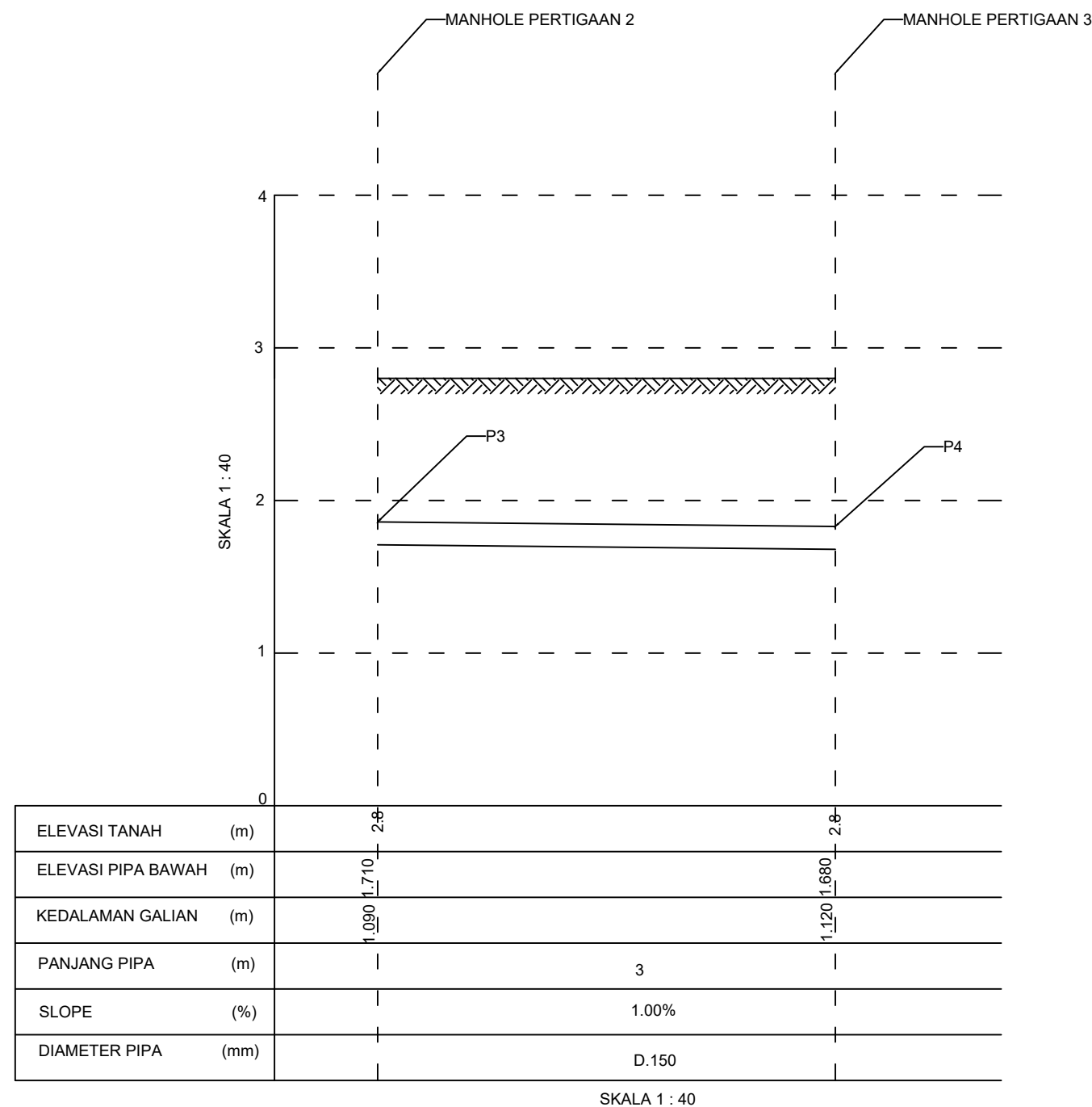
DOSEN PEMBIMBING

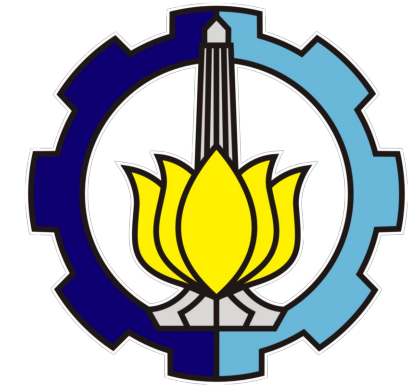
Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

HALAMAN

21





DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

PENANAMAN PIPA JALUR P4 - P5

LEGENDA

 Muka Tanah

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

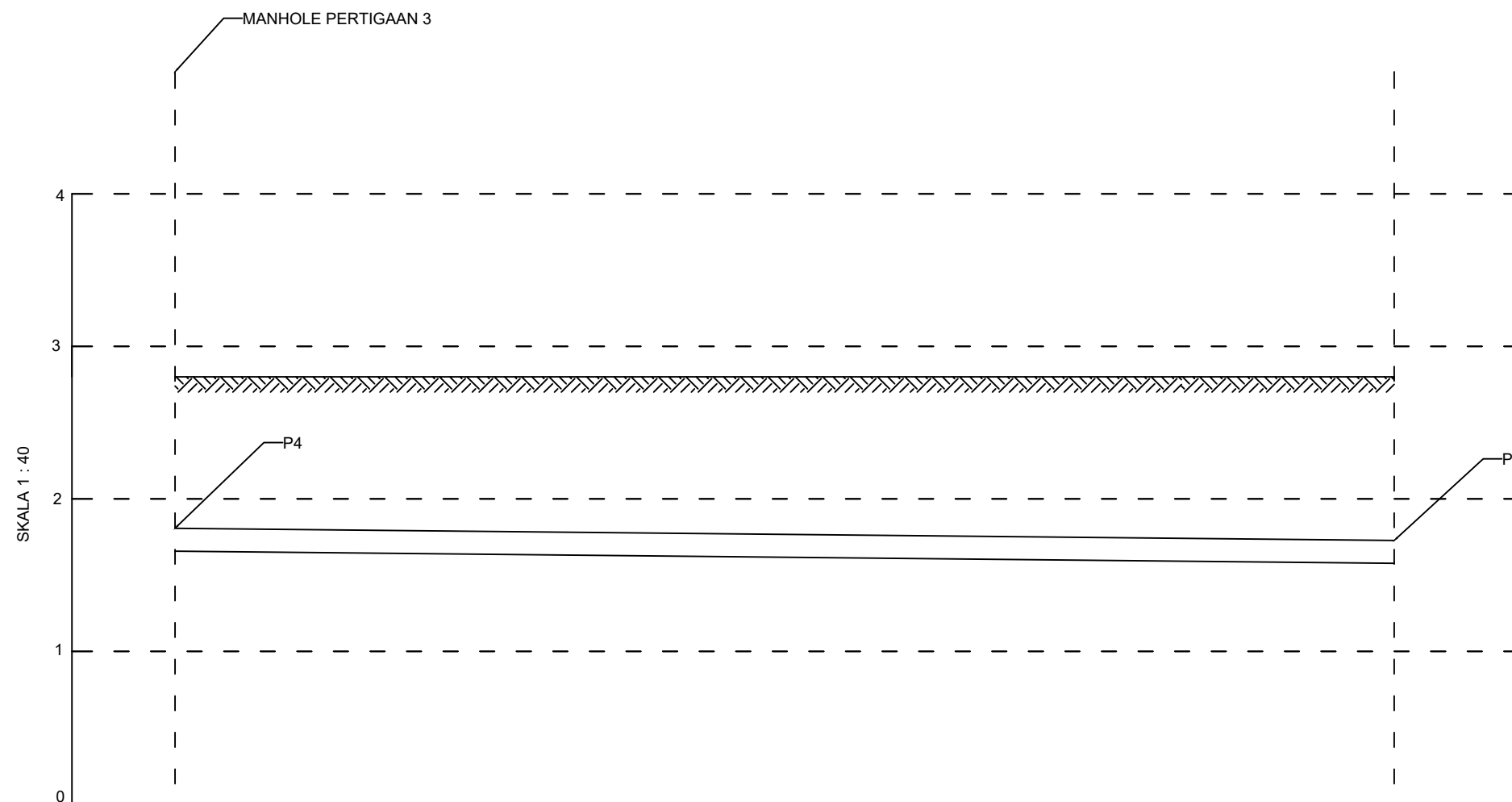
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

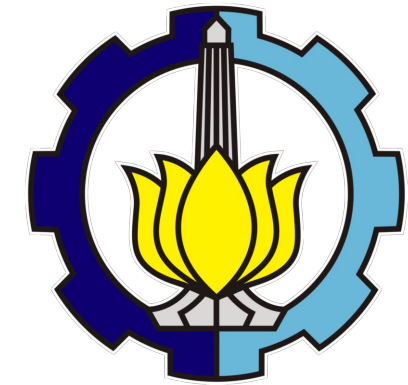
HALAMAN

22



ELEVASI TANAH (m)	2.8	2.8
ELEVASI PIPA BAWAH (m)	1.680	1.600
KEDALAMAN GALIAN (m)	1.120	1.200
PANJANG PIPA (m)		8
SLOPE (%)		1.00%
DIAMETER PIPA (mm)		D.150

SKALA 1 : 40



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
 DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER, SURABAYA
 2022

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) SWK
 BRATANG BINANGUN, SURABAYA

JUDUL GAMBAR

PENANAMAN PIPA JALUR T1 - T2

LEGENDA

 Muka Tanah

NAMA MAHASISWA

Fauzi Nur Rochim
 0321184000062

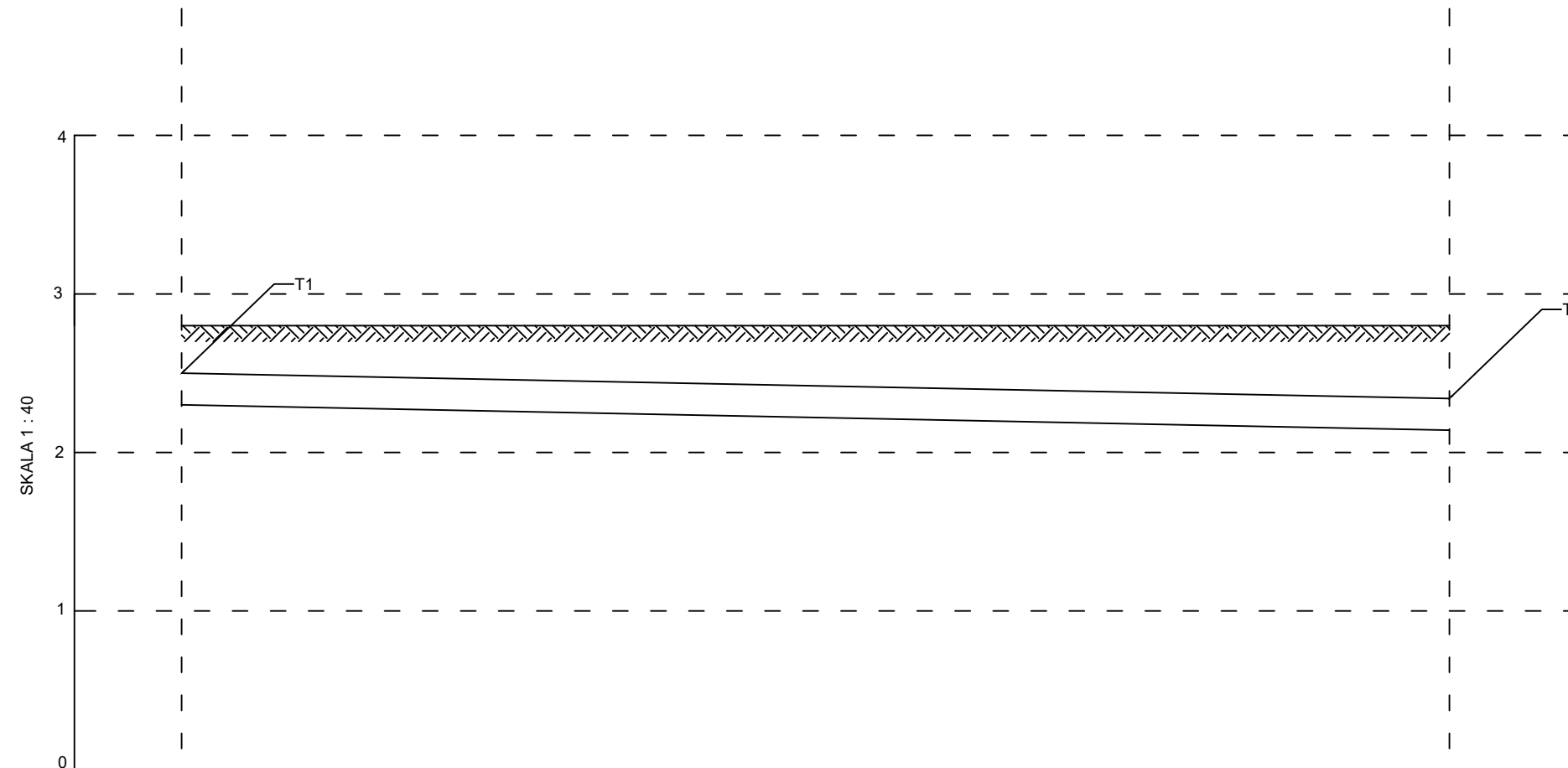
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc

SKALA

HALAMAN

23



ELEVASI TANAH (m)	2.3	2.3
ELEVASI PIPA BAWAH (m)	2.300	2.140
KEDALAMAN GALIAN (m)	0.500	0.660
PANJANG PIPA (m)		8
SLOPE (%)		2.00%
DIAMETER PIPA (mm)		D.200

SKALA 1 : 40

**LAMPIRAN B: PERHITUNGAN RENCANA ANGGARAN BIAYA
PEMBANGUNAN IPAL & SPAL**

1. Rencana Anggaran Biaya Unit Grease Trap

No.	Pekerjaan/Bahan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
I	PEKERJAAN PERSIAPAN				
1.1	Unit Grease Trap				
	Pembersihan Lapangan dan Perataan Tanah	1,5	m ²	Rp23.156	Rp35.000
Subtotal					Rp35.000
II	PEKERJAAN TANAH				
2.1	Unit Grease Trap				
	Penggalian Tanah Biasa	4,23	m ³	Rp113.806	Rp482.000
	Pengangkutan Lumpur dari Lubang Galian Kedalaman > 1 m	4,23	m ³	Rp54.099	Rp229.000
Subtotal					Rp711.000
III	PEKERJAAN STRUKTUR UTAMA				
3.1	Unit Grease Trap				
	Pekerjaan Sloof Beton Bertulang (200kg besi + Bekisting)	0,16	m ³	Rp3.619.950	Rp562.000
	Pekerjaan Balok Beton Bertulang (200kg besi + Bekisting)	0,16	m ³	Rp6.400.254	Rp994.000
	Pekerjaan Kolom Beton Bertulang (150kg besi + Bekisting)	0,51	m ³	Rp5.528.085	Rp2.836.000
	Pekerjaan Dinding Beton Bertulang (150kg besi + Bekisting)	1,94	m ³	Rp5.528.085	Rp10.747.000
	Pekerjaan Plat Tutup Beton - K-200 (100 kg Besi + Bekisting)	0,216	m ³	Rp2.831.159	Rp612.000
	Pekerjaan Pelapisan Waterproofing	1,49	m ²	Rp39.088	Rp59.000
Subtotal					Rp15.810.000
IV	PEKERJAAN PEMIPAAN DAN KEBUTUHAN AKSESORIS				
4.1	Unit Grease Trap				
	Pemasangan Pipa PVC Type C diameter 2" (50 mm)	2	m	Rp36.388	Rp73.000
	Pemasangan Tee PVC Type D diameter 2" (50 mm)	3	buah	Rp22.056	Rp67.000
	Kebutuhan Pipa PVC Type C diameter 8" (200 mm)	2	m	Rp200.000	Rp400.000
	Kebutuhan Tee PVC Type D diameter 8" (200 mm)	1	buah	Rp230.000	Rp230.000
	Kebutuhan Elbow PVC Type D 45° 50 mm	2	buah	Rp20.000	Rp40.000
	Kebutuhan Penutup Stainless Steel Manhole	2	buah	Rp500.000	Rp1.000.000
Subtotal					Rp1.810.000
Total					Rp18.366.000

2. Rencana Anggaran Biaya Unit Bak Pengumpul

No.	Pekerjaan/Bahan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
I	PEKERJAAN PERSIAPAN				
1.1	Unit Bak Pengumpul				
	Pembersihan Lapangan dan Perataan Tanah	0,6	m ²	Rp23.156	Rp15.000
Subtotal					Rp15.000
II	PEKERJAAN TANAH				
2.1	Unit Bak Pengumpul				
	Penggalian Tanah Biasa	1,22	m ³	Rp113.806	Rp140.000
	Pengangkutan Lumpur dari Lubang Galian Kedalaman > 1 m	1,22	m ³	Rp54.099	Rp67.000
Subtotal					Rp207.000
III	PEKERJAAN STRUKTUR UTAMA				
3.1	Unit Bak Pengumpul				
	Pekerjaan Sloof Beton Bertulang (200kg besi + Bekisting)	0,02	m ³	Rp3.619.950	Rp90.000
	Pekerjaan Balok Beton Bertulang (200kg besi + Bekisting)	0,07	m ³	Rp6.400.254	Rp476.000
	Pekerjaan Kolom Beton Bertulang (150kg besi + Bekisting)	0,18	m ³	Rp5.528.085	Rp1.006.000
	Pekerjaan Dinding Beton Bertulang (150kg besi + Bekisting)	0,67	m ³	Rp5.528.085	Rp3.722.000
	Pekerjaan Plat Tutup Beton - K-200 (100 kg Besi + Bekisting)	0,096	m ³	Rp2.831.159	Rp272.000
	Pekerjaan Pelapisan Waterproofing	0,61	m ²	Rp39.088	Rp24.000
Subtotal					Rp5.590.000
IV	PEKERJAAN PEMIPAAN DAN KEBUTUHAN AKSESORIS				
4.1	Unit Bak Pengumpul				
	Pemasangan Pipa PVC AW 1 1/2" (38 mm)	2	m	Rp29.219	Rp59.000
	Pemasangan Tee PVC Type AW diameter 1 1/2" (38 mm)	2	buah	Rp22.056	Rp45.000
	Pemasangan Tee PVC Type D diameter 2" (50 mm)	2	buah	Rp22.056	Rp45.000
	Kebutuhan Tee PVC Type D diameter 8" (200 mm)	1	buah	Rp230.000	Rp230.000
	Kebutuhan Elbow PVC Type D 45° 50 mm	2	buah	Rp20.000	Rp40.000

No.	Pekerjaan/Bahan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
	Kebutuhan Penutup Stainless Steel Manhole	1	buah	Rp500.000	Rp500.000
	Kebutuhan Tangga Monyet	3	buah	Rp80.000	Rp240.000
	Kebutuhan Pompa Grundfos KPC 300A	1	buah	Rp2.160.000	Rp2.160.000
	Kebutuhan Batang Besi Tebal 1 cm	7	buah	Rp120.000	Rp840.000
Subtotal					Rp4.159.000
Total					Rp9.971.000

3. Rencana Anggaran Biaya Unit Anaerobic Baffled Reactor

No.	Pekerjaan/Bahan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
I	PEKERJAAN PERSIAPAN				
1.1	Unit Anaerobic Baffled Reactor				
	Pembersihan Lapangan dan Perataan Tanah	15,53	m ²	Rp23.156	Rp360.000
Subtotal					Rp360.000
II	PEKERJAAN TANAH				
2.1	Unit Anaerobic Baffled Reactor				
	Penggalian Tanah Biasa	43,31	m ³	Rp113.806	Rp4.930.000
	Pengangkutan Lumpur dari Lubang Galian Kedalaman > 1 m	43,31	m ³	Rp54.099	Rp2.344.000
Subtotal					Rp7.274.000
III	PEKERJAAN STRUKTUR UTAMA				
3.1	Unit Anaerobic Baffled Reactor				
	Pekerjaan Sloof Beton Bertulang (200kg besi + Bekisting)	0,78	m ³	Rp3.619.950	Rp2.810.000
	Pekerjaan Balok Beton Bertulang (200kg besi + Bekisting)	0,78	m ³	Rp6.400.254	Rp4.969.000
	Pekerjaan Kolom Beton Bertulang (150kg besi + Bekisting)	1,22	m ³	Rp5.528.085	Rp6.742.000
	Pekerjaan Dinding Beton Bertulang (150kg besi + Bekisting)	11,70	m ³	Rp5.528.085	Rp64.679.000
	Pekerjaan Plat Tutup Beton - K-200 (100 kg Besi + Bekisting)	3,6	m ³	Rp2.831.159	Rp10.193.000
	Pekerjaan Pelapisan Waterproofing	15,53	m ²	Rp39.088	Rp607.000
Subtotal					Rp90.000.000
IV	PEKERJAAN PEMIPAAN DAN KEBUTUHAN ASESORIS				
4.1	Unit Anaerobic Baffled Reactor				
	Pemasangan Pipa PVC Type C diameter 2" (50 mm)	30	m	Rp36.388	Rp1.092.000
	Pemasangan Tee PVC Type D diameter 2" (50 mm)	17	buah	Rp22.056	Rp375.000
	Kebutuhan Elbow PVC Type D 90° 2" (50 mm)	2	buah	Rp18.000	Rp36.000
	Kebutuhan Elbow PVC Type D 45° 50 mm	2	buah	Rp20.000	Rp40.000
	Kebutuhan Penutup Stainless Steel Manhole	5	buah	Rp500.000	Rp2.500.000
	Kebutuhan Tangga Monyet	26	buah	Rp80.000	Rp2.080.000
Subtotal					Rp6.123.000

No.	Pekerjaan/Bahan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
	Total				Rp103.757.000

4. Rencana Anggaran Biaya Unit Biological Aerated Filter

No.	Pekerjaan/Bahan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
I	PEKERJAAN PERSIAPAN				
1.1	Unit Biological Aerated Filter				
	Pembersihan Lapangan dan Perataan Tanah	3,24	m ²	Rp23.156	Rp76.000
Subtotal					Rp76.000
II	PEKERJAAN TANAH				
2.1	Unit Biological Aerated Filter				
	Penggalian Tanah Biasa	8,59	m ³	Rp113.806	Rp978.000
	Pengangkutan Lumpur dari Lubang Galian Kedalaman > 1 m	8,59	m ³	Rp54.099	Rp465.000
Subtotal					Rp1.443.000
III	PEKERJAAN STRUKTUR UTAMA				
3.1	Unit Biological Aerated Filter				
	Pekerjaan Sloof Beton Bertulang (200kg besi + Bekisting)	0,24	m ³	Rp3.619.950	Rp880.000
	Pekerjaan Balok Beton Bertulang (200kg besi + Bekisting)	0,24	m ³	Rp6.400.254	Rp1.556.000
	Pekerjaan Kolom Beton Bertulang (150kg besi + Bekisting)	0,48	m ³	Rp5.528.085	Rp2.637.000
	Pekerjaan Dinding Beton Bertulang (150kg besi + Bekisting)	3,38	m ³	Rp5.528.085	Rp18.658.000
	Pekerjaan Plat Tutup Beton - K-200 (100 kg Besi + Bekisting)	0,675	m ³	Rp2.831.159	Rp1.912.000
	Pekerjaan Pelapisan Waterproofing	3,24	m ²	Rp39.088	Rp127.000
Subtotal					Rp25.770.000
IV	PEKERJAAN PEMIPAAN DAN KEBUTUHAN AKSESORIS				
4.1	Unit Biological Aerated Filter				
	Pemasangan Pipa PVC Type AW diameter 2" (50 mm)	1	m	Rp36.388	Rp37.000
	Pemasangan Tee PVC Type D diameter 2" (50 mm)	7	buah	Rp22.056	Rp155.000
	Pemasangan Pipa PVC Type C diameter 1 1/2" (38 mm)	15	m	Rp24.659	Rp370.000
	Kebutuhan Tee PVC Type D diameter 1 1/2" (38 mm)	1	buah	Rp230.000	Rp230.000
	Kebutuhan Elbow PVC Type AW 90° 50 mm	6	buah	Rp22.000	Rp132.000
	Kebutuhan Elbow PVC Type D 45° 50 mm	4	buah	Rp20.000	Rp80.000
	Kebutuhan Penutup Stainless Steel Manhole	2	buah	Rp500.000	Rp1.000.000

No.	Pekerjaan/Bahan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
	Kebutuhan Media Sarang Tawon	2,7	m ³	Rp1.500.000	Rp4.050.000
	Kebutuhan Ring Blower Takafan 250 W	2	buah	Rp2.150.000	Rp4.300.000
	Kebutuhan Coarse Diffuser Pearlcomb D-1310	4	buah	Rp100.000	Rp400.000
Subtotal					Rp2.004.000
Total					Rp29.293.000

5. Rencana Anggaran Biaya Unit Bak Pengendap

No.	Pekerjaan/Bahan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
I	PEKERJAAN PERSIAPAN				
1.1	Unit Bak Pengendap				
	Pembersihan Lapangan dan Perataan Tanah	2,28	m ²	Rp23.156	Rp53.000
Subtotal					Rp53.000
II	PEKERJAAN TANAH				
2.1	Unit Bak Pengendap				
	Penggalian Tanah Biasa	6,03	m ³	Rp113.806	Rp687.000
	Pengangkutan Lumpur dari Lubang Galian Kedalaman > 1 m	6,03	m ³	Rp54.099	Rp327.000
Subtotal					Rp1.014.000
III	PEKERJAAN STRUKTUR UTAMA				
3.1	Unit Bak Pengendap				
	Pekerjaan Sloof Beton Bertulang (200kg besi + Bekisting)	0,14	m ³	Rp3.619.950	Rp497.000
	Pekerjaan Balok Beton Bertulang (200kg besi + Bekisting)	0,14	m ³	Rp6.400.254	Rp879.000
	Pekerjaan Kolom Beton Bertulang (150kg besi + Bekisting)	0,24	m ³	Rp5.528.085	Rp1.319.000
	Pekerjaan Dinding Beton Bertulang (150kg besi + Bekisting)	1,95	m ³	Rp5.528.085	Rp10.780.000
	Pekerjaan Plat Tutup Beton - K-200 (100 kg Besi + Bekisting)	0,48	m ³	Rp2.831.159	Rp1.359.000
	Pekerjaan Pelapisan Waterproofing	2,28	m ²	Rp39.088	Rp89.000
Subtotal					Rp14.923.000
IV	PEKERJAAN PEMIPAAN DAN KEBUTUHAN AKSESORIS				
4.1	Unit Bak Pengendap				
	Pemasangan Tee PVC Type D diameter 2" (50 mm)	1	buah	Rp22.056	Rp23.000
	Kebutuhan Elbow PVC Type D 45° 50 mm	2	buah	Rp20.000	Rp40.000
	Kebutuhan Penutup Stainless Steel Manhole	1	buah	Rp500.000	Rp500.000
	Kebutuhan Tangga Monyet	5	buah	Rp80.000	Rp400.000
	Kebutuhan Weir Plat Stainless	0,2	m ²	Rp1.400.000	Rp280.000
Subtotal					Rp1.243.000
Total					Rp17.233.000

6. Rencana Anggaran Biaya Unit Disinfeksi UV

No.	Pekerjaan/Bahan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
I	PEKERJAAN PERSIAPAN				
1.1	Unit UV Chamber				
	Pembersihan Lapangan dan Perataan Tanah	0,12	m ²	Rp23.156	Rp3.000
Subtotal					Rp3.000
II	PEKERJAAN TANAH				
2.1	Unit UV Chamber				
	Penggalian Tanah Biasa	0,14	m ³	Rp113.806	Rp16.000
	Pengangkutan Lumpur dari Lubang Galian Kedalaman > 1 m	0,14	m ³	Rp54.099	Rp8.000
Subtotal					Rp24.000
III	PEKERJAAN STRUKTUR UTAMA				
3.1	Unit UV Chamber				
	Pekerjaan Sloof Beton Bertulang (200kg besi + Bekisting)	0,03	m ³	Rp3.619.950	Rp113.000
	Pekerjaan Balok Beton Bertulang (200kg besi + Bekisting)	0,03	m ³	Rp6.400.254	Rp199.000
	Pekerjaan Kolom Beton Bertulang (150kg besi + Bekisting)	0,10	m ³	Rp5.528.085	Rp573.000
	Pekerjaan Dinding Beton Bertulang (150kg besi + Bekisting)	0,07	m ³	Rp5.528.085	Rp399.000
	Pekerjaan Plat Tutup Beton - K-200 (100 kg Besi + Bekisting)	0,00384	m ³	Rp2.831.159	Rp11.000
	Pekerjaan Pelapisan Waterproofing	0,12	m ²	Rp39.088	Rp5.000
Subtotal					Rp1.300.000
IV	PEKERJAAN PEMIPAAN DAN KEBUTUHAN AKSESORIS				
4.1	Unit UV Chamber				
	Pemasangan Pipa PVC Type C diameter 3" (75 mm)	10	m	Rp24.659	Rp247.000
	Kebutuhan Penutup Stainless Steel Manhole	1	buah	Rp500.000	Rp500.000
	Kebutuhan Lampu UV Submersible Sakkai Pro 45 W	2	buah	Rp350.000	Rp700.000
	Kebutuhan Plat Stainless Pelapis Unit	0,64	m ²	Rp1.400.000	Rp896.000
Subtotal					Rp2.343.000
Total					Rp3.670.000

7. Rencana Anggaran Biaya Sistem Penyaluran Air Limbah

No.	Pekerjaan/Bahan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
I	PEKERJAAN PERSIAPAN				
1.1	Sistem Penyaluran Air Limbah				
	Pembersihan Lapangan dan Perataan Tanah	89,22	m ²	Rp23.156	Rp2.066.000
Subtotal					Rp2.066.000
II	PEKERJAAN GALIAN				
2.1	Sistem Penyaluran Air Limbah				
	Penggalian Tanah Biasa	57,26	m ³	Rp113.806	Rp6.516.000
	Pengangkutan Tanah dari Lubang Galian Kedalaman < 1 m	57,26	m ³	Rp23.189	Rp1.328.000
Subtotal					Rp7.844.000
III	PEKERJAAN PENGADAAN DAN PENANAMAN PIPA AIR LIMBAH				
3.1	Sistem Penyaluran Air Limbah				
	Pemasangan Pipa PVC Type AW 200 mm (8")	8	m	Rp550.000	Rp4.400.000
	Pengetesan Pipa PVC Type AW 200 mm (8")	8	m	Rp2.000	Rp16.000
	Pemasangan Pipa PVC Type AW 150 mm (6")	140,7	m	Rp375.564	Rp52.842.000
	Pengetesan Pipa PVC Type AW 150 mm (6")	140,7	m	Rp2.000	Rp282.000
Subtotal					Rp57.540.000
IV	PEKERJAAN URUGAN PASIR & TANAH				
4.1	Sistem Penyaluran Air Limbah				
	Pengurugan Pasir Padat	26,77	m ³	Rp297.522	Rp7.964.000,00
	Pengurugan Tanah Kembali	30,49	m ³	Rp81.572	Rp2.488.000,00
	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	26,77	m ³	Rp31.333	Rp839.000,00
Subtotal					Rp11.291.000
Total					Rp78.741.000

**LAMPIRAN C: STANDAR OPERASIONAL PROSEDUR IPAL SWK BRATANG
BINANGUN, SURABAYA**

**STANDAR OPERASIONAL PROSEDUR
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
SENTRA WISATA KULINER BRATANG BINANGUN
SURABAYA**

22 JULI 202

	Standar Operasional Prosedur Instalasi Pengolahan Air Limbah SWK Bratang Binangun	Nomor Dokumen	P.01	
		Index	Prosedur	
	Prosedur Perawatan IPAL		Tanggal Efektif	22 Juli 2022
			Klasifikasi Dokumen	UMUM
			Halaman	1 / 5

NO	URAIAN PROSES	AKTOR	INPUT	OUTPUT
		Petugas IPAL		
01	Melakukan pembersihan Unit Grease Trap <ul style="list-style-type: none"> Petugas bertanggung jawab atas pembersihan minyak & lemak yang tertahan pada Unit Grease Trap Unit Grease Trap harus dibersihkan secara rutin setiap hari. 		<ul style="list-style-type: none"> N/A 	<ul style="list-style-type: none"> N/A
02	Melakukan pembersihan manhole/bak kontrol SPAL <ul style="list-style-type: none"> Petugas bertanggung jawab atas kebersihan manhole/bak kontrol sepanjang SPAL agar terbebas dari sampah padat. Manhole/bak kontrol harus dibersihkan secara rutin minimal satu minggu sekali. 		<ul style="list-style-type: none"> N/A 	<ul style="list-style-type: none"> Formulir Pembersihan Manhole/Bak Kontrol SPAL
03	Memastikan kondisi IPAL dalam keadaan baik <ul style="list-style-type: none"> Petugas bertanggung jawab memastikan kondisi IPAL selalu dalam keadaan baik dan prima. Guna mengetahui kondisi IPAL, petugas dapat melakukan inspeksi pada IPAL berdasarkan Prosedur Inspeksi IPAL. 		<ul style="list-style-type: none"> Prosedur Inspeksi IPAL 	<ul style="list-style-type: none"> Formulir Pemeriksaan IPAL
04	Melakukan penjadwalan pengurasan lumpur <ul style="list-style-type: none"> Apabila pengurasan lumpur pada unit BAF dan Bak Pengendap telah mendekati/kebih dari 3 bulan, maka petugas wajib melakukan penjadwalan pengurasan lumpur. Apabila pengurasan lumpur pada unit ABR telah mendekati/lebih dari 12 bulan, maka petugas wajib melakukan penjadwalan pengurasan lumpur. Pelaksanaan pengurasan lumpur akan mengacu kepada Prosedur Pengurasan Lumpur IPAL. 		<ul style="list-style-type: none"> Prosedur Pengurasan Lumpur IPAL 	<ul style="list-style-type: none"> Formulir Pengurasan Lumpur IPAL
05	Melakukan penggelontoran pada SPAL <ul style="list-style-type: none"> Petugas wajib melakukan penggelontoran pada SPAL guna memastikan tidak ada padatan/sampah dalam pipa SPAL. Pengelontoran pada SPAL dilakukan secara rutin minimal 1 bulan sekali. Usahakan air yang digunakan tidak berasal dari air PDAM. 		<ul style="list-style-type: none"> N/A 	<ul style="list-style-type: none"> N/A

	Standar Operasional Prosedur Instalasi Pengolahan Air Limbah SWK Bratang Binangun	Nomor Dokumen	P.02
		Index	Prosedur
	Prosedur Pengoperasian IPAL	Tanggal Efektif	22 Juli 2022
		Klasifikasi Dokumen	UMUM
		Halaman	2 / 5

NO	URAIAN PROSES	AKTOR	INPUT	OUTPUT
		Petugas IPAL/Kebersihan		
01	Memastikan peralatan mekanik & elektrik dalam keadaan baik <ul style="list-style-type: none"> Petugas bertanggung jawab untuk memastikan kondisi peralatan mekanik & elektrik pada IPAL bekerja dengan baik. 	<pre> graph TD Start([Mulai]) --> Decision{Pertama Kali} Decision -- ya --> P1[] Decision -- tidak --> P2[] P1 --> P3[] P2 --> P3 P3 --> P4[] P4 --> End([Selesai]) </pre>	• N/A	• N/A
02	Melakukan persiapan <i>start-up</i> IPAL <ul style="list-style-type: none"> Memastikan seluruh ruang media BAF terisi Pada saat pertama kali IPAL dioperasikan, reaktor BAF & ABR diisi dengan air hingga penuh. Hidupkan pompa, blower, dan lampu UV. Periksa apakah berfungsi dengan baik 		• N/A	• N/A
03	Melakukan seeding benih mikroba tiap unitnya <ul style="list-style-type: none"> Dilakukan penambahan/seedling mikroba anaerobik untuk unit ABR yang diambil dari unit ABR yang telah beroperasi. Dilakukan penambahan/seedling mikroba aerobik untuk unit BAF. Untuk kompartemen 2 pada unit BAF dilakukan penambahan/seedling mikroba aerobik nitrifikasi & denitrifikasi. 		• N/A	• N/A
04	Menyalakan lampu UV, dan sistem pemompaan serta mengganti pompa blower <ul style="list-style-type: none"> Petugas menyalakan <i>control panel</i> sistem IPAL & mengganti pompa blower lain Petugas memastikan lampu indikator untuk pompa blower, lampu UV, dan sistem pemompaan telah menyala. 		• N/A	• N/A
05	Mematikan lampu UV, dan sistem pemompaan <ul style="list-style-type: none"> Petugas mematikan lampu UV & sistem pemompaan Petugas memastikan lampu indikator untuk lampu UV dan sistem pemompaan telah mati. Petugas memastikan lampu indikator untuk pompa blower tetap menyala (beroperasi 24 jam). 		• N/A	• N/A

	Standar Operasional Prosedur Instalasi Pengolahan Air Limbah SWK Bratang Binangun	Nomor Dokumen	P.03	
		Index	Prosedur	
	Prosedur Inspeksi IPAL		Tanggal Efektif	22 Juli 2022
	Klasifikasi Dokumen	UMUM		
	Halaman	3 / 5		

NO	URAIAN PROSES	AKTOR	INPUT	OUTPUT
		Petugas IPAL		
01	Melakukan pemeriksaan kondisi IPAL <ul style="list-style-type: none"> Petugas IPAL melakukan pemeriksaan kondisi IPAL mencakup peralatan mekanis, elektrikal, dan peralatan pendukung lainnya. Pemeriksaan kondisi IPAL dilakukan secara rutin minimal 1 bulan sekali. 	<pre> graph TD Start([Mulai]) --> P1[] P1 --> D1{Bermasalah} D1 -- tidak --> P3[] D1 -- ya --> P2[] </pre>	<ul style="list-style-type: none"> N/A 	<ul style="list-style-type: none"> Formulir Pemeriksaan IPAL
02	Melakukan evaluasi & tindakan yang diperlukan <ul style="list-style-type: none"> Apabila ditemukan permasalahan/ketidaksihinggaan, maka Petugas IPAL melakukan evaluasi dan tindakan penanganan permasalahan tersebut. 	<pre> graph TD Start([Mulai]) --> P1[] P1 --> D1{Bermasalah} D1 -- tidak --> P3[] D1 -- ya --> P2[] P2 --> P3[] </pre>	<ul style="list-style-type: none"> Formulir Pemeriksaan IPAL Formulir Permasalahan IPAL 	<ul style="list-style-type: none"> N/A
03	Melaporkan hasil pemeriksaan & tindakan kepada dinas terkait <ul style="list-style-type: none"> Petugas IPAL melaporkan hasil pemeriksaan IPAL dan evaluasi serta tindakan yang dilakukan kepada dinas terkait. 	<pre> graph TD Start([Mulai]) --> P1[] P1 --> D1{Bermasalah} D1 -- tidak --> P3[] D1 -- ya --> P2[] P2 --> P3[] P3 --> End([Selesai]) </pre>	<ul style="list-style-type: none"> Formulir Pemeriksaan IPAL 	<ul style="list-style-type: none"> N/A

	Standar Operasional Prosedur Instalasi Pengolahan Air Limbah SWK Bratang Binangun	Nomor Dokumen	P.04	
		Index	Prosedur	
	Prosedur Monitoring Performa IPAL		Tanggal Efektif	22 Juli 2022
			Klasifikasi Dokumen	UMUM
			Halaman	4 / 5

NO	URAIAN PROSES	AKTOR	INPUT	OUTPUT
		Petugas IPAL		
01	<p>Melakukan pengamatan fisik air limbah</p> <ul style="list-style-type: none"> Petugas IPAL melakukan pengamatan fisik air limbah dalam tiap unit pengolahan. Monitoring performa IPAL dilakukan secara rutin minimal 1 bulan sekali. 	<pre> graph TD Start([Mulai]) --> P1[] P1 --> P2[] P2 --> D{Bermasalah} D -- tidak --> P3[] D -- ya --> P4[] P4 --> P5[] P5 --> End([Selesai]) </pre>	<ul style="list-style-type: none"> N/A 	<ul style="list-style-type: none"> Draft Formulir Monitoring Performa IPAL
02	<p>Melakukan pengambilan sampel & pengujian kualitas air limbah</p> <ul style="list-style-type: none"> Petugas melakukan pengambilan sampel & menguji kualitas air limbah pada tiap unit pengolahan. Apabila terdapat ketidaksesuaian / masalah, petugas IPAL Melakukan evaluasi & tindakan yang diperlukan. 		<ul style="list-style-type: none"> N/A 	<ul style="list-style-type: none"> Draft Formulir Monitoring Performa IPAL
03	<p>Melakukan evaluasi & tindakan yang diperlukan</p> <ul style="list-style-type: none"> Apabila terdapat ketidaksesuaian / permasalahan yang ditemukan, maka petugas melakukan evaluasi & tindakan penanganan terhadap permasalahan tersebut dengan merujuk pada Formulir Permasalahan IPAL. 		<ul style="list-style-type: none"> Formulir Permasalahan IPAL 	<ul style="list-style-type: none"> Formulir Monitoring Performa IPAL
04	<p>Melaporkan hasil monitoring & evaluasi serta tindakan yang dilakukan kepada dinas terkait</p> <ul style="list-style-type: none"> Petugas IPAL melaporkan hasil monitoring performa IPAL dan evaluasi serta tindakan yang dilakukan kepada dinas terkait. 		<ul style="list-style-type: none"> Formulir Monitoring Performa IPAL 	<ul style="list-style-type: none"> N/A

	Standar Operasional Prosedur Instalasi Pengolahan Air Limbah SWK Bratang Binangun	Nomor Dokumen	P.05
		Index	Prosedur
	Prosedur Pengurasan Lumpur IPAL	Tanggal Efektif	22 Juli 2022
		Klasifikasi Dokumen	UMUM
		Halaman	5 / 5

NO	URAIAN PROSES	AKTOR		INPUT	OUTPUT
		Petugas IPAL	Vendor / Petugas Penyedot Lumpur		
01	Menjadwalkan pengurasan lumpur IPAL <ul style="list-style-type: none"> Petugas IPAL bertanggung jawab menjadwalkan pengurasan lumpur pada IPAL. Lumpur pada unit ABR dilakukan pengurasan minimal 12 bulan sekali. Lumpur pada unit BAF dan Bak Pengendap dilakukan pengurasan minimal 3 bulan sekali. 			<ul style="list-style-type: none"> N/A 	<ul style="list-style-type: none"> Draft Formulir Pengurasan Lumpur IPAL
02	Menghubungi vendor/petugas penyedot lumpur <ul style="list-style-type: none"> Petugas IPAL menghubungi vendor / petugas penyedot lumpur sesuai jadwal pengurasan yang telah dibuat. 			<ul style="list-style-type: none"> Draft Formulir Pengurasan Lumpur IPAL 	<ul style="list-style-type: none"> N/A
03	Melakukan penyedotan lumpur <ul style="list-style-type: none"> Vendor / Petugas Penyedot Lumpur melakukan pengurasan sesuai dengan rencana/jadwal pengurasan lumpur IPAL. Petugas IPAL mengarahkan & memantau proses penyedotan lumpur IPAL. 			<ul style="list-style-type: none"> Draft Formulir Pengurasan Lumpur IPAL 	<ul style="list-style-type: none"> N/A
04	Memindahkan lumpur menuju IPLT Keputih <ul style="list-style-type: none"> Vendor / Petugas Penyedot Lumpur memindahkan lumpur yang telah dikuras menuju IPLT Keputih untuk pengolahan lebih lanjut. 			<ul style="list-style-type: none"> N/A 	<ul style="list-style-type: none"> N/A
05	Melaporkan pengurasan lumpur IPAL pada dinas terkait <ul style="list-style-type: none"> Petugas IPAL melakukan konfirmasi pemindahan lumpur pada IPLT Keputih & melaporkan kegiatan pengurasan lumpur IPAL pada dinas terkait. 			<ul style="list-style-type: none"> Draft Formulir Pengurasan Lumpur IPAL 	<ul style="list-style-type: none"> Formulir Pengurasan Lumpur IPAL

**FORMULIR OPERASIONAL
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
SENTRA WISATA KULINER BRATANG BINANGUN
SURABAYA**

22 JULI 2022

	Formulir Operasional Instalasi Pengolahan Air Limbah SWK Bratang Binangun	Nomor Dokumen	F.01
		Index	Formulir
	Formulir Pembersihan Manhole/Bak Kontrol SPAL	Tanggal Efektif	22 Juli 2022
		Klasifikasi Dokumen	UMUM
		Halaman	1 / 5

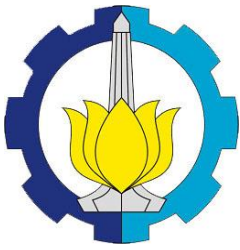
Bulan	Minggu								Catatan
	1		2		3		4		
	Jumlah	Total	Jumlah	Total	Jumlah	Total	Jumlah	Total	
Januari		13		13		13		13	
Februari		13		13		13		13	
Maret		13		13		13		13	
April		13		13		13		13	
Mei		13		13		13		13	
Juni		13		13		13		13	
Juli		13		13		13		13	
Agustus		13		13		13		13	
September		13		13		13		13	
Oktober		13		13		13		13	
November		13		13		13		13	
Desember		13		13		13		13	

	Formulir Operasional		Nomor Dokumen	F.04
	Instalasi Pengolahan Air Limbah SWK Bratang Binangun		Index	Formulir
	Formulir Permasalahan IPAL		Tanggal Efektif	22 Juli 2022
			Klasifikasi Dokumen	UMUM
			Halaman	5 / 5

Unit	Parameter	Kriteria	Ketidaksesuaian	Tindakan Penanganan
Grease Trap	Minyak & Lemak	Terdapat lapisan minyak	Tidak terdapat lapisan minyak	Periksa kebocoran pada pipa penghubung / pipa outlet
ABR	Volume & Debit	Sesuai perencanaan	Volume Air limbah meluber / Debit melambat	Periksa kinerja pompa, aliran listrik, pelampung air, sensor, dan saringan air limbah
	pH	Tidak terlalu asam	pH < 6,0	Kondisikan pH agar tidak terlalu asam dengan menambah larutan NaOH
	TSS	Sesuai perencanaan	Melebihi kapasitas perencanaan	Periksa apakah terjadi short circuit, hydraulic overload, kondisi pompa air limbah apakah terendam lumpur, periksa bak Grease Trap
	Efisiensi Pengolahan	Sesuai / lebih baik dari perencanaan	Efisiensi rendah	Periksa OLR dalam reaktor serta kandungan nutrisi, dan waktu retensi
BAF	DO	2 - 6	< 2	Periksa kinerja blower udara dan diffuser
	Blower Udara	Menghembuskan udara	Tidak bekerja	Periksa aliran listrik & komponen mekanis blower, Menyalakan blower udara cadangan
	Diffuser	Hembusan udara merata	Tidak merata	Periksa penyumbatan pada diffuser
	Efisiensi Pengolahan	Sesuai / lebih baik dari perencanaan	Efisiensi rendah	Periksa OLR dalam reaktor serta kandungan nutrisi, waktu retensi, kondisi media, & kinerja blower
Bak Pengendap	TSS	Mengendap	Tidak mengendap	Periksa apakah terjadi short circuit, hydraulic overload, penumpukan lumpur, kerusakan pada baffle, media BAF jenuh
	Debit	Sesuai perencanaan	Terlalu rendah	Periksa penyumbatan pada pipa inlet, apabila diakibatkan media BAF yang tersumbat maka perlu dilakukan pencucian/regenerasi media
UV Disinfection Chamber	Lampu UV	Menyala	Tidak menyala	Periksa aliran listrik lampu UV
	Bau	Tidak berbau	Bau menyengat	Periksa kinerja blower apakah tidak maksimal









	Formulir Operasional		Nomor Dokumen	F.05
	Instalasi Pengolahan Air Limbah SWK Bratang Binangun		Index	Formulir
	Formulir Pengurasan Lumpur IPAL		Tanggal Efektif	22 Juli 2022
			Klasifikasi Dokumen	UMUM
			Halaman	6 / 5

Unit	Pengurasan Lumpur												Catatan
	2023				2024				2025				
	Jadwal	Tgl. Terlaksana	Volume (m3)	Biaya (Rp)	Jadwal	Tgl. Terlaksana	Volume (m3)	Biaya (Rp)	Jadwal	Tgl. Terlaksana	Volume (m3)	Biaya (Rp)	
ABR													
BAF													
Bak Pengendap													



KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Fauzi Nur Rochim
NRP : 0321184000062
Judul : Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Sentra Wisata Kuliner Bratang Binangun, Surabaya

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	5 Januari 2022	Asistensi judul tugas akhir	
2	17 Januari 2022	Asistensi proposal Bab 1-3 <ul style="list-style-type: none">• Abstrak• Latar Belakang• Tinjauan Pustaka• Metode perencanaan	
3	14 Februari 2022	Asistensi revisi seminar proposal	
4	15 April 2022	Asistensi hasil uji kualitas air limbah di SWK Bratang Binangun <ul style="list-style-type: none">• Pembahasan alternatif pengolahan• Pembahasan hasil uji kualitas air limbah	
5	12 Mei 2022	Asistensi persiapan seminar kemajuan TA	
6	8 Juni 2022	Asistensi revisi seminar progress <ul style="list-style-type: none">• Slope SPAL• Penanganan lumpur IPAL	
7	21 Juni 2022	Asistensi SOP pengoperasian & perawatan IPAL	
8	22 Juni 2022	Asistensi perawatan unit Grease Trap	

Surabaya, 24 Juni 2022
Dosen Pembimbing


Dr. Ir. Agus Slamet, M. Sc.



UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu, 6 Juli 2022
Pukul : 09.15-10.30 WIB
Lokasi : TL-101
Judul : Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sentra Wisata Kuliner Bratang Binangun, Surabaya
Nama : Fauzi Nur Rochim
NRP. : 03211840000062
Topik : Perencanaan

Nilai TOEFL 550

Tanda Tangan

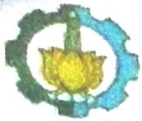
No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
1.	Perletakan pompa tidak di Unit Sedimenta
2.	Cara penulisan sipasi, bisa lebih dari 2. ditulis di atas atau etal.
3.	Banyak label betul, di lek kembali.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Agus Slamet, MSc



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
 Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
 Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
 Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu, 6 Juli 2022
 Pukul : 09.15-10.30 WIB
 Lokasi : TL-101
 Judul : Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sentra Wisata Kuliner Bratang Binangun, Surabaya
 Nama : Fauzi Nur Rochim
 NRP. : 03211840000062
 Topik : Perencanaan

8. Cara Menulis MPN $\rightarrow 2.2 \times 10^8$ MPN/1000 L
 (hal 66)

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1	Perbaiki semua salah tdk, Cara menulis
2	Abstrak : harus ada tujuan penelitian, Pada metode tidak ada lagi kata "AKAN" krn TA sblh selesai
3	Referensi lengkap : yg. Arcantion di judul tdk usul dulang
4	Gunakan et al. atau dkk. utk sitasi penulis bila > 2
5	Tulis nama spesies dgn. benar (misal di hal 12)
6	Font disamakan utk seluruh halaman. (misal hal 16)
7	Daftar pustaka tidak lengkap. "Sasse (2009)" tidak ada. Check yg. lain
8	Pertanyaan :
1	Dibutuhkan tahap ² dalam proses biodegradasi aerobik.
2	Mpn perbedaannya dgn. proses aerobik?
3	Apakah hasil penelitian Sasse (2009) dapat digeneralisasi?
4	Unit disinfectasi dgn UV \rightarrow kriteria lampu berapa lumen? 18,2 w/m = berapa lumen. Pada bagian terdalem (inkubator) apakah intensitas (lumen) UV \rightarrow lampu yg. digunakan yg. w?
5	Biaya operasional IPAL \rightarrow bedah finansial pengangkutan & pembuangan lumpur? 6) Removal NH ₃ 90% dgn. BAF apakah bisa?

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
 Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
 Formulir ini harus mahasiswa dibawa seal asistensi kepada Dosen Penguji
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M App.Sc
 Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agus Slamet, MSc.

(Peny 5)
 Agus Slamet



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu, 6 Juli 2022
Pukul : 09.15-10.30 WIB
Lokasi : TL-101
Judul : Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sentra Wisata Kuliner Bratang Binangun, Surabaya
Nama : Fauzi Nur Rochim
NRP. : 03211840000062
Topik : Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1	Gambar skala dan potongan harus sama
2	pompa di ramb lebih baik fedinera
3	gambar ke lokan manhole, pipa ventilasi dibuat tinggi.
4	Apa tdk perlu screen.
5	Biaya investasi lok tdk ujd pstrid.

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji : Ir. Bowo Djoko Marsono, M. Eng

Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agus Siamet, MSc

(Bowo Marsono)
(Agus Siamet)



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR

Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)

No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu, 6 Juli 2022

Pukul : 09.15-10.30 WIB

Lokasi : TL-101

Judul : Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sentra Wisata Kuliner Bratang Binangun, Surabaya

Nama : Fauzi Nur Rochim

NRP. : 0321184000062

Topik : Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1	Cek penulisan
2	pasukan lagi posisi filter di bawah air (pneumatis)
3	perhitungan lagi penggunaan UV untuk air ubah social atau tidak
4	sub alfa gabung layout IPAL lengkap.
5	Tabel 4.24, 25, 26; 4.29, 30, 31 : data di pedoman salah

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana

Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Ervin Nurhayati, S.T., M.T., Ph.D.

Dosen Pembimbing Dr. Ir. Agus Slamet, MSc.

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Mojokerto, 01 Maret 2000. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Kebonsari 3/416 Surabaya (2006-2012), SMP Negeri 22 Surabaya (2012-2015), dan SMA Negeri 15 Surabaya (2015-2018). Setelah lulus SMA pada tahun 2018, penulis mengikuti Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) dan diterima di Departemen Teknik Lingkungan FTSPK-ITS dengan NRP 03211840000062. Selama duduk di bangku perkuliahan, penulis aktif berperan dalam organisasi kemahasiswaan dalam tingkat departemen, yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) sebagai anggota staff *Environmental Engineering English Club* (EEEC) pada tahun 2019/2020 hingga kemudian menjadi Presiden atau ketua komunitas *Environmental Engineering English Club* (EEEC) pada tahun 2020/2021. Selain itu, penulis juga aktif di berbagai kepanitiaan dalam lingkup departemen, fakultas, dan ITS. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email Fauro3a@gmail.com.