



TUGAS AKHIR - CL234801

**KAJIAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH
RUMAH SAKIT KELAS C**

**RAVELITA VIVI ANGELIA
NRP 5014201088**

Dosen Pembimbing

**Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19600308 198903 1 001**

**Program Studi Teknik Lingkungan
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2024**



TUGAS AKHIR - CL234801

**KAJIAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH
RUMAH SAKIT KELAS C**

**RAVELITA VIVI ANGELIA
NRP 5014201088**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19600308 198903 1 001**

**Program Studi Teknik Lingkungan
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2024**



FINAL PROJECT - CL234801

**STUDY OF CLASS C HOSPITAL WASTEWATER
TREATMENT BUILDING**

**RAVELITA VIVI ANGELIA
NRP 5014201088**

Advisor

**Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19600308 198903 1 001**

**DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

KAJIAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH RUMAH SAKIT KELAS C

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

Ravelita Vivi Angelia

NRP. 5014201088

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

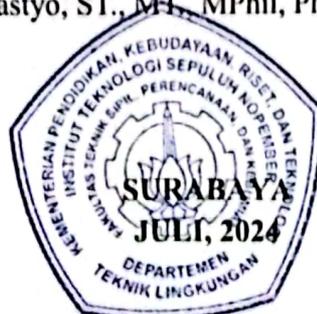
1. Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, M.Sc., Ph.D.
2. Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc
3. Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D
4. Prof. Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT, MPhil, PhD

Pembimbing

Penguji

Penguji

Penguji



PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama mahasiswa/NRP : Ravelita Vivi Angelia / 5014201088
Program Studi : S-1 Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing / NIP : Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, M.Sc., Ph.D. /
19600308 198903 1 001

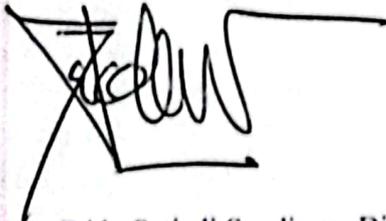
Menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Kajian Bangunan Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Kelas C" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah ilmiah.

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

Surabaya, Juli 2024

Mengetahui,
Dosen Pembimbing

Penulis



Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19600308 198903 1 001



Ravelita Vivi Angelia
NRP. 5014201088

ABSTRAK

KAJIAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH RUMAH SAKIT KELAS C

Nama Mahasiswa / NRP : Ravelita Vivi Angelia / 5014201088
Departemen : Teknik Lingkungan FTSPK- ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, MSc., PhD

Abstrak

Rumah sakit merupakan fasilitas rujukan penderita dan merupakan fasilitas yang memiliki kaitan erat dengan keberadaan masyarakat. Keberadaannya yang begitu penting bagi masyarakat membuat rumah sakit setidaknya harus bisa dijangkau dengan mudah oleh masyarakat. Namun dengan semakin banyak pembangunan fasilitas kesehatan atau rumah sakit ini bisa menimbulkan dampak bagi lingkungan. Dampak lingkungan yang dimaksudkan adalah pencemaran terhadap lingkungan dari limbah yang dihasilkan oleh rumah sakit. Air limbah yang dihasilkan oleh Rumah Sakit cukup potensial membahayakan bagi lingkungan. Maka sebelum dibuang ke badan air penerima dibutuhkan pengolahan air limbah terlebih dahulu. Instalasi pengolahan air limbah memiliki fungsi sebagaimana mengembalikan mutu air limbah sesuai baku mutu yang sesuai dengan regulasi yang berlaku yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016.

Dengan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2022 tentang Persyaratan Teknis Bangunan, Prasarana, dan Peralatan Kesehatan Rumah Sakit, dilakukan perencanaan bangunan pengolahan air limbah dengan menggunakan teknologi Biofilter Aerob. Biofilter merupakan unit pengolahan air limbah yang memanfaatkan mikroorganisme yang tumbuh dan berkembang melekat pada permukaan media yang membentuk lapisan lender yang dikenal sebagai lapisan biofilm. Biofilter merupakan teknologi yang cukup sering digunakan di Indonesia. Selain biofilter terdapat salah satu pengolahan alternatif yaitu Constructed Wetland.

Karakteristik air limbah diambil dari beberapa rumah sakit kelas C. Hasil uji laboratorium sampel air yaitu pH 8; Temperature 31,4°C; TSS 60,1 mg/L; COD 186,6 mg/L; BOD 93,1 mg/L; N 7,5 mg/L; dan Total koliform 11×10^5 . Alternatif pertama yang terdiri dari unit Grease Trap, Tangki septik, Biofilter Aerob menghasilkan effluen dengan efisiensi removal TSS 3 mg/L; BOD 11 mg/L; COD 29 mg/L; dan 1,1 mg/L. Alternatif kedua dengan unit Grease Trap, Tangki Septik, Constructed Wetland dan bak penampung menghasilkan effluent dengan efisiensi removal TSS 2 mg/L; BOD 7 mg/L; COD 12 mg/L; dan N 0,7

mg/L . Kedua alternatif memiliki hasil effluent yang memenuhi baku mutu dari Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016.

Konstruksi dari alternatif I, dengan bahan baku konstruksi beton dan untuk total luas yang diperlukan untuk alternatif 1 adalah 27,96 m² dan untuk alternatif 2 dengan bahan konstruksi yang sama diperlukan lahan sebesar 125,44 m². Perencanaan IPAL ini untuk tahapan investasi memiliki biaya yang dibutuhkan sebesar Rp 47.358.000,00 untuk alternatif I dan Rp 154.451.000,00 untuk alternatif II. Masing-masing alternatif memiliki kekurangan dan kelebihan dalam mengolah air limbah yang dihasilkan oleh rumah sakit. Maka pemilihan alternatif bisa dilakukan dengan melihat kondisi dan kebutuhan dari rumah sakit.

Kata Kunci: Air Limbah, IPAL, Rumah Sakit

ABSTRACT

STUDY OF CLASS C HOSPITAL WASTEWATER TREATMENT BUILDING

Student Name / NRP : Ravelita Vivi Angelia / 5014201088
Departement : Teknik Lingkungan FTSPK- ITS
Advisor : Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, MSc., PhD

Abstract

Hospitals are referral facilities for patients and are closely related to the community. Their importance to the community means that hospitals must be easily accessible. However, the increasing number of healthcare facilities or hospitals can have environmental impacts. The environmental impact referred to is pollution from the waste generated by hospitals. Hospital wastewater is potentially harmful to the environment. Therefore, before being discharged into receiving water bodies, wastewater treatment is required. Wastewater treatment plants function to restore wastewater quality to meet the standards set by regulations, specifically the Indonesian Ministry of Environment and Forestry Regulation No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016.

Based on the Indonesian Ministry of Health Regulation No. 40 of 2022 concerning Technical Requirements for Buildings, Infrastructure, and Hospital Health Equipment, the planning of wastewater treatment buildings uses Aerobic Biofilter technology. A biofilter is a wastewater treatment unit that utilizes microorganisms that grow and develop attached to the surface of the media, forming a slime layer known as biofilm. Biofilters are quite commonly used in Indonesia. Besides biofilters, another alternative treatment is Constructed Wetlands.

The characteristics of the wastewater were taken from a Class C hospital. Laboratory test results of the water sample are pH 8; Temperature 31.4°C; TSS 60.1 mg/L; COD 186.6 mg/L; BOD 93.1 mg/L; N 7.5 mg/L; and Total coliform 11×10^5 . The first alternative, consisting of a Grease Trap, Septic Tank, and Aerobic Biofilter, produces effluent with removal efficiencies of TSS 3 mg/L; BOD 11 mg/L; COD 29 mg/L; and N 1.1 mg/L. The second alternative, with a Grease Trap, Septic Tank, Constructed Wetland, and holding tank, produces effluent with removal efficiencies of TSS 2 mg/L; BOD 7 mg/L; COD 12 mg/L; and N 0.7 mg/L. Both alternatives produce effluent that meets the quality standards of the Indonesian Ministry of Environment and Forestry Regulation No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016.

The construction of Alternative I, using concrete construction materials, requires a total area of 27.96 m², while Alternative II, with the same construction materials, requires an area of 125.44 m². The investment cost for the planning of this wastewater treatment plant is

IDR 47.358.000,00 for Alternative I and IDR 154.451.000,00 for Alternative II. Each alternative has its advantages and disadvantages in treating hospital wastewater. Therefore, the choice of alternative can be made by considering the conditions and needs of the hospital.

Keywords: Wastewater, Wastewater Treatment Plant (IPAL), Hospital

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan Tugas Akhir mengambil judul “Kajian Bangunan Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Kelas C”

Dalam penulisan ini, penulis sampaikan terima kasih kepada:

1. ALLAH SWT yang telah memberikan ilmu yang begitu luas dan lapang rezeki dan ilmu berupa kelancaran dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua, Ayah dan Ibu yang selalu memberikan dukungan moral dan memfasilitasi dalam mengerjakan Tugas Akhir.
3. Bapak Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, M.Sc., Ph.D. , selaku dosen pembimbing yang membimbing penyusunan laporan tugas akhir ini dengan tulus dan ikhlas.
4. Bapak Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc, Bapak Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D, dan Bapak Prof. Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., MPhil, PhD, selaku penguji yang telah memberi masukan dan saran dalam penyusunan tugas akhir ini,
5. Saya, sendiri, Ravelita Vivi Angelia yang sudah mau berusaha menyelesaikan Tugas Akhir ini dari awal hingga akhir.
6. Serta teman – teman angkatan 2020 yang selalu mendukung.

Penulisan Tugas Akhir telah diusahakan semaksimal mungkin dan sebaik mungkin, namun tentunya masih belum sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan. Terima kasih.

Surabaya, 31 Juli 2024

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	12
1.1 Latar Belakang.....	12
1.2 Rumusan Masalah	13
1.3 Tujuan	13
1.4 Manfaat.....	13
1.5 Ruang Lingkup.....	13
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	15
2.1 Rumah Sakit	15
2.1.1 Klasifikasi Rumah Sakit.....	15
2.1.2 Rumah Sakit kelas C.....	16
2.1.3 Rumah Sakit kelas D.....	16
2.2 Limbah Cair Rumah Sakit.....	16
2.2.1 Jenis Limbah Cair Rumah Sakit	17
2.2.2 Sifat dan Karakteristik Limbah Cair Rumah Sakit	18
2.3 Peraturan Untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit.....	23
2.4 Sistem Pengolahan Air Limbah	24
2.5 Pemilihan dan Persyaratan Teknologi untuk Instalasi Pengolahan Air Limbah.....	25
2.6 Pengolahan Air Limbah.....	26
2.7 Instalasi Pengolahan Air Limbah	31
2.7.1 Biofilter	31
2.7.2. Constructed Wetland	36
2.7.3 Perangkap Minyak (Grease Trap).....	41
2.7.4 Tangki Septik.....	41
2.7.5 Disinfektan.....	42
BAB III METODE PENELITIAN	44
3.1 Kerangka Perencanaan	44

3.2 Rangkaian Kegiatan Perencanaan	45
3.2.1 Identifikasi Masalah	45
3.2.2 Penentuan Ide Judul Tugas Akhir	45
3.2.3 Survey Lokasi	45
3.2.4 Pengumpulan Data	46
3.2.5 Studi Literatur	46
3.2.6 Pengolahan Data	46
3.2.7 Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Limbah	46
3.2.8 Hasil dan Pembahasan	48
3.2.9 Kesimpulan dan Saran	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	50
4.1 Debit Air Limbah IPAL	50
4.2 Karakteristik Air Limbah	51
4.3 Alternatif Unit IPAL	52
4.4 Perhitungan Unit IPAL	53
4.4.1 Perencanaan Grease Trap	53
4.4.2 Perencanaan Tangki Septik	55
4.4.3 Perencanaan Biofilter Aerobik	62
4.4.4 Perencanaan Constructed Wetland	72
4.4.5 Perencanaan Disinfektan	76
4.5 Efisiensi removal setiap Alternatif	78
4.6 Rekapitulasi Perhitungan Dimensi Masing-Masing Unit IPAL	79
4.7 Penyusunan Bill of Quantity (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB)	79
4.5.1 BOQ dan RAB Pembersihan Lahan	80
4.5.2 BOQ dan RAB Unit Grease Trap Alternatif I dan II	80
4.5.3 BOQ dan RAB Unit Tangki Septik untuk Alternatif I dan II	82
4.5.4 BOQ dan RAB Unit Biofilter Aerobik untuk Alternatif I	84
4.5.5 BOQ dan RAB Unit Constructed Wetland untuk Alternatif II	87
4.5.6 Rekapitulasi RAB	89
4.8 Rekapitulasi Alternatif Bangunan IPAL	90
BAB V KESIMPULAN	91
DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Siklus Nitrogen di Lingkungan Perairan.....	20
Gambar 2. 2 Degradasi Anaerobik Senyawa Organik.....	28
Gambar 2. 3 Biofilter Anaerobic-Aerobic.....	33
Gambar 2. 4 Mekanisme Proses Metabolisme dalam Sistem Biofilm.....	34
Gambar 2. 5 Proses Pengolahan Air Limbah dengan Biofilter Anaerobik-Aerobik.....	36
Gambar 2. 6 Skema Horizontal Sub Surface Flow Constructed wetland.....	37
Gambar 2. 7 Tanaman Kanna atau Bunga Tasbih.....	40
Gambar 3. 1 Diagram Alir Kerangka Perencanaan Tugas Akhir.....	45
Gambar 3. 2 Diagram Alir Unit Pengolahan Air Limbah.....	47
Gambar 4. 1 Diagram Alir Salah Satu IPAL rumah sakit kelas C.....	51
Gambar 4. 2 Skema Alternatif I IPAL.....	52
Gambar 4. 3 Skema Alternatif II IPAL.....	52
Gambar 4. 4 Grafik Faktor HRT.....	56
Gambar 4. 5 Grafik Rasio $BOD_{removal}/COD_{removal}$	57
Gambar 4. 6 Grafik Faktor Reduksi Lumpur.....	58
Gambar 4. 7 Grafik Faktor Temperatur.....	63
Gambar 4. 8 Grafik Faktor Load.....	63
Gambar 4. 9 Grafik Faktor Strength.....	64
Gambar 4. 10 Grafik Faktor Permukaan Filter.....	64
Gambar 4. 11 Grafik Faktor HRT.....	65
Gambar 4. 12 Grafik Faktor Efisiensi BOD_{rem}/COD_{rem}	65
Gambar 4. 13 Aerator.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Fasilitas Pelayanan Kesehatan.....	21
Tabel 2. 2 Baku Mutu Kualitas Air Limbah Air Limbah Domestik	22
Tabel 2. 3 Hasil Uji Laboratorium Rumah Sakit Kelas C.....	22
Tabel 2. 4 Pembobotan Untuk Pemilihan Biofilter	32
Tabel 2. 5 Karakteristik Tipikal Media Untuk Sub-Surface Flow.....	38
Tabel 2. 6 Kelebihan dan Kekurangan Constructed Wetland.....	39
Tabel 2. 7 Kriteria Desain Tangki Septik	42
Tabel 2. 8 Karakteristik Tipikal Media Untuk Sub-Surface Flow.....	72
Tabel 3. 1 Baku Mutu Kualitas Air Limbah Air Limbah Domestik	48
Tabel 4. 1 Standar Kebutuhan Air menurut Kelas Rumah Sakit dan Jenis Rawat	50
Tabel 4. 2 Hasil Uji Laboratorium Karakteristik Air Limbah Medis IPAL Rumah Sakit Kelas C	51
Tabel 4. 3 Perbandingan antara Biofilter Aerobik dan <i>Constructed Wetland</i>	52
Tabel 4. 4 Efisiensi removal Constructed Wetland	73
Tabel 4. 5 Efisiensi Removal Alternatif I.....	78
Tabel 4. 6 Efisiensi Removal Alternatif II	78
Tabel 4. 7 Rekapitulasi Perhitungan Dimensi Masing-Masing Unit IPAL	79
Tabel 4. 8 Rencana Anggaran Biaya Pembersihan Lahan.....	80
Tabel 4. 9 Jumlah pipa dan aksesoris pipa unit Grease Trap Alternatif I dan II.....	81
Tabel 4. 10 Rencana Anggaran Biaya Grease Trap.....	81
Tabel 4. 11 Jumlah pipa dan aksesoris pipa unit Tangki Septik Alternatif I dan II.....	83
Tabel 4. 12 Rencana Anggaran Biaya Tangki Septik Alternatif I dan II	84
Tabel 4. 13 Jumlah Pipa dan Aksesoris Unit Biofilter	85
Tabel 4. 14 Jumlah Media PVC Sarang Tawon Unit Aerobic Biofilter	85
Tabel 4. 15 Rencana Anggaran Biaya Biofilter.....	86
Tabel 4. 16 Jumlah pipa dan aksesoris pipa unit CW	87
Tabel 4. 17 Rencana Anggaran Biaya Unit CW.....	88
Tabel 4. 18 Rekapitulasi RAB Alternatif I dan II.....	89

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang dalam kategori sedang berkembang, hal ini dibuktikan upaya Pembangunan fasilitas sedang banyak dilakukan secara massal. Tak terkecuali Kota Surabaya, Kota metropolitan terbesar kedua setelah Jakarta ini juga sedang memaksimalkan pembangunan fasilitas yang ada. Salah satu fasilitas adalah fasilitas kesehatan sebagai contoh adalah Rumah Sakit. Rumah sakit merupakan fasilitas rujukan penderita dan merupakan fasilitas yang memiliki kaitan erat dengan keberadaan masyarakat. Keberadaannya yang begitu penting bagi masyarakat membuat rumah sakit setidaknya harus bisa dijangkau dengan mudah oleh masyarakat. rumah Sakit juga memiliki 4 kelas yang berdasarkan luas dan fasilitasnya. Terdapat rumah sakit dengan kelas A, B, C dan D sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 3 Tahun 2020 tentang Klasifikasi dan Perizinan Rumah Sakit.

Namun dengan semakin banyak jumlah rumah sakit akan menimbulkan dampak bagi lingkungan untuk masyarakat. Dampak lingkungan yang dimaksudkan adalah limbah yang dihasilkan oleh rumah sakit itu sendiri. Air limbah yang dihasilkan oleh Rumah Sakit cukup potensial membahayakan bagi lingkungan. Maka sebelum dibuang ke badan air penerima dibutuhkan pengolahan air limbah terlebih dahulu. Instalasi pengolahan air limbah memiliki fungsi sebagaimana mengembalikan mutu air limbah sesuai baku mutu yang sesuai dengan regulasi yang berlaku yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016. Selain itu, Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2022 tentang Persyaratan Teknis Bangunan, Prasarana, dan Peralatan Kesehatan Rumah Sakit mencantumkan jika Rumah sakit harus memiliki bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan persyaratan menyesuaikan kelas dari rumah sakit yang bersangkutan.

Air limbah rumah sakit dapat diartikan merupakan semua limbah yang dihasilkan dari semua kegiatan dari rumah sakit dalam bentuk padat, cair dan gas dengan karakteristik mengandung mikroorganisme yang bersifat pathogen, infeksius dan bersifat radioaktif. Limbah rumah sakit biasanya dibedakan jadi limbah medis dan non-medis. Limbah medis merupakan limbah hasil dari kegiatan rumah sakit. Limbah ini biasanya bersifat infeksius dan mengandung microorganism pathogen. Sedangkan limbah non-medis juga berasal dari kegiatan didalam rumah sakit namun tidak dari kegiatan medis. Seiringnya meningkatnya pelayanan kesehatan yang diberikan maka aktivitas kegiatan yang menghasilkan limbah yang bersifat infeksius maupun kegiatan limbah rumah sakit.

Tetapi tidak semua rumah sakit dapat dengan mudah menghadapi masalah ini, sebagai contoh misalnya rumah sakit kelas C. Rumah sakit kelas C merupakan klinik yang sudah menuju tahap rumah sakit yang dimana mereka menghadapi tantangan dalam menangani

limbah mereka. Sistem pengolahan air limbah yang tidak memadai dapat menyebabkan dampak negatif pada lingkungan sekitar dan kesehatan masyarakat. Kebutuhan akan perencanaan bangunan yang efektif untuk pengelolaan air limbah di rumah sakit menjadi semakin mendesak karena pertumbuhan jumlah pasien dan teknologi medis yang semakin maju. Spekulasi tantangan yang mungkin dihadapi oleh rumah sakit kelas C adalah keterbatasan lahan untuk sistem pengolahan air limbah, regulasi lingkungan yang ketat, dan keterbatasan biaya investasi dan operasional bangunan pengolahan air limbah. Terkadang Rumah sakit kelas C sudah memiliki instalasi pengolahan air limbah namun instalasi pengolahan air limbah mereka tidak didesain dengan baik yang dimana bisa saja terjadi kapasitas berlebihan pada IPAL-nya. Hal ini juga didukung dengan kurangnya pemeliharaan rutin dan tidak ada orang yang memiliki pemahaman khusus untuk merawat instalasi tersebut.

Untuk mengatasi masalah tersebut maka perlu direncanakan pengolahan air limbah dengan teknologi yang memudahkan pihak Rumah Sakit Kelas C. Dengan keterbatasan yang ada, maka akan terdapat pilihan rangkaian pengolahan menjadi alternatif yang disarankan. Hal ini tentunya harus didukung dengan teknologi yang dapat menghilangkan polutan organik. Perencanaan ini akan difokuskan pada pengolahan terhadap air limbah rumah sakit. Dilaksanakannya perencanaan ini adalah menargetkan hasil effluent limbah non-medis rumah sakit bisa memenuhi baku mutu sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian tersebut, permasalahan diatas perlu diselesaikan dengan rumusan yaitu:

1. Bagaimana merencanakan instalasi pengolahan air limbah di rumah sakit dengan sistem yang tepat agar effluent sesuai regulasi yang berlaku?

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Merencanakan instalasi pengolahan air limbah berdasarkan karakteristik air limbah sesuai baku mutu yang berlaku.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan referensi dalam sistem pengolahan air limbah rumah sakit dengan menggunakan metode biofilter anaerob aerob
2. Merancang desain instalasi pengolahan air limbah rumah sakit kelas C sehingga air limbah dapat memenuhi regulasi yang berlaku.
3. Dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang Lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Karakteristik air limbah rumah sakit yang digunakan meliputi BOD, COD, NH₃, TSS, pH, Suhu, dan mikroorganisme golongan koli.

2. Limbah yang direncanakan pada perencanaan ini hanya limbah yang bersumber dari dapur rumah sakit, grey water dan blackwater.
3. Desain instalasi pengolahan air limbah medis di rumah sakit kelas C
4. Perhitungan rancangan anggaran biaya (RAB) akan menggunakan Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya tahun 2020.
5. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2022 tentang Persyaratan Teknis Bangunan, Prasarana, dan Peralatan Kesehatan Rumah Sakit
6. Baku mutu air limbah yang digunakan adalah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016
7. Perencanaan ini dilakukan dari Bulan Februari 2023 hingga Juli 2024.
8. Aspek yang ditinjau adalah aspek teknis dan aspek biaya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rumah Sakit

Rumah sakit adalah institusi pelayanan kesehatan yang menyelenggarakan pelayanan kesehatan perorangan secara paripurna yang menyediakan pelayanan rawat inap, rawat jalan, dan gawat darurat (Permenkes No 3 Tahun 2020). Dan menurut WHO (World Health Organization), Rumah sakit merupakan bagian organisasi kesehatan dan sosial yang memiliki peran dalam penyediaan layanan kesehatan baik berupa paripurna (komprehensif), penyembuhan penyakit (kuratif), dan pencegahan penyakit (preventif) kepada masyarakat (Fani dkk.,2023)

Setiap rumah sakit diharuskan mendapatkan penetapan kelas dari Menteri. Setiap rumah sakit dapat meningkatkan kelasnya setelah lulus tahapan pelayanan akreditasi kelas dibawahnya. Penetapan kelas didasari oleh banyak faktor seperti jumlah tempat tidur, pelayanan yang dimiliki, tenaga medis yang bertugas, dan lain-lain. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 340/Menkes/PER/III/2010, Rumah sakit harus mempunyai kemampuan pelayanan sekurang-kurangnya pelayanan medik umum, gawat darurat, pelayanan keperawatan, rawat jalan, rawat inap, operasi/bedah, pelayanan medik spesialis dasar, penunjang medik, farmasi, gizi, sterilisasi, rekam medik, pelayanan administrasi dan manajemen, penyuluhan kesehatan masyarakat, pemulasaran jenazah, laundry, dan ambulance, pemeliharaan sarana rumah sakit, serta pengolahan limbah.

2.1.1 Klasifikasi Rumah Sakit

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 340/MENKES/PER/III/2010. Rumah sakit dapat diklasifikasikan berdasarkan fasilitas dan kemampuan pelayanan.

Untuk klasifikasi Rumah Sakit Umum dibagi menjadi 4, antara lain:

- a) Rumah Sakit Umum Kelas A
- b) Rumah Sakit Umum Kelas B
- c) Rumah Sakit Umum Kelas C
- d) Rumah Sakit Umum Kelas D

Untuk klasifikasi Rumah Sakit Khusus dibagi menjadi 4, antara lain:

- a) Rumah sakit khusus A
- b) Rumah sakit khusus B
- c) Rumah sakit khusus C

Pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 3 tahun 2020, telah diatur mengenai minimal jumlah tempat tidur dan fasilitas pelayanan yang dimiliki masing-masing kelas rumah sakit umum, antara lain:

- a) Rumah Sakit umum Kelas A memiliki tempat tidur paling sedikit 250 (dua ratus lima puluh) buah.
- b) Rumah Sakit umum Kelas B memiliki tempat tidur paling sedikit 200 (dua ratus) buah.
- c) Rumah Sakit umum kelas C memiliki jumlah tempat tidur paling sedikit 100 (seratus) buah.
- d) Rumah Sakit umum kelas D memiliki jumlah tempat tidur paling sedikit 50 (lima puluh) buah.

2.1.2 Rumah Sakit kelas C

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 340/MENKES/PER/III/2010, Rumah sakit kelas C adalah rumah sakit yang harus memiliki fasilitas kemampuan dasar pelayanan medik paling sedikit 4 (empat) pelayanan medik spesialis dasar dan 4 (empat) pelayanan spesialis penunjang medik. Kriteria, fasilitas dan kemampuan Rumah Sakit Umum Kelas C sebagaimana dimaksud pada ayat (1) pasal 14 pada bagian ketiga meliputi Pelayanan Medik Umum, Pelayanan Gawat Darurat, Pelayanan Medik Spesialis Dasar, Pelayanan Spesialis Penunjang Medik, Pelayanan Medik Spesialis Gigi Mulut, Pelayanan Keperawatan dan Kebidanan, Pelayanan Penunjang Klinik dan Pelayanan Penunjang Non Klinik. Dan untuk jumlah tempat tidur minimal 100 (seratus) buah.

2.1.3 Rumah Sakit kelas D

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 340/MENKES/PER/III/2010, Rumah sakit kelas D adalah rumah sakit yang diwajibkan mempunyai fasilitas dan kemampuan pelayanan medik paling sedikit 2 (dua) pelayanan medik spesialis dasar. Kriteria, fasilitas dan kemampuan Rumah Sakit Umum Kelas D sebagaimana dimaksud pada ayat (1) pasal 18 Bagian keempat meliputi Pelayanan Medik Umum, Pelayanan Gawat Darurat, Pelayanan Medik Spesialis Dasar, Pelayanan Keperawatan dan Kebidanan, Pelayanan Penunjang Klinik dan Pelayanan Penunjang Non Klinik. Dan untuk jumlah tempat tidur minimal 50 (lima puluh) buah.

2.2 Limbah Cair Rumah Sakit

Dalam kehidupan manusia, setiap aktivitas yang dilakukan akan menghasilkan limbah tak terkecuali fasilitas pelayanan kesehatan. Fasilitas pelayanan kesehatan sebagai pelayanan kesehatan sebagai institusi yang bersifat sosial ekonomis yang memiliki fungsi dan kewajiban memberikan pelayanan kesehatan kepada masyarakat. Akan tetapi fasilitas pelayanan kesehatan selain memberikan manfaat kepada masyarakat, juga menimbulkan dampak yang merugikan masyarakat yaitu limbah dari fasilitas pelayanan itu sendiri. Limbah adalah bahan buangan tidak terpakai yang bisa menimbulkan dampak negatif jika tidak dikelola dengan baik. Begitu pula untuk limbah yang dihasilkan oleh rumah sakit.

Air limbah yang dihasilkan biasanya sekitar 60-85% dari pemakaian air bersih. Limbah dari rumah sakit memiliki sifat infeksius (Air limbah yang berasal dari rumah sakit merupakan salah satu sumber pencemaran air yang sangat potensial. Hal ini disebabkan air limbah rumah sakit mengandung senyawa organik yang cukup tinggi sehingga memungkinkan mengandung senyawa kimia lain serta mikro-organisme patogen yang dapat menyebabkan penyakit terhadap masyarakat. Air limbah sendiri adalah seluruh air yang berasal dari sisa proses kegiatan. Untuk rumah sakit meliputi air limbah domestik, air limbah klinis, air limbah laboratorium, dan lain-lain (Dinda Rita K. Hartaja, 2017)

Ditinjau dari Permenkes No. 40 Tahun 2022, setiap rumah sakit sudah harus memiliki IPAL mereka sendiri. Limbah dari rumah sakit sendiri cukup berbahaya jika pengolahannya tidak tepat. Beberapa rumah sakit sudah memiliki IPAL yang baik namun dengan perawatan yang buruk maka akan menjadi sia-sia. Beberapa evaluasi dari data sekunder, menunjukkan IPAL rumah sakit tidak bisa memenuhi semua parameter (hanya beberapa parameter yang lolos), pemeliharaan yang tidak teratur, kapasitas yang kadang terlalu kecil atau terlalu besar hal ini dapat mengakibatkan biaya operasional meningkat. Ada beberapa evaluasi yang didapatkan pada beberapa rumah sakit adalah tidak semua parameter terpenuhi (seperti parameter N dan P), desain dari bangunan IPAL eksisting masih belum memenuhi kriteria desain (kekurangan atau kelebihan kapasitas), IPAL rumah sakit kurang mendapatkan pemeliharaan rutin sehingga menurunnya efisiensi dari suatu unit, Rumah sakit tidak menerapkan SOP atau keputusan apapun untuk pemeliharaan atau pengoperasian IPAL. Imbas dari banyak berita yang memberitakan bahwa limbah medis mulai mencemari sungai. Beberapa limbah medis padat dan juga ada yang cair.

Selain itu pemerintahan Indonesia juga sedang menggalakan pembangunan secara menyeluruh, termasuk pembangunan rumah sakit juga gencar dilakukan. Dikutip dari laman Kompas.com, “Keberadaan rumah sakit kementerian akan memperkuat sistem pelayanan kesehatan rujukan yang ada, dan menargetkan 4 rumah sakit akan dibangun” Jakarta, Kamis 2024. Dengan banyaknya rumah sakit, maka IPAL yang ekonomis, murah dan tidak membutuhkan lahan luas dibutuhkan. Metode pengolahan limbah cair rumah sakit dilakukan dalam suatu Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang ditentukan oleh sebagai berikut:

1. Regulasi yang berlaku untuk rumah sakit kelas C.
2. Karakteristik limbah cair.
3. Baku mutu effluent yang ingin dicapai (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016)

2.2.1 Jenis Limbah Cair Rumah Sakit

Menurut Wijaya (2005) dalam Batubara (2017), Limbah rumah sakit adalah limbah yang dihasilkan oleh kegiatan rumah sakit. Limbah cair rumah sakit biasanya mengandung bahan organik yang dapat diukur dengan parameter seperti BOD, COD, dan lain-lain. Jenis air limbah cair dalam rumah sakit serta sumber limbah tersebut sebagai berikut:

- a) Limbah Infeksius, merupakan limbah yang dihasilkan dari pasien dengan riwayat penyakit menular dalam suatu perawatan intensif, limbah cair yang berasal dari laboratorium, instalasi dari kamar jenazah.
- b) Limbah sitotoksik, merupakan jenis limbah yang mengandung zat sitotoksik. Limbah semacam ini dapat dihasilkan dari berbagai tempat di rumah sakit. Hal ini dikarenakan selama proses peracikan, pengangkutan sampai pada terapi ke pasien melibatkan banyak pihak.
- c) Limbah radioaktif, merupakan limbah yang terkontaminasi oleh radio isotop yang berasal dari terapi radiasi, unit radiologi serta laboratorium riset di rumah sakit.
- d) Limbah kimia, berasal dari sisa penggunaan berbagai bahan kimia medis.
- e) Limbah farmasi, limbah yang berasal dari sisa-sisa obat-obatan.

Selain yang sudah disebutkan diatas ada limbah cair domestik yang berasal dari kegiatan non medis rumah sakit seperti mencuci, aktivitas sehari-hari pasien, memasak, aktivitas dari kamar mandi, dan lain-lain.

2.2.2 Sifat dan Karakteristik Limbah Cair Rumah Sakit

Menurut Br Tarigan (2019), Limbah cair dapat dikelompokan menjadi 3, yaitu kimia, fisik, dan biologi. Berikut penjelasan setiap sifatnya.

a) Sifat Kimia

Zat kimia yang terkandung dalam limbah cair dikelompokan menurut jenis bahannya yaitu bahan organik dan bahan anorganik. Limbah cair berbahan organik sering ditemukan dalam kandungan air limbah dengan kadar protein sebesar 40-60%, karbohidrat sebesar 25-50% dan lemak sebesar 10%. Limbah cair berbahan anorganik diantaranya yaitu logam berat seperti Ni, Mg, Pb, Cr, Cu, Zn, dan Fe.

b) Sifat Fisik

Sifat fisik air limbah sangat menentukan derajat kekotoran air limbah yang mudah dilihat. Kandungan zat padat dijadikan efek estetika, bau, kejernihan dan warna. Limbah cair rumah sakit 99%, adalah sisanya terdiri dari partikel tidak terlarut.

c) Sifat Biologi

Sifat biologi atau sifat bakteriologi diketahui untuk menaksirkan Tingkat kekotoran air limbah sebelum dibuang ke badan air penerima. Mikroorganisme yang terdapat di dalam air limbah dapat diklasifikasikan menjadi Protista yang dapat meliputi bakteri, protozoa, alga, dan jamur. Mikroorganisme patogen dapat membahayakan kesehatan masyarakat. Limbah cair yang tidak dikelola terlebih dahulu dapat mencemari air permukaan dan air tanah. Bukan hanya mencemari tapi juga akan mengganggu ekosistem biota pada badan air.

Parameter yang digunakan untuk kualitas air limbah didalam studi ini adalah *Total Suspended Solid* (TSS), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), pH, temperature, nitrogen (N), fosfor (P), dan MPN- Kuman Golongan koli. Berikut merupakan penjelasan masing-masing parameter

1. *Total Suspended Solid (TSS)*

Menurut Tchobanoglus (2014), TSS adalah jumlah partikel padat yang tidak larut dalam air (padatan tersuspensi). Jika air limbah yang tidak diolah dan langsung dibuang ke badan air, TSS dapat menyebabkan terbentuknya endapan lumpur. Pengujian TSS digunakan untuk mengevaluasi efektifitas proses pengolahan konvensional dan pentingnya filtrasi effluent untuk keperluan daur ulang air. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi TSS didalam air limbah seperti koagulasi dan flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi.

2. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

BOD adalah jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi material karbon. Jika oksigen tersedia dalam jumlah yang cukup, dekomposisi biologis zat organik secara aerobik dapat berlangsung sampai semua zat organik terurai. Pengujian BOD digunakan untuk menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk stabilisasi biologis zat organik, menentukan ukuran fasilitas pengolahan air limbah, mengukur efisiensi beberapa proses pengolahan air limbah dan sebagai baku mutu standar kualitas air limbah (Tchobanoglus, 2014). Seperti pada regulasi baku mutu air limbah Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 tentang Baku mutu limbah untuk industry dan/atau kegiatan usaha lainnya, kandungan BOD dalam air limbah rumah sakit maksimal sebesar 30 mg/L. Baku mutu yang sama yang diterapkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016.

3. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi zat organik dalam air limbah secara kimia menggunakan dikromat dalam larutan asam. Dalam pengolahan biologis, fraksi partikulat yang terlarut dari COD dibagi menjadi COD terlarut yang mudah terbiodegradasi, COD koloid dan partikel yang lambat terbiodegradasi, COD larut yang tidak terbiodegradasi, serta COD koloid dan partikel yang tidak terbiodegradasi. Biodegradasi adalah proses alami dimana mikroorganisme seperti bakteri, jamur dan alga menguraikan bahan organik menjadi lebih sederhana seperti karbon dioksida, air dan biomassa. Rasio BOD/COD untuk air limbah rumah sakit biasanya 0,6. Untuk parameter COD pada baku mutu air limbah Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 tentang Baku mutu limbah untuk industry dan/atau kegiatan usaha lainnya, kandungan COD dalam air limbah rumah sakit maksimal sebesar 80 mg/L dan untuk regulasi Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 sebesar 100 mg/L

4. *Temperatur*

Temperatur adalah tingkat panas atau dingin dari suatu benda, ruangan, atau lingkungan. Satuan temperature terdapat Reamur, Celcius, Kelvin, dan Fahrenheit. Dapat diukur dengan termometer

5. *pH*

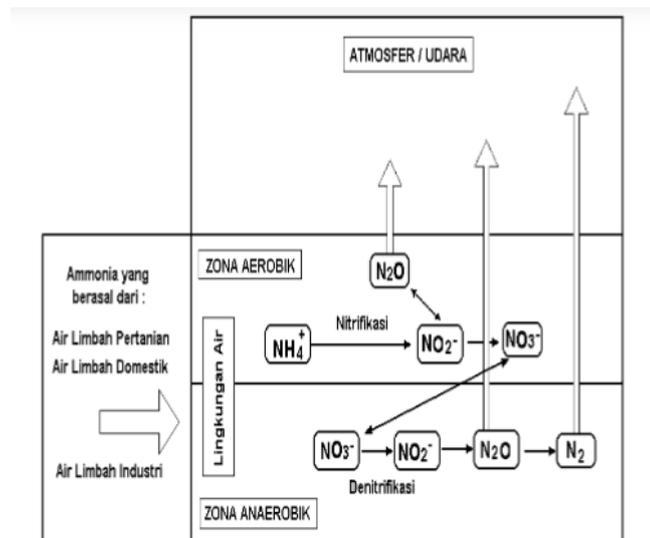
pH (*Puissance de Hydrogen*) adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingka keasaman dan kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. pH didefinisikan sebagai kolomgaritma aktivitas ion hydrogen (H^+) yang larut. Koefisien aktivitas ion hydrogen tidak dapat diukur secara eksprimental, sehingga nilai dari pH didasarkan teoretis (Antoni, 2017). Air murni bersifat netral, dengan pH 7 pada suhu 25°C. Dan pada air limbah untuk baku mutunya dari regulasi Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 tentang Baku mutu limbah untuk industry dan/atau kegiatan usaha lainnya dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 ditetapkan pH sebesar 6 – 9.

6. Nitrogen (N)

Nitrogen (N) adalah elemen penting dalam sintesis protein, dan data nitrogen diperlukan untuk menilai kemungkinan pengolahan air limbah menggunakan proses biologis. Jika kandungan nitrogen tidak mencukupi, maka diperlukan penambahan nitrogen agar limbah dapat diolah. Namun, untuk mengendalikan pertumbuhan alga dibadan air, nitrogen harus disingkirkan sebelum dibuang. Bentuk nitrogen paling umum dan penting dalam air limbah dan kesesuaian oksidasinya dalam air tanah adalah ammonia (NH_3), ammonium (NH_4^+), gas nitrogen (N_2), ion nitrit (NO_2^-), ion nitrat (NO_3^-) (Rosalina, 2017). Ammonia nitrogen terdapat pada larutan dalam bentuk ion ammonium (NH_4^+), sesuai dengan persamaan reaksi berikut:



Untuk parameter N pada baku mutu air limbah Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 tentang Baku mutu limbah untuk industry dan/atau kegiatan usaha lainnya, kandungan N dalam air limbah rumah sakit maksimal sebesar 0,1 mg/L dan untuk regulasi Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 sebesar 10 mg/L.



Gambar 2. 1 Siklus Nitrogen di Lingkungan Perairan

Sumber: Marsidi, 2002

7. Fosfor (P)

Fosfor (P) dalam air limbah dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu partikulat dan terlarut. Setiap jenis ini dapat dibedakan menjadi reaktif dan non reaktif. Air limbah domestik biasanya mengandung fosfor dalam bentuk P dengan konsentrasi antara 3,7 hingga 11 mg/L. Bentuk terlarut dari fosfor yang ditemukan dalam larutan meliputi orthophosphat (reaktif), polyphosphat (dapat terhidrolisis oleh asam), dan fosfat organik (dapat diendapkan). Contoh orthophosphat PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$, H_3PO_4 dapat digunakan untuk metabolisme biologis tanpa dipecah lagi. Untuk parameter P pada baku mutu air limbah Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 tentang Baku mutu limbah untuk industry dan/atau kegiatan usaha lainnya, kandungan P dalam air limbah rumah sakit maksimal sebesar 0,1 mg/L (Rosalina, 2017).

8. MPN-Kuman Golongan Koli

Kualitas air limbah selain mencakup aspek fisik dan kimia juga aspek biologis. Kualitas mikrobiologis diukur dengan indikator jumlah kuman (MPN koliform). Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 tentang Baku mutu limbah untuk industry dan/atau kegiatan usaha lainnya batas maksimum adalah 10,000 mg/L dalam 100 mg/L. E. Coli meskipun merupakan bagian mikroba normal dalam saluran pencernaan, dapat membahayakan kesehatan jika masuk ke dalam saluran pencernaan dalam jumlah besar. Beberapa galur E.Coli diketahui dapat menyebabkan gastroenteritis dari tingkat sedang hingga parah pada manusia dan hewan. Oleh karena itu, air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari harus bebas dari kontaminasi E.Coli.

Adapun standar baku mutu air limbah untuk kegiatan fasilitas pelayanan kesehatan menurut Lampiran XLIV Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Fasilitas Pelayanan Kesehatan

Parameter	Konsentrasi Paling Tinggi	
	Nilai	Satuan
	Fisika	
Suhu	38	°C
Zat padat terlarut	2000	mg/L
Zat padat tersuspensi	200	mg/L
	Kimia	
pH	6 – 9	
BOD	50	mg/L
COD	80	mg/L
TSS	30	mg/L
Minyak dan lemak	10	mg/L

Parameter	Konsentrasi Paling Tinggi	
	Nilai	Satuan
MBAS	10	mg/L
Amonia Nitrogen	10	mg/L
Total Coliform	5000	(MPN/100 ml)

Sumber: Lampiran XLIV Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2014

Tabel 2. 2 Baku Mutu Kualitas Air Limbah Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Baku Mutu
pH	-	6 – 9
TSS	mg/L	30
COD	mg/L O ₂	100
BOD	mg/L O ₂	30
NH ₃ Bebas	mg/L NH ₃ -N	10
Minyak dan lemak	mg/L	5

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016

Pada tabel 2.2 terdapat delapan parameter yang wajib dipenuhi oleh setiap rumah sakit. Berikut beberapa contoh hasil uji lab dari beberapa rumah sakit kelas C. Tabel ini ditampilkan sebagai pembandingan beberapa rumah sakit dengan kelas yang sama namun lokasi yang berbeda. Berikut tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Hasil Uji Laboratorium Rumah Sakit Kelas C

Parameter	Baku Mutu	Jenis Rumah sakit				
		Rumah Sakit Tipe C	Rumah Sakit Tipe C	Rumah Sakit Tipe C	Rumah Sakit Kelas D	Rumah Sakit Tipe C
Temperatur C	30	25	25	-	-	-
pH	6 - 9	6,7	5,71	6,53	7,78	-
TSS (mg/L)	30	116	105	11	17,5	51,0
COD (mg/L)	80	181	606	38	56,73	51,5
BOD (mg/L)	30	110	289	26	15,13	25,3
N (mg/L)	0,1	14	15,2	0,01	5,82	2,4
P (mg/L)	2	4,64	-	-	-	0,12
Total Koli (MPN/100mL)	10000	280 x 10 ⁸	28000	-	-	-

Sumber literatur	Batubara, G. O. (2017)	Suwondo, Wan Syafi'i, dkk (2016)	Makaraung, TE, Mangangka, IR, & Legrans, RRI (2022).	Purwaningrum, SI, & Syarifuddin, H (2023)	Abduh, M, Gafur, A, Ikhtiar, M, Baharuddin, A, dkk (2024).
-------------------------	------------------------	----------------------------------	--	---	--

2.3 Peraturan Untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit

Setiap rumah sakit kelas apapun harus memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Hal ini tercantum dalam Permenkes No. 24 Tahun 2016 pada BAB III Prasarana Rumah Sakit pasal 18 disebutkan jika prasarana rumah sakit meliputi:

- a) Instalasi Air
- b) Instalasi mekanikal dan elektrikal
- c) Instalasi gas medik dan vakum medik
- d) Instalasi uap
- e) Instalasi pengolahan limbah
- f) Pencegahan dan penanggulangan kebakaran
- g) Petunjuk
- h) Instalasi tata udara
- i) Sistem informasi dan komunikasi, dan
- j) Ambulan

Dan pada bagian keenam Instalasi Pengolahan Limbah pasal 27, Instalasi pengolahan limbah meliputi

- a) Instalasi pengelolaan limbah padat
- b) Instalasi pengelolaan limbah cair
- c) Instalasi pengelolaan limbah gas
- d) Instalasi pengelolaan limbah gas
- e) Instalasi pengelolaan limbah radioaktif, dan
- f) Instalasi pengelolaan limbah bahan beracun dan berbahaya (B3)

Untuk instalasi air limbah, dijelaskan lebih rinci didalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2022 tentang Persyaratan Teknis Bangunan, Prasarana, dan Peralatan Kesehatan Rumah Sakit. Di dalam regulasi tersebut dicantumkan beberapa poin penting, sebagai berikut

- a) Sumber buangan air kotor
- b) Perkiraan perhitungan kapasitas air limbah dirumah sakit adalah 500 liter x jumlah tempat tidur.
- c) Untuk penyaluran air limbah, terdiri dari pompa sewage dan pipa jaringan distribusi.
- d) Semua air buangan yang dihasilkan dari aktivitas rumah sakit disalurkan ke IPAL.
- e) Sumber dan karakteristik limbah cair.

- f) Proses penyaluran air limbah ruang-ruang di RS, yaitu dengan cara dialirkan ke *septic tank* (sebagai *pretreatment*) terlebih dahulu, selanjutnya limpasannya disalurkan ke IPAL.
- g) Penanganan penyaluran air limbah terkait *Green Hospital*.
- h) Pertimbangan dalam pemilihan teknologi IPAL.

2.4 Sistem Pengolahan Air Limbah

Menurut Tchobanoglous (2002), Sistem pengolahan air limbah tersusun dari metode unit operasi dan unit proses pengolahan yang terintegrasi sehingga mampu membentuk pengolahan air limbah terpadu. Penyisihan polutan selama pengolahan tergantung pada konsep setiap tahapan pengolahan dan efisiensi dari setiap tahapan pengolahan. Konsep dari unit operasi dan unit proses dapat disusun secara acak karena dapat dilakukan secara bergantian dengan susunan yang tepat dan disesuaikan dengan kegunaan serta konsep dari setiap unit yang digunakan. Metode pengolahan air limbah dapat dibagi menjadi tiga yaitu:

- a) Pengolahan fisik
Pengolahan fisik adalah metode pengolahan dimana pengolahan terhadap pencemar yang terlihat dari air limbah seperti partikel atau kotoran. Contoh unit pengolahan fisik adalah penyaringan (*screening*), perangkap minyak (*grease trap*), grit chamber, dan sedimentasi
- b) Pengolahan biologis
Pengolahan biologis adalah metode pengolahan untuk menghilangkan polutan dengan bantuan mikroorganisme atau bakteri. Contoh unit pengolahan biologis ada *Tricking Filter*, Lumpur Aktif, *Biofilter*, dan lain-lain.
- c) Pengolahan kimia
Pengolahan kimia adalah proses penghilangan polutan dengan penambahan zat kimia selama proses. Adapun proses kimia seperti presipitasi, adsorpsi dan disinfeksi.

Pada pengolahan air limbah untuk rumah sakit dijelaskan didalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 40 tahun 2022, sebagai berikut

1. Didalam rancangan instalasi gedung sebaiknya dilakukan pemisahan terhadap pemipaan grey water dan black water
2. Proses penyaluran air kotor dari toilet, laundry, perkantoran dan ruang-ruang lain dialirkan menuju ke septic tank terlebih dahulu, selanjutnya limpasannya disalurkan menuju Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Dalam hal ini septic tank / bak control yang dimaksud berfungsi sebagai pretreatment untuk pengendapan lumpur. Dengan demikian keluaran dair septic tank tersebut berupa limpasan limbah cair yag disalurkan ke Instalasi Air Kotor untuk diolah lebih lanjut ke sistem IPAL.
3. Untuk proses penyaluran air kotor dari dapur dialirkan menuju bak control pemisahan kotoran padat, selanjutnya dialirkan menuju bak pemisah lemak (*grease trap*) selanjutnya limpasannya disalurkan ke Instalasi pengolahan air limbah (IPAL).

4. Proses penyaluran air kotor dari laboratorium dialirkan ke alat pengolahan fisika kimia untuk netralisasi, selanjutnya limpasannya disalurkan ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).
5. Hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam penyaluran air kotor:
 - a. Meniadakan sistem bidang rembesan untuk memperbaiki kualitas air tanah dan air tanah dilingkungan rumah sakit
 - b. Menghindari terjadinya pertemuan antara jaringan pipa air bersih dan air kotor.
 - c. Menghindari seringnya pengurasan tangka septic.
6. Pertimbangan tetap menggunakan tangki septic adalah sebagai berikut:
 - a. Padatan (tinja) tertampung dalam tangki sehingga *excess sludge* dalam IPAL berkurang.
 - b. Mengurangi beban IPAL dan menghindarkan timbulnya bau dari padatan solid yang tidak terdekomposisi sempurna.
 - c. Sebagai tangki ekualisasi.
 - d. Mengurangi pipa diameter penyaluran air limbah
 - e. Mengurangi kemungkinan *clogging* dan memudahkan penyaluran air limbah ke IPAL (meniadakan kebutuhan air untuk menggelontor saluran).

2.5 Pemilihan dan Persyaratan Teknologi untuk Instalasi Pengolahan Air Limbah

Dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2022, dalam melakukan pemilihan teknologi IPAL ada beberapa yang harus diperhatikan dan dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

- a) Teknologi IPAL yang akan digunakan sudah memiliki register teknologi ramah lingkungan yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- b) Melakukan studi tipologi model teknologi IPAL yang sudah terpasang di rumah sakit lain yang sudah memiliki izin pembuangan limbah cair (IPLC).
- c) Meminta dokumen hasil uji laboratorium satu tahun terakhir terhadap IPAL yang ditinjau tersebut diatas.
- d) Operator IPAL harus memiliki sertifikat berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.5/MENLHK/SETJEN/KUM.1/2/2018 tentang Standar dan Sertifikasi Kompetensi Penanggung Jawab Operasional Pengolahan Air Limbah dan Penanggung Jawab Pengendalian Pencemaran Air.
- e) IPAL harus memiliki 2 *flowmeter* dipasang di *inlet* dan *outlet* IPAL yang fungsinya ialah:
 1. *Flowmeter* di *inlet* untuk mengetahui debit air limbah yang masuk ke IPAL dan untuk mendeteksi Tingkat kebocoran pada saluran air bersih.
 2. *Flowmeter* di *outlet* untuk mengetahui debit air limbah yang telah diolah di IPAL dan untuk mendeteksi kebocoran pada IPAL.

Pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2016 tentang Persyaratan Teknis Bangunan dan Prasarana Rumah Sakit, dituliskan persyaratan untuk Ruang Pengolahan limbah cair sebagai berikut:

- a) Penentuan sistem IPAL menyesuaikan karakteristik rumah sakit yang dimana seperti:
 1. Pelayanan
 2. Kondisi geografis, dan
 3. Jenis limbah yang dihasilkan
- b) Tersedia saluran kota untuk pembuangan hasil akhir IPAL (enfluen).
- c) Daya listrik yang tersedia mencukupi kebutuhan peralatan dan memiliki backup genset.
- d) Berada diluar bangunan gedung pelayanan.
- e) Luas ruangan atau area menyesuaikan kebutuhan kapasitas pelayanan dan jenis IPAL.

Cara memilih teknologi yang tepat adalah dilakukan studi dengan rumah sakit yang kelasnya sama. Di dalam susunan bangunan IPAL semua unit akan berkontribusi untuk menurunkan konsentrasi polutan organik. Sebagai unit pengolahan yang penting dalam pemilihan rangkaian pengolahan IPAL adalah kelebihan dan kekurangan dari pengolahan biologis. Hal ini cukup rentan akan pengaruh dan gangguan seperti fluktuasi beban pengolahan, cuaca dan bencana alam jika memungkinkan. Gangguan seperti hal yang disebutkan akan mengganggu kinerja IPAL Selain gangguan, juga dilakukan evaluasi terhadap keuntungan dan kerugian masing-masing unit pengolahan seperti penggunaan daya yang lebih sedikit atau penggunaan lahan yang efektif dan tidak memerlukan banyak lahan. Dan juga harus memperhatikan unit IPAL yang sesuai agar desain tidak terlalu berlebihan atau tidak kurang. Untuk hal ini, dilakukan evaluasi dan analisis sebelum mendesain bangunan pengolahan biologis.

2.6 Pengolahan Air Limbah

Metode pengolahan air limbah diklasifikasikan menjadi tiga (3), yaitu pengolahan fisik, kimia, dan biologis

a. Pengolahan secara fisik

Pengolahan ini bertujuan untuk menghilangkan material fisik. Sebagian besar metode ini berasal dari observasi langsung dan digunakan sebagai tahap awal dalam pengolahan air limbah. Contoh dari pengolahan secara fisik meliputi filtrasi, pengadukan flokulasi, sedimentasi, dan adsorpsi.

b. Pengolahan secara kimia

Pengolahan ini menghilangkan polutan dengan menambahkan bahan kimia atau melalui reaksi kimia. Contoh umum dari pengolahan kimia adalah presipitasi, transfer gas, adsorpsi dan disinfeksi.

c. Pengolahan secara biologis

Pengolahan ini menghilangkan polutan dengan menggunakan aktivitas biologis. Pengolahan biologis terutama digunakan untuk menghilangkan koloid atau zat organik biodegradable yang terlarut dalam air limbah. Pada dasarnya, zat-zat ini

diubah menjadi gas yang dapat dilepaskan ke atmosfer dan sel biologis yang dapat disedimentasi atau diolah dengan proses fisik lainnya. Pengolahan biologis juga digunakan untuk menghilangkan nitrogen dan fosfor

Didalam proses biologis seperti yang sudah dijelaskan adalah proses pengolahan dengan mikroorganisme. Proses pengolahan mikroorganisme terdapat beberapa jenis tergantung dengan kondisi dan tempat mikroorganisme berkembang. Berikut merupakan penjelasan dari beberapa proses yang terjadi di pengolahan biologis.

a. Proses Pengolahan Mikroorganisme Terlekat (*Attached Growth*)

Proses biologis dengan biakan melekat adalah metode pengolahan di mana mikroorganisme tumbuh pada media tertentu sehingga menempel pada permukaannya. Proses ini juga disebut sebagai proses film mikrobiologis atau biofilm. Dalam pengolahan air limbah menggunakan biakan melekat, prinsip utamanya adalah mengalirkan air limbah melalui biakan mikroorganisme yang menempel pada media. Mikroorganisme ini akan menguraikan polutan dalam air limbah menjadi senyawa yang tidak mencemari lingkungan. Proses ini dapat dilakukan secara aerob, anaerob dan bisa dilakukan keduanya. Dalam reaktor lekat diam, air limbah yang akan diolah dan dialirkan melalui media dalam reaktor. Reaktor ini mencapai waktu tinggal yang singkat dan beban organik yang tinggi karena pertumbuhan biofilm pada permukaan media. Bakteri menempel pada media berada di ruang-ruang antar media. Sehingga kecepatan aliran harus dijaga agar tidak terlalu cepat untuk mencegah terjadinya bakteri lepas dari media biakannya (Rosalina, 2017).

b. Proses Pengolahan Mikroorganisme Tersuspensi (*Suspended Growth*)

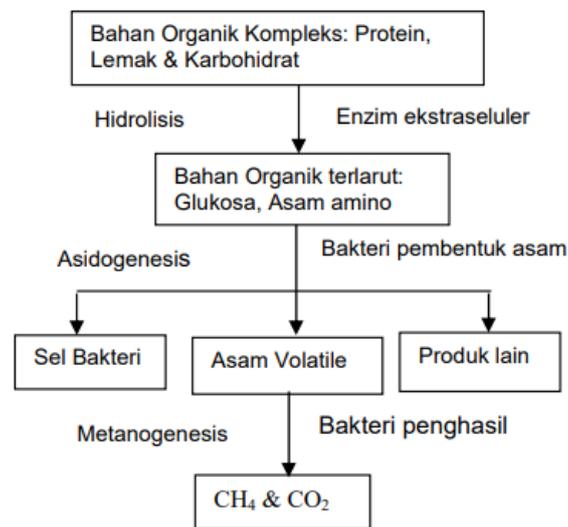
Proses biologis dengan biakan tersuspensi adalah metode pengolahan yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan polutan dalam air limbah, di mana mikroorganisme tersebut akan dikembang biakkan dalam keadaan tersuspensi di dalam reaktor (Widayat dan Said, 2005). Didalam proses ini mikroorganisme bertanggung jawab atas kelangsungan proses dalam kondisi suspensi cair dengan metode pengadukan atau pencampuran. Biomassa yang terbentuk adalah lumpur aktif, karena mikroorganisme akan dikembalikan ke unit aerasi untuk melanjutkan biodegradasi zat organik yang masuk sebagai influen. Pengurangan volume yang diinginkan dapat dicapai dengan meningkatkan konsentrasi biomassa yang tersuspensi dalam larutan. Semakin banyak bakteri dalam suspensi, maka semakin besar konsumsi makanan, sehingga semakin besar penguraian zat organik pada air limbah (Rosalina, 2017).

c. Proses Anaerobic

Pengolahan biologis dengan memanfaatkan mikroba untuk menguraikan polutan organik dalam kondisi tanpa atau dengan sangat sedikit oksigen terlarut. Keuntungan dari pengolahan anaerobic termasuk produksi energi dalam bentuk biogas, sedikitnya lumpur yang dihasilkan, tidak memerlukan lahan yang luas, dan tidak membutuhkan energi untuk melakukan aerasi. Namun kekurangan dari proses ini adalah pertumbuhan mikroorganisme yang lambat, dengan waktu pertumbuhan

dalam hitungan dari dibandingkan dengan mikroorganismenya dalam proses aerobik. Teknologi pengolahan limbah secara anaerobik dapat dibagi berdasarkan sistem pertumbuhan mikroorganismenya menjadi tiga kategori: pertumbuhan tersuspensi, hibrid, dan pertumbuhan melekat. Pertumbuhan tersuspensi meliputi digester teraduk sempurna dan kontak anaerobik. Sistem hibrid mencakup UASB, Upflow Sludge Blanket/Fix, dan lagoon anaerobik. Pertumbuhan melekat terdiri dari Fixed bed dan Extended/Fluidized bed (Indriyati, 2005)

Dalam pengolahan limbah secara anaerobic, mikroorganismenya menguraikan beberapa senyawa organik seperti protein, karbohidrat, serta lemak yang terdapat dalam limbah cair dan kemudian akan menghasilkan hasil samping berupa biogas dengan kandungan gas metana sekitar 50% - 70%, gas karbon dioksida 25% - 45% dan sejumlah kecil nitrogen, hydrogen dan hydrogen sulfida (Rosalina, 2017).



Gambar 2. 2 Degradasi Anaerobik Senyawa Organik

Sumber: Benefield (1980)

Tahapan yang terjadi dalam proses degradasi anaerobic, berikut merupakan penjelasan dari masing-masing tahapan:

1. Hidrolisis

Dalam proses hidrolisis ini, bakteri saprofilik berperan dalam menguraikan bahan organik kompleks. Aktivitas ini terjadi karena bakteri tersebut mengonsumsi bahan organik yang tidak larut seperti polisakarida, lemak, protein, dan karbohidrat (Indriyati, 2005). Enzim ekstraseluler yang dihasilkan oleh bakteri ini kemudian mengubah bahan organik tersebut menjadi bentuk yang larut dalam air. Lemak dipecah menjadi *long chain fatty acids* (LCFAs) oleh lipase yang dihasilkan oleh bakteri yang termasuk *Butyrivibrio* sp., *Clostridium* sp., dan *Anaerovibrio lipolytica*. Peptida dan asam amino dihasilkan dari aktivitas ekstraselular bakteri

protease yang termasuk *Clostridium proteolyticum*, *Eubacterium* sp., dan *Peptococcus anaerobicus*.

2. Asidogenesis

Dalam proses ini, bahan organik terlarut diubah menjadi asam organik rantai pendek seperti asam butirat, asam propionate, asam amino, asam asetat, dan asam-asam lainnya oleh bakteri asidogenik (Indriyati, 2005). Salah satu bakteri dalam kelompok ini adalah bakteri asetonik yang akan dijelaskan lebih lanjut. Dalam proses fermentasi substrat bertindak sebagai donor elektron dan elektron akseptor. Hasil fermentasi dari gula dan asam amino adalah asetat (CH_3COOH), propionate ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$), butirat ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$), CO_2 , dan hidrogen (Tchobanoglous, 2014).

3. Asetogenesis

Merupakan fermentasi lanjutan oleh bakteri untuk mengkonversi produk setengah jadi dari asidogenesis (propionat dan butirat) agar menghasilkan asetat, CO_2 , dan hidrogen. Sehingga produk akhir dari fermentasi adalah asetat, CO_2 , dan hidrogen yang menjadi awal terbentuknya metana (Tchobanoglous, 2014).

4. Metanogenesis

Adalah proses di mana bakteri metanogenik mengubah asam organik volatil menjadi gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Proses ini dilakukan kelompok mikroorganisme. Dua kelompok organisme metanogen terlibat dalam produksi metana. Kelompok pertama disebut sebagai aceticlastic methanogens, memecah asetat menjadi karbon dan karbon dioksida. Kelompok kedua, disebut sebagai metanogen yang menggunakan hidrogen atau hydrogenotrophic methanogenic, menggunakan hidrogen sebagai donor elektron dan CO_2 sebagai elektrop akseptor untuk menghasilkan metana (Tchobanoglous, 2014).

Pengolahan anaerobik memecah molekul yang mengandung oksigen dan karbon melalui proses fermentasi menjadi karbohidrat. Mikroorganisme aerobik menggunakan sebagian besar beban polutan (sekitar 50% COD) untuk produksi massa bakteri, sedangkan mikroorganisme anaerobik hanya menggunakan sekitar 5% COD. Oleh karena itu, proses anaerobik menghasilkan 90% lebih sedikit lumpur dibandingkan dengan proses aerobik. Lumpur mengendap dalam beberapa lapisan. Lapisan atas mengandung mikroorganisme aktif yang membantu pengolahan dengan mengonsumsi polutan dalam air limbah, sementara lapisan di bawahnya menjadi stabil dan tidak aktif seiring waktu. Pengurasan lumpur hanya dilakukan pada lumpur yang berada di dasar bak, dengan menyisakan 30 hingga 50 cm lumpur aktif untuk memastikan efisiensi pengolahan tetap terjaga (Rosalina, 2017).

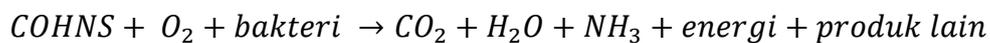
d. Proses Aerobic

Dalam proses pengolahan air limbah secara aerobik, senyawa organik kompleks diuraikan oleh mikroorganisme aerob. Mikroorganisme ini menggunakan oksigen dari

udara dan bahan organik sebagai sumber makanan mereka. Bahan organik tersebut diubah menjadi produk metabolisme seperti CO_2 , H_2O , dan energi (Rosalina, 2017).

Proses aerobik sendiri ada 3 tahap Pertama, sebagian air limbah dioksidasi untuk menghasilkan energi yang diperlukan bagi kehidupan sel mikroorganisme dan sintesis jaringan baru. Bersamaan dengan itu, sebagian air limbah diubah menjadi jaringan sel baru menggunakan sebagian energi yang dilepaskan selama oksidasi. Akhirnya ketika zat organik telah habis, sel-sel baru mulai mengonsumsi jaringan sel mereka sendiri untuk mendapatkan energi yang diperlukan bagi kelangsungan hidup sel. Tahap ketiga disebut dengan respirasi endogen. Limbah organik direpresentasikan dengan bentuk COHNS (yang merepresentasikan karbon, oksigen, nitrogen, dan sulfur) untuk merepresentasikan limbah organik dan bentuk $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ untuk merepresentasikan jaringan sel, ketiga proses dibagi menjadi reaksi kimia, berikut reaksi kimia dari 3 proses:

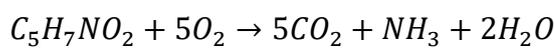
Energy reaction (oksidasi)



Synthesis reaction



Endogeneous respiration



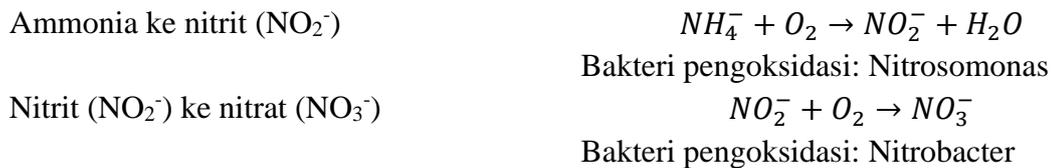
COHNS berperan sebagai donor elektron, sementara oksigen berperan menjadi elektron akseptor. Jika semua sel dioksidasi misalnya sel donor elektron secara keseluruhan, UBOD atau COD sel setara dengan 1,42 kali konsentrasi sel sebagai VSS (Volatile Suspended Solids). Dalam pengolahan biologis, nutrisi harus tersedia dalam jumlah yang memadai. Berdasarkan rumus $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$, untuk komposisi sel biomas, diperlukan sekitar 12,4% berat nitrogen. Kebutuhan fosfor berkisar antara 1,5 – 2% berat sel biomas. Angka-angka ini adalah nilai rata-rata dan bukan jumlah tetap, karena distribusi nitrogen dan fosfor dalam jaringan sel dapat bervariasi tergantung pada SRT sistem dan kondisi lingkungan.

e. Proses Nitrifikasi

Nitrifikasi adalah proses oksidasi dimana amonia diubah menjadi nitrat atau nitrit atau nitrat. Proses ini melibatkan bakteri pengoksidasi ammonia yang bersifat autotrofik, seperti salah satu contohnya adalah Nitrosomonas yang berperan dalam siklus nitrogen dan penguraian nitrogen dalam sistem pengolahan limbah cair. Selain itu, beberapa mikroorganisme heterotrofik juga dapat melakukan nitrifikasi, termasuk fungi seperti Aspergillus dan bakteri seperti Alcaligenes.

Bakteri autotrofik menggunakan CO_2 sebagai sumber karbon, sedangkan bakteri heterotrofik menggunakan senyawa organik seperti asetat, piruvat, dan oksaloasetat. Laju pertumbuhan bakteri autotrofik lebih lambat dibandingkan dengan bakteri heterotrofik. Dalam proses nitrifikasi, amonia berinteraksi dengan oksigen menghasilkan nitrit, yang kemudian diubah menjadi nitrat oleh bakteri lain,

menghasilkan senyawa yang lebih aman (Yuni, 2011). Proses berubahnya ammonia menjadi nitrat atau nitrit adalah



f. Proses Denitrifikasi

Denitrifikasi adalah proses utama penguraian senyawa nitrogen dalam kondisi anaerob atau tanpa oksigen. Proses ini menghasilkan produk sampingan berupa N_2O , yang merupakan gas rumah kaca dan dapat menyebabkan pemanasan global serta kerusakan lapisan ozon. Denitrifikasi mengubah nitrat (NO_3^-) menjadi nitrit (NO_2^-), nitrous oksida (N_2O), dan nitrogen molekuler (N_2) melalui beberapa tahap yang dilakukan oleh bakteri fakultatif anaerob.



Bakteri denitrifikasi bersifat heterotrof dan membutuhkan karbon organik seperti asam asetat, gliserol, dan glukosa sebagai sumber energi. Karbon ini berfungsi sebagai donor elektron dalam kondisi rendah oksigen. Perbandingan antara sumber karbon dan nitrat sangat penting karena mempengaruhi aktivitas bakteri dalam proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Jika lingkungan kaya nitrat tetapi miskin karbon, bakteri denitrifikasi akan dominan. Sebaliknya, jika karbon tinggi, bakteri fermentatif akan lebih dominan. Derajat keasaman (pH) juga mempengaruhi pertumbuhan dan aktivitas bakteri. Bakteri pengoksidasi ammonia autotrofik tumbuh optimal pada pH 7,5-8,5, sedangkan bakteri heterotrofik lebih toleran terhadap lingkungan asam dan tumbuh lebih cepat pada kondisi oksigen terlarut rendah (Yuni, 2011).

2.7 Instalasi Pengolahan Air Limbah

Didalam instalasi pengolahan air limbah seperti yang sudah dijelaskan, terdapat beberapa unit yang membentuk susunan suatu bangunan. Berikut merupakan unit susunan yang akan menjadi alternatif untuk IPAL rumah sakit kelas C

2.7.1 Biofilter

Pada Seri Sanitasi Lingkungan Pedoman Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan Sistem Biofilter Anaerob Aerob Pada Fasilitas Pelayanan Kesehatan yang dikeluarkan oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia tahun 2011, didalam seri ini disebutkan jika

pengolahan biofilter anaerob aerob merupakan pengolahan yang sesuai untuk diterapkan dalam fasilitas rumah sakit. Pengolahan air limbah dengan proses biofilter anaerob-aerob adalah proses pengolahan air limbah dengan cara menggabungkan proses biofilter anaerob dan proses biofilter aerob.

Definisi biofilter sendiri merupakan unit pengolahan air limbah domestik yang memanfaatkan mikroorganisme yang tumbuh dan berkembang melekat pada permukaan media yang membentuk lapisan lender yang dikenal sebagai lapisan biofilm. Media filter terendam di dalam air limbah yang dialirkan secara kontinu melewati celah atau rongga antar media. Media filter berupa media padat dan berongga, dan tidak bersifat toksik bagi mikroorganisme (PerMen PUPR No. 4, 2017). Media filter yang digunakan dapat berasal dari bahan alami seperti bebatuan dan kayu atau pabrikan seperti (keramik dan plastik). Untuk pemilihan media biofilter ditentukan berdasarkan metode pembobotan yang tercantum pada tabel 2.4 sebagai berikut:

Tabel 2. 4 Pembobotan Untuk Pemilihan Biofilter

Tipe Media	A	B	C	D	E	F	G
Luas permukaan spesifik	5	1	5	5	5	5	5
Volume rongga	1	1	1	1	4	5	5
Diameter celah bebas	1	3	1	1	2	2	5
Ketahanan terhadap penyumbatan	1	1	1	1	3	3	5
Material	5	5	5	5	5	5	5
Harga persatuan luan	5	3	3	5	4	1	4
Kekuatan mekanik	5	5	1	1	2	2	5
Berat media	1	1	5	5	4	5	5
Fleksibilitas	2	2	1	3	3	4	4
Perawatan	1	1	1	1	3	3	5
Konsumsi energi	2	2	1	5	4	5	5
Sifat dapat basah	5	5	3	3	3	1	5
Total bobot	34	32	28	36	42	41	56

Sumber: Pedoman Biofilter DepKes Republik Indonesia

Keterangan:

A: *Gravel* atau kerikil kecil

B: *Gravel* atau kerikil besar

C: *Mash pad*

D: *Brillo pad*

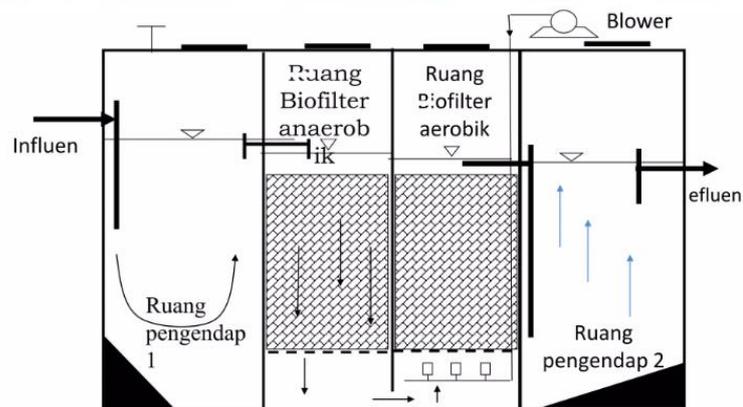
E: *Bio ball*

F: *Random Dumped*

G: Media terstruktur (sarang tawon)

Biofilter dapat diterapkan secara anaerobik dan aerobik. Biofilter dapat berupa bioreaktor tunggal dengan proses anaerobik, aerobik atau anaerob-aerob (proses hybrid). Biofilter anaerob-aerob adalah proses pengolahan yang menggabungkan 2 proses, dimana dengan menggunakan proses anaerobic, polutan organik yang ada dalam air limbah akan terurai menjadi gas karbon dioksida dan metan tanpa energi atau blower udara. Akan tetapi kandungan seperti amonia dan fosfat tidak hilang. Disinilah proses aerobik akan

menghilangkan amoniak dan fosfat. Penggabungan ini dimaksudkan agar hasil effluent yang diharapkan dapat memenuhi baku mutu yang ditentukan (Deni, 2021)



Gambar 2. 3 Biofilter Anaerobic-Aerobic

Sumber: Modul Pengantar Sistem Setempat (On-site) Sistem Pengolahan Air Limbah Setempat (2015)

Kelebihan dan Kekurangan dari biofilter adalah, sebagai berikut:

Kelebihan

1. Tahan terhadap shock loading
2. Tidak membutuhkan energi listrik yang banyak
3. Biaya operasional dan perawatan tidak terlalu mahal
4. Efisiensi BOD dan TSS tinggi

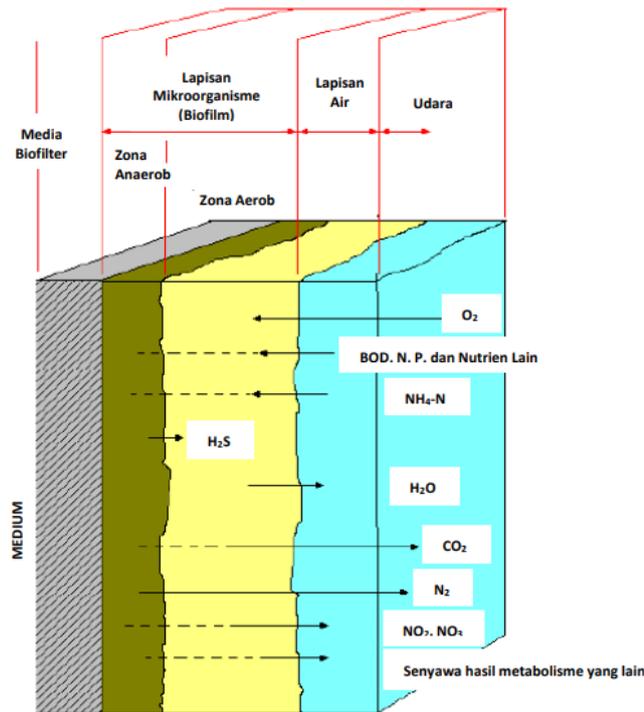
Kekurangan

- a) Effluent membutuhkan pengolahan tambahan
- b) Efisiensi reduksi bakteri pathogen masih rendah
- c) Membutuhkan start up yang lama

2.7.1.1 Proses Biofilter

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya jika cara kerja mikroorganisme tumbuh dalam proses penguraian substrat, bioreaktor dibagi menjadi dua jenis : reaktor dengan pertumbuhan tersuspensi dan reaktor biakan melekat. Pada reaktor dengan pertumbuhan tersuspensi mikroorganisme dalam fase cair, sedangkan pada reaktor dengan biakan melekat, mikroorganisme tumbuh di atas media pendukung, membentuk lapisan biofilm. Reaktor dengan biakan melekat atau attached growth seperti biofilter, media yang digunakan dapat berupa kerikil, pasir, plastik atau partikel karbon aktif sebagai tempat mikroorganisme tumbuh. Media ini bisa terendam sebagian atau menyeluruh ke dalam air, atau mungkin hanya dilewati air. Struktur biofilter menyerupai saringan yang terdiri dari susunan granular yang teratur atau acak. Fungsi media adalah menyediakan tempat bagi mikroorganisme untuk tumbuh dan berkembang, yang dimana berperan langsung dan bagian terpenting dari pengolahan air limbah. Mikroorganisme ini membentuk lapisan tipis yang disebut dengan biofilm dipermukaan media.

Mekanisme proses metabolisme didalam sistem biofilm secara aerobik dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2. 4 Mekanisme Proses Metabolisme dalam Sistem Biofilm

Sumber: Said, 2014

Pada gambar 2. 4 ditunjukkan sistem biofilm yang terdiri dari media penyangga, lapisan biofilm yang melekat pada medium, lapisan air limbah dan udara. Senyawa polutan yang ada didalam air limbah, seperti senyawa organik (BOD, COD), ammonia, fosfor, dan lainnya. Akan terdifusi ke dalam lapisan atau biofilm yang melekat pada permukaan medium. Pada saat bersamaan, dengan bantuan oksigen terlarut, senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada pada lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan berubah menjadi biomassa. Jika lapisan mikrobiologis cukup tebal, bagian luar lapisan tersebut akan berada dalam kondisi aerobik, sedangkan bagian dalam biofilm yang melekat pada media akan berada dalam kondisi anaerobik. Dalam kondisi anaerobik, gas H_2S akan terbentuk. Jika konsentrasi oksigen terlarut cukup tinggi, gas H_2S yang terbentuk akan diubah menjadi sulfat (SO_4) oleh bakteri sulfat yang ada dalam biofilm.

Di dalam reaktor biofilter, mikroorganisme tumbuh dan melapisi seluruh permukaan media. Selama beroperasi, air limbah mengalir melalui celah-celah media dan bersentuhan atau kontak langsung dengan lapisan mikroba (biofilm). Biofilm yang terbentuk dilapisi atas media disebut *zooglear film*, yang terdiri dari bakteri, fungi, alga, dan protozoa (Said, 2014). Menurut Metcalf dan Eddy (2003), sel bakteri adalah yang paling dominan dan banyak digunakan dalam proses pengolahan air limbah. Proses pembentukan biofilm dalam pengolahan air limbah mirip dengan yang terjadi di lingkungan alami. Mikrooragnisme

adalah biofilm akan medegradasi senyawa organik dalam air. Namun, semakin tebal lapisan biofilm maka akan semakin kurang difusi oksigen ke lapisan biofilm dibawahnya.

Menurut Said (2014), mekanisme yang terjadi pada reaktor biofilm tercelup adalah:

- a. Transportasi dan adsorpsi zat organik dan nutrien dari fasa cair ke fasa biofilm.
- b. Transportasi mikroorganisme yang terjadi ke dalam lapisan biofilm.
- c. Adsorpsi mikroorganisme yang terjadi ke dalam lapisan biofilm.
- d. Reaksi metabolisme mikroorganisme yang terjadi dalam lapisan biofilm, memungkinkan terjadinya mekanisme pertumbuhan, pemeliharaan, kematian dan lysis sel.
- e. Pelekatan mikroba pada permukaan media saat lapisan biofilm mulai terbentuk dan terakumulasi pada lapisan biofilm.
- f. Mekanisme pelepasan (*detachment biofilm*) dan produk lainnya (*by product*).

2.7.1.2 Biofilter Aerobik

Proses Penguraian aerob oksigen diperlukan untuk mengurai polutan, besarnya oksigen yang dibutuhkan sebanding dengan jumlah amonia, sulfida dan organik yang terkandung didalam air limbah. Efisiensi proses pengolahan ditentukan oleh jumlah bakteri dalam mendegradasi polutan (Anandita, 2019)

Kriteria perencanaan biofilter berdasarkan pada (Said & Hartaja, 2015) adalah sebagai berikut:

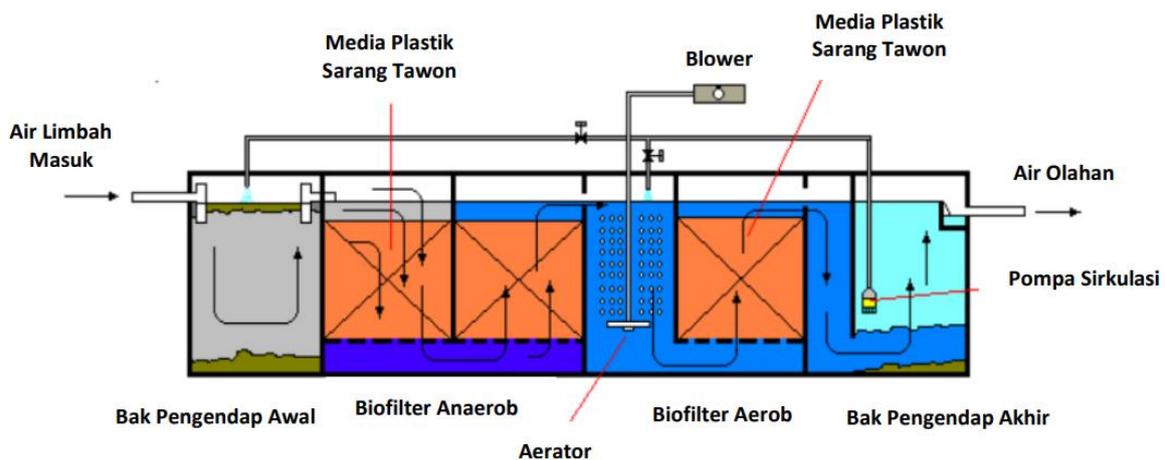
- Beban BOD per satuan permukaan media (L_A) = 5 – 30 g BOD/m³. hari.
- Waktu detensi total rata-rata = 6 – 8 jam.
- Tinggi ruang lumpur = 0,5 m.
- Tinggi bed media pembiakan mikroba = 1,2 m
- Tinggi air di atas bed media = 20 cm

Terdapat kriteria tambahan dari beberapa sumber, sebagai berikut

- Organic Loading Rate (OLR) = 0,6 – 3,2 kg/m³.hari
(Metcalf and Eddy, 2004)
- Hydraulic Loading Rate (HLR) = 10 – 75 m³/m².hari
(Metcalf and Eddy, 2004)
- Kedalaman = 0,9 – 6 m
(Metcalf and Eddy, 2004)
- Kecepatan upflow = < 2 m/jam
(Sasse, 1998)
- Waktu detensi (HRT) = 6 – 8 jam
(Kementerian Kesehatan RI, 2011)

2.7.1.4 Biofilter Anaerobik-Aerobik

Pengolahan air limbah dengan proses hybrid atau dengan proses anaerobic dan aerobic. Di dalam proses hybrid ini, air limbah akan masuk dalam proses anaerobic, dimana polutan organik dalam air limbah akan terurai menjadi gas karbon dioksida dan metan tanpa menggunakan energi (difuser udara), untuk ammonia dan gas hydrogen tidak hilang. Lalu dilanjutkan dengan menggunakan proses biofilter aerob, polutan organik yang tersisa akan diurai menjadi gas karbon dioksida dan air, ammonia akan teroksidasi menjadi nitrit, yang selanjutnya akan diubah menjadi nitrat, sedangkan hydrogen sulfida akan diubah menjadi sulfat. Effluen dari unit pengolahan ini akan mendapatkan kualitas yang baik dengan konsumsi energi yang rendah.



Gambar 2. 5 Proses Pengolahan Air Limbah dengan Biofilter Anaerobik-Aerobik

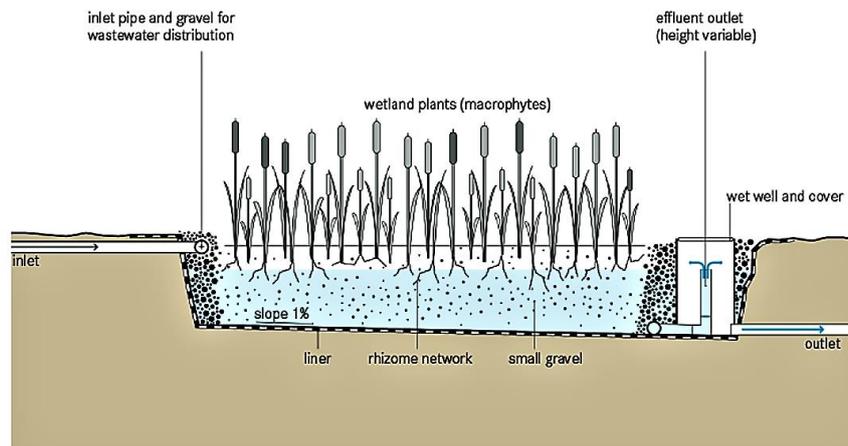
Sumber : Kemenkes RI, 2011

Kelebihan dari proses Biofilter Anaerobik-Aerobik

1. Efisiensi biofilter tergantung dari luas kontak antara air limbah dengan mikroorganisme yang menempel pada permukaan media filter. Semakin luas bidang kontakannya, maka efisiensi penurunan konsentrasi zat organik akan semakin besar. Selain menghilangkan BOD dan COD, proses ini dapat mengurangi padatan tersuspensi atau suspended solid (SS), detergen (MBAS), ammonium dan fosfor.
2. Efisiensi penyaringan sangat besar karena adanya biofilter upflow atau penyaringan dari bawah ke atas. Biofilter anaerobik-aerobik sangat sederhana, operasinya mudah, dan tidak memerlukan bahan kimia. Selain itu energi yang digunakan juga cukup sedikit.
3. Dengan kombinasi proses hybrid ini, dapat menghilangkan senyawa organik maupun fosfor dengan baik. Proses ini dapat digunakan untuk beban organik yang cukup besar dan dapat digunakan untuk kapasitas yang kecil.

2.7.2. Constructed Wetland

Constructed wetland atau lahan basah buatan adalah sistem pengolahan terencana atau terkontrol yang didesain menggunakan proses alami. Proses ini melibatkan proses vegetasi, media dan mikroorganisme untuk pengolahan air limbah. Sistem pengolahan yang direncanakan, seperti debit limbah, beban organik, kedalaman media, jenis tanaman lainnya, sehingga kualitas air limbah yang keluar yang diharapkan.



Gambar 2. 6 Skema Horizontal Sub Surface Flow Constructed wetland

Sumber : TILLEY et al. (2014)

Constructed Wetland terbagi menjadi dua (2) tipe, yaitu sistem aliran permukaan atau FWS Wetland (*Free Water System Constructed Wetland*) dan SSF Wetland (*Sub-Surface Flow Constructed Wetland*). Jika dari aliran permukaan terdapat 2 tipe, untuk berdasarkan jenis tanaman juga terbagi menjadi 3 kelompok

- a. Sistem yang menggunakan tanaman mengambang (*macrophyta*) atau dapat disebut dengan lahan basah sistem tanaman air mengambang (*Floating Aquatic Plant System*).
- b. Sistem yang menggunakan tanaman makrofita dalam air (*Submerged*) dan umumnya digunakan pada sistem lahan basah buatan tipe aliran permukaan (*Surface Flow Wetlands*).
- c. Sistem yang menggunakan tanaman makrophyta yang akarnya tenggelam atau sering juga *amphibiuous plants* dan biasanya digunakan untuk lahan basah buatan tipe aliran bawah permukaan (*Surface Flow Constructed Wetlands*) SSF- Wetlands.

Pengolahan air limbah dengan sistem wetland lebih dianjurkan karena beberapa alasan sebagai berikut:

- a. Dapat mengolah limbah domestik pertanian dan sebagian limbah domestik dan sebagian limbah industri termasuk logam berat.
- b. Efisiensi pengolahan yang cukup tinggi
- c. Biaya perencanaan, pengoperasian dan pemeliharaan murah dan tidak membutuhkan keterampilan yang tinggi.

Proses atau mekanisme Constructed Wetland

Menurut Kayombo (2003), Constructed Wetland dapat menghilangkan beberapa polutan organik. Berikut proses atau mekanisme bagaimana wetland menghilangkan parameter.

- a. Bahan organik (diukur sebagai BOD), progres penghilangan dengan degradasi secara biologis, sedimentasi, dan digunakan oleh mikroorganisme.
- b. Kontaminan organik dapat dihilangkan dengan proses adsorpsi, volatilisasi, fotolisis, dan degradasi secara biotik/abiotik.
- c. Suspended Solids dapat dihilangkan dengan proses sedimentasi dan filtrasi.
- d. Fosfor dapat dihilangkan dengan proses sedimentasi, filtrasi, adsorpsi digunakan oleh mikroorganisme dan tumbuhan.
- e. Patogen dapat dihilangkan dengan cara mati secara alami, sedimentasi, filtrasi, dimakan predator, degradasi oleh sinar UV, dan adsorpsi.
- f. Logam berat dapat dihilangkan dengan sedimentasi, adsorpsi, digunakan oleh tumbuhan.

Kriteria desain Constructed Wetland

Kriteria desain yang sangat penting untuk sistem constructed wetland ada waktu tinggal hidrolis, kedalaman bak (panjang dan lebar), dan laju beban hidrolis. Rentang tipikal yang disarankan untuk perencanaan unit sebagai berikut:

- a. Removal TSS = 60% - 75% (EPA,1999)
- b. Removal BOD oleh media = 75% - 98% (Vymazal, 2001)
- c. Removal BOD yang dibantu oleh tanaman = 4,4% (Diaz et al.,2014)
- d. HLR = 0,2 – 1 m³/m².hari
- e. L/W ratio = 4: 1 – 10:1 (Hlavinek et al., 2007)

Karakteristik media yang digunakan untuk SFS-wetland

Tabel 2. 5 Karakteristik Tipikal Media Untuk Sub-Surface Flow

Media Type	Max 10% grain size, mm	Porosity, α
Medium sand	1	0,42
Coarse sand	2	0,39
Gravelly sand	8	0,35
Fine gravel	16	0,38
Medium gravel	32	0,4
Coarse rock	128	0,45

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2003

Penggunaan media dalam Sub-Surface Flow cukup penting hal ini dikarenakan penyumbatan merupakan salah satu faktor yang harus diperhatikan pada filtrasi horizontal. Bila penyumbatan ini terjadi maka konstruksi tersebut tidak akan berfungsi dengan semestinya dan perlu dilakukan pembongkaran dan pergantian media. Hal ini akan memakan banyak waktu dan biaya. Maka dari itu media yang paling lazim digunakan untuk filter horizontal adalah gravel atau kerikil.

Kelebihan dan kekurangan Constructed Wetland

Suatu unit pasti memiliki kelemahan dan kekurangan, begitu pula untuk constructed wetland juga memiliki kelebihan dan kekurangan.

Tabel 2. 6 Kelebihan dan Kekurangan Constructed Wetland

Kelebihan	Kekurangan
1. Teknologi tepat guna yang murah	1. Pengoperasian sistem ini tergantung pada kondisi lingkungan termasuk iklim dan suhu
2. Tahan lama dan mudah dalam perawatan	2. Untuk Construct wetland dengan tipe free water system, dapat berpotensi menimbulkan bau dan menjadi sarang penyakit.
3. Tidak memerlukan biaya operasional tinggi	
4. Tidak memerlukan biaya operasional	
5. Menggunakan sumber daya alam yang ada	
6. Dapat diisi dengan keanekaragaman tumbuhan lokal setempat	
7. Dapat dibuat dengan berbagai ukuran (skala rumah, klinik, sekolah, rumah sakit, hotel, dan sebagainya)	
8. Menyediakan ekosistem untuk tumbuhan maupun hewan	
9. Tertata sebagai taman dengan lanskap yang indah dipandang.	

Sumber: Athif, 2016

Tumbuhan dan Mikroorganisme

Remediasi zat pencemar yang dilakukan oleh tumbuhan pada unit wetland juga dibantu oleh mikroorganisme. Mikroorganisme adalah bagian yang paling berperan aktif dalam meremediasi zat pencemar. Sedangkan peran dari tumbuhan yang hanya berperan sebagai media dan fasilitator bagi mikroorganisme serta pendorong percepatan remediasi. Fungsi dari tumbuhan pada unit Wetland adalah:

- a. Sebagai solar driven pump and treat system
- b. Penghasil sumber karbon dan energi
- c. Transfer organik dan menurunkan permukaan air

Tumbuhan yang akan digunakan adalah tumbuhan kanna (*Canna Indica*). *Canna Indica* adalah yang hidup membutuhkan cahaya matahari langsung. Tanaman kana juga digunakan sebagai tanaman hias. Berikut merupakan klasifikasi tanaman kana, menurut Athif (2016):

- Kingdom : Plantae
- Super divisi : Spermatophyta

- Divisi : Magnoliophyta
- Kelas : Liliopsida
- Ordo : Zingiberales
- Famili : Cannaceae
- Genus : *Canna*
- Spesies : *Canna Indica*



Gambar 2. 7 Tanaman Kanna atau Bunga Tasbih

Sumber : BibitBunga.com

Akar rimpang tumbuhan kanna bisa mencapai panjang 30 – 40 cm dan tumbuh menyebar ke segala arah. Tinggi *Canna Indica* bisa mencapai 2 m saat dewasa. Tumbuhan ini mempunyai bunga yang berwarna cerah. Nilai removal BOD dimiliki tanaman kanna adalah 17 – 90% dan untuk nilai removal total solid (TSS) adalah 56% pada reaktor bujur sangkar dan 46% pada reaktor persegi panjang. Dan nilai COD mempunyai nilai removal COD sebesar 61 untuk reaktor bujur sangkar dan 72% untuk reaktor persegi panjang (Athif, 2016).

Debit Effluen Constructed Wetland

Dalam Constructed Wetland, debit yang masuk dan debit yang keluar akan berbeda. Hal ini dikarenakan debit pada CW dipengaruhi oleh laju evapotranspirasi (ET), Presipitasi (P) dan infiltrasi (I). Menurut Wallace & Robert (2006), Debit effluen dari CW dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{ef} = Q_{in} - Q_{ET} + Q_P + Q_I$$

Keterangan:

Q_{ET} : Debit Evapotranspirasi, m³/hari

Q_P : Debit presipitasi, m³/hari

Q_I : Debit infiltrasi, m³/hari

Evapotranspirasi (ET) adalah kehilangan air yang berasal dari gabungan proses evaporasi dan proses transpirasi. Proses ini yang menyebabkan volume air pada wetland berkurang namun tidak mengurangi massa kontaminan pada effluen CW. Nilai evapotranspirasi wetland dengan menggunakan tanaman kanna sebesar 28,55 mm/hari (Konnerup, 2009). Presipitasi (P)

adalah turunnya air dari atmosfer ke permukaan bumi atau hujan. Data curah hujan berbeda-beda setiap daerah. Infiltrasi adalah proses masuknya air dari wetland ke dalam *aquifer* permukaan dan sebaliknya.

2.7.3 Perangkap Minyak (Grease Trap)

Bak pemisah lemak atau grease trap berfungsi untuk memisahkan lemak atau minyak yang berasal dari kegiatan dapur, serta untuk mengendapkan kotoran pasir, tanah atau senyawa padatan yang tak dapat terurai secara biologis (Kaawoan dkk, 2022). Perhitungan grease trap didapatkan dengan cara melakukan perkalian antara debit dengan waktu tinggal, atau waktu detensi (td). Kemudian dengan kedalaman yang ditentukan, didapatkan luas permukaan bak. Perbandingan panjang dengan lebar ditentukan untuk mendapatkan masing-masing panjang dan lebar. Jumlah kompartemen dipilih dan disesuaikan berdasarkan besarnya konsentrasi influen minyak dan lemak serta besarnya konsentrasi efluen yang diharapkan.

Kriteria desain dari Grease trap adalah sebagai berikut (RafsanJani, 2022) :

- a) Kecepatan aliran (v) = 2 – 6 m/jam = 0,00055 m/s – 0,0016 m/s
- b) Waktu detensi (td) = 5 – 20 menit
- c) Terdiri dari 2 kompartemen atau satu kompartemen
 - Kompartemen pertama = 2/3 dari total panjang
 - Kompartemen kedua = 1/3 dari total panjang

Tambahan kriteria desain dari Direktorat Pengembangan Penyehatan Lingkungan Permukiman, "Panduan Perencanaan Teknik Terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Buku A: Panduan Perhitungan Bangunan pengolahan Lumpur Tinja", Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, Jakarta, 2017. Grease trap direncanakan memiliki lubang kontrol (80%) dengan diameter minimum 0,6 m. Grease trap mampu menyisahkan minyak dan lemak hingga 80%, penyisihan BOD COD sebanyak 50–80%, dan TSS sebesar 10%. Kecepatan aliran pada grease trap antara 2–6 m/jam dan memiliki waktu detensi 5–20 menit.

2.7.4 Tangki Septik

Proses sedimentasi secara umum diartikan sebagai proses pengendapan di mana akibat gaya gravitasi, partikel mempunyai berat jenis lebih besar daripada air akan mengendap dan yang memiliki berat jenis kurang dari air maka akan terapung. Menurut SNI 2398:2017, Tangki septik adalah suatu ruangan kedap air terdiri dari satu atau beberapa kompartemen yang berfungsi menampung dan mengolah air limbah rumah tangga dengan kecepatan aliran yang lambat, sehingga memberi kesempatan untuk terjadi pengendapan terhadap suspensi benda-benda padat dan kesempatan untuk penguraian bahan-bahan organik oleh jasad anaerobik membentuk bahan-bahan larut air dan gas.

Proses pengolahan yang terjadi didalam tangki septik menurut premiertechaqua.com, adalah air limbah yang berasal dari toilet, wastafel, mesin cuci atau bisa disebut *black water*

dan *grey water* akan mengalir menuju tangki septik, Material padat yang lebih berat akan tenggelam ke dasar tangki septik dan membentuk lumpur atau *sludge*, material yang lebih ringan akan mengapung ke permukaan dan membentuk buih, selanjutnya organisme anaerob ditangki septik anda akan memakan polutan air limbah organik, mengubahnya menjadi materi inret, cairan yang berada ditengah-tengah antara buih dan sludge akan dialirkan terus menuju pengolahan selanjutnya. Berikut kriteria perencanaan menurut SNI 2398:2017:

Tabel 2. 7 Kriteria Desain Tangki Septik

Tangki septik sistem tercampur		Tangki septik sistem terpisah	
a) Waktu detensi (td)	: 2 – 3 hari	a) Waktu detensi (td)	: 2 – 3 hari
b) Banyak lumpur (QL)	: 30 – 40 L/orang/tahun	b) Banyak lumpur (QL)	: 30 – 40 L/orang/tahun
c) Periode pengurasan (PP)	: 2 – 5 tahun	c) Periode pengurasan (PP)	: 2 – 5 tahun
d) Pemakaian air	: q L/orang/hari	d) Pemakaian air	: penggelontor = 20L /orang/ hari

Dalam SNI 2398:2017, dicantumkan persyaratan bentuk dan ukuran tangka septic sebagai berikut:

- a) Tangki septic berbentuk segi empat dengan perbandingan panjang dan lebar 2: 1 sampai 3: 1, lebar tangki septic minimal 0,75 m dan panjang minimal 1,50 m, tinggi tangki minimal 1,5 m termasuk ambang batas (*freeboard*) 0,3 m.
- b) Bentuk tangki septic ditentukan dalam gambar 2 dan gambar 3, sedangkan ukuran tangki septic d = berdasarkan jumlah pemakai dapat dilihat pada tabel 2.7.

2.7.5 Disinfektan

Desinfeksi adalah proses pemusnahan mikroorganisme yang bersifat patogen agar tidak membahayakan saat akan dibuang ke badan air. Proses disinfeksi biasanya menggunakan klorin, jadi disinfektasi disebut juga klorinasi. Efektivitas dari proses ini bergantung pada jenis disinfektan yang digunakan, jenis mikroorganisme yang dikeluarkan, waktu kontak dengan disinfektan, suhu air, dan sifat kimia air. Menurut Reynold (1996), senyawa yang sering digunakan sebagai disinfektan adalah klor (Cl_2), ozon (O_3), klorin dioksida (Cl_2O_2), dan sinar ultraviolet.

Kriteria desain perencanaan unit disinfeksi (SNI 6774-2008)

- a) Waktu detensi = 10 – 120 menit
- b) Dosis khlor = 0,2 – 4 mg/L
- c) Sisa khlor = 0,5 – 1 mg/L

Menurut Al-Layla (1987) dalam Batubara (2017), syarat disinfektan yang digunakan dalam disinfeksi adalah:

- a) Dapat mematikan semua jenis organisme patogen.

- b) Ekonomis dan dilaksanakan dengan mudah.
- c) Tidak menyebabkan air menjadi toksik dan berasa
- d) Dosis diperhitungkan agar terdapat residu untuk mengatasi adanya kontaminasi mikroba.

Dalam proses disinfeksi, penentuan residu disinfektan penting untuk dihitung karena menentukan efektivitas dari dosis klorin yang ditambahkan dihitung dengan rumus:

$$\text{Dosis desinfektan} = (B \times C)/1.000.000$$

Keterangan:

B = Dosis disinfektan yang dikehendaki (ppm)

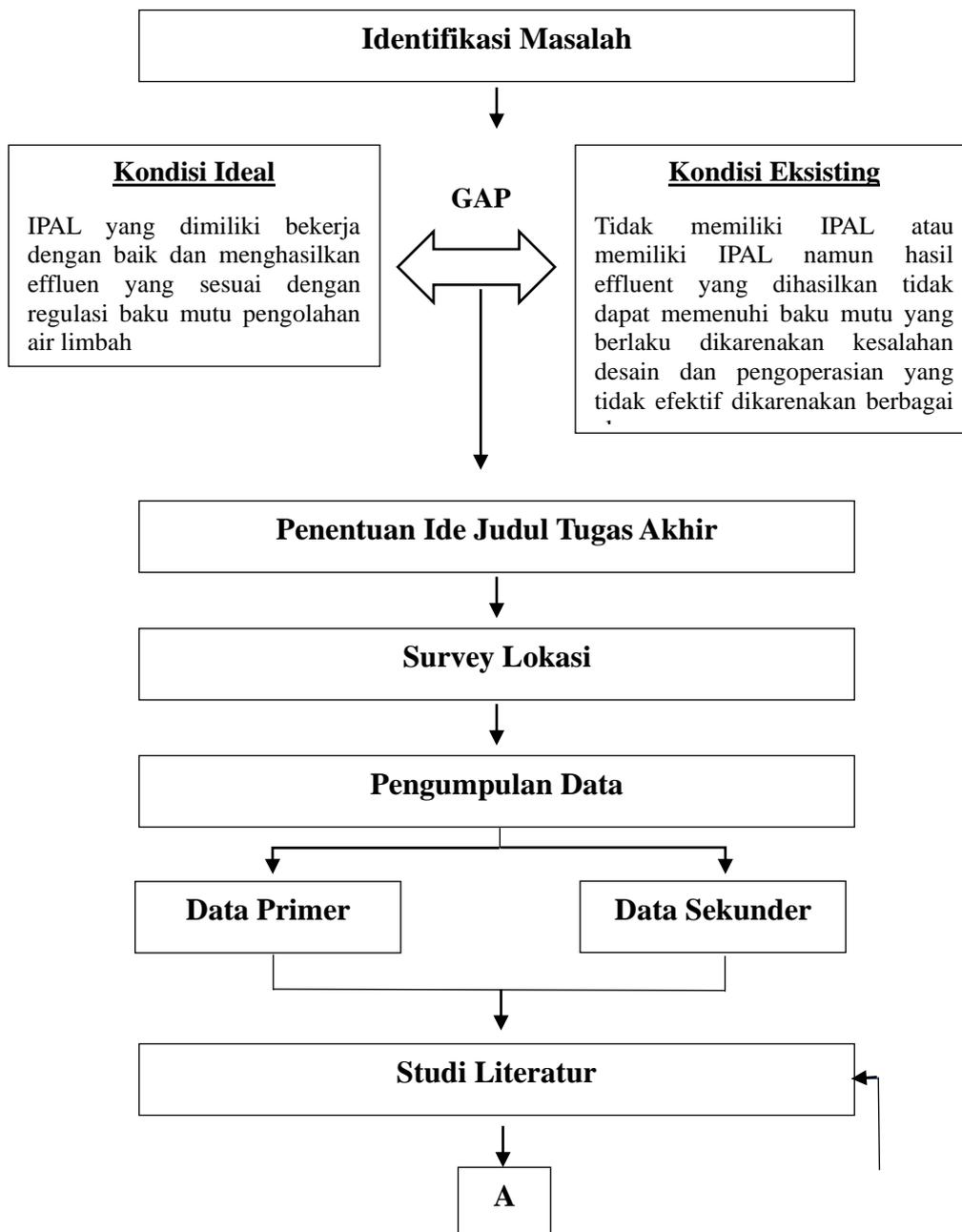
C = jumlah air yang harus didesinfeksi per hari (liter)

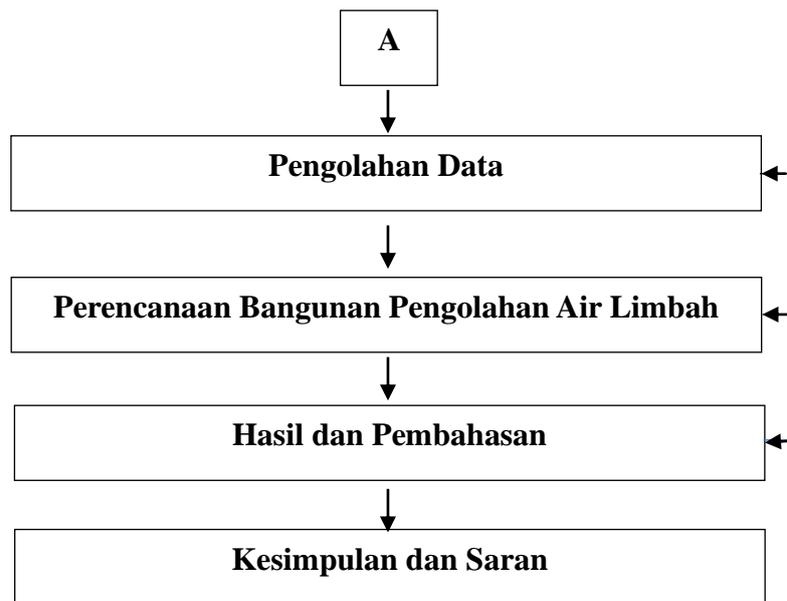
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan merupakan gambaran umum dari pelaksanaan perencanaan yang akan disusun secara runtut berdasarkan tahapan pelaksanaan perencanaan untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Tujuan dibuatnya kerangka perencanaan ini adalah sebagai gambaran sederhana tahapan pelaksanaan penelitian dan memberikan informasi terkait dengan perencanaan untuk memudahkan pelaksanaan. Kerangka perencanaan ini dapat dilihat pada gambar 3.1





Gambar 3. 1 Diagram Alir Kerangka Perencanaan Tugas Akhir

3.2 Rangkaian Kegiatan Perencanaan

Berikut rangkaian kegiatan yang dilakukan dalam tugas akhir perencanaan

3.2.1 Identifikasi Masalah

Perencanaan ini dilakukan karena kondisi air Sungai suarabaya yang menjadi sumber air baku untuk air baku air minum tercemar dengan limbah terutama air limbah. Dengan penduduk Surabaya yang sangat padat membuat debit air limbah domestik meningkat. Kota dengan penduduk yang padat juga akan mambangun fasilitas penunjang untuk warganya, contohnya pada fasilitas kesehatan yaitu Rumah Sakit. Regulasi yang mengatur tentang fasilitas lingknngan dalam rumah sakit sudah ada. Namun realisasinya yang tidak sesuai. Banyak alasan mengapa realisasi bangunan pengolahan air limbah rumah sakit tidak sesuai. Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan dan kajian mengenai perencanaan bangunan pengolahan air limbah yang sesuai dan hasil akhir dari air limbah sesuai dengan baku mutu yang berlaku.

3.2.2 Penentuan Ide Judul Tugas Akhir

Tahap penentuan judul tugas akhi merupakan hasil dari identifikasi masalah dan pengamatan kondisi yang terjadi pada IPAL rumah sakit kelas C dan melakukan perbandingan dengan baku mutu regulasi yang berlaku. Hasil perbandingan tersebut akan menimbulkan perbedaan yang dimana adalah sebuah celah sebagai ide tugas akhir.

3.2.3 Survey Lokasi

Survey lokasi adalah tahap untuk pengamatan lokasi objek perencanaan yang memiliki permasalahan terkait sistem pengolahan air limbah. Objek perencanaan atau lokasi ini akan dijelaskan lebih detail di tinjauan pustaka.

3.2.4 Pengumpulan Data

Tahapan pengumpulan data dilakukan untuk mengumpulkan data sekunder yang mendukung perencanaan pengolahan air limbah.

Data sekunder yang dibutuhkan, ialah:

- a. Data uji laboratorium sampel air limbah rumah sakit yang dihasilkan dari kegiatan rumah sakit kelas C
- b. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik
- c. Kriteria desain masing-masing unit yang akan direncanakan.
- d. Data debit air limbah rumah sakit
- e. Data sampel uji lab sampel air limbah sebelum pengolahan IPAL dan sesudah pengolahan IPAL (jika rumah sakit memiliki IPAL namun belum mencukupi baku mutu)
- f. Data pengolahan limbah cair rumah sakit lain dan data pendukung lainnya

3.2.5 Studi Literatur

Pada tahapan ini adalah tahapan untuk mendalami materi apa saja yang mendukung dan diperlukan dalam perencanaan pengolahan air limbah, meliputi:

- Karakteristik limbah medis dan non-medis rumah sakit
- Alternatif unit pengolahan yang dapat digunakan dengan efisien dan mudah
- Kriteria desain setiap unit bangunan yang akan digunakan dalam pengolahan air limbah
- Regulasi baku mutu yang berlaku.
- Kaidah – kaidah menggambar teknik untuk setiap unit yang digunakan.

3.2.6 Pengolahan Data

Data primer dan sekunder akan diolah untuk mendukung tahapan perencanaan bangunan atau sistem pengolahan air limbah seperti data debit, parameter, rumus yang digunakan untuk merencanakan bangunan IPAL akan diolah pada tahap ini.

3.2.7 Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Limbah

Dalam proyek perencanaan bangunan pengolahan air limbah, atau proses perencanaan pada umumnya dikenal dengan adanya beberapa tahapan yang membentuk siklus dari perencanaan. Berikut tahapan yang perlu dilakukan saat merencanakan bangunan pengolahan air limbah:

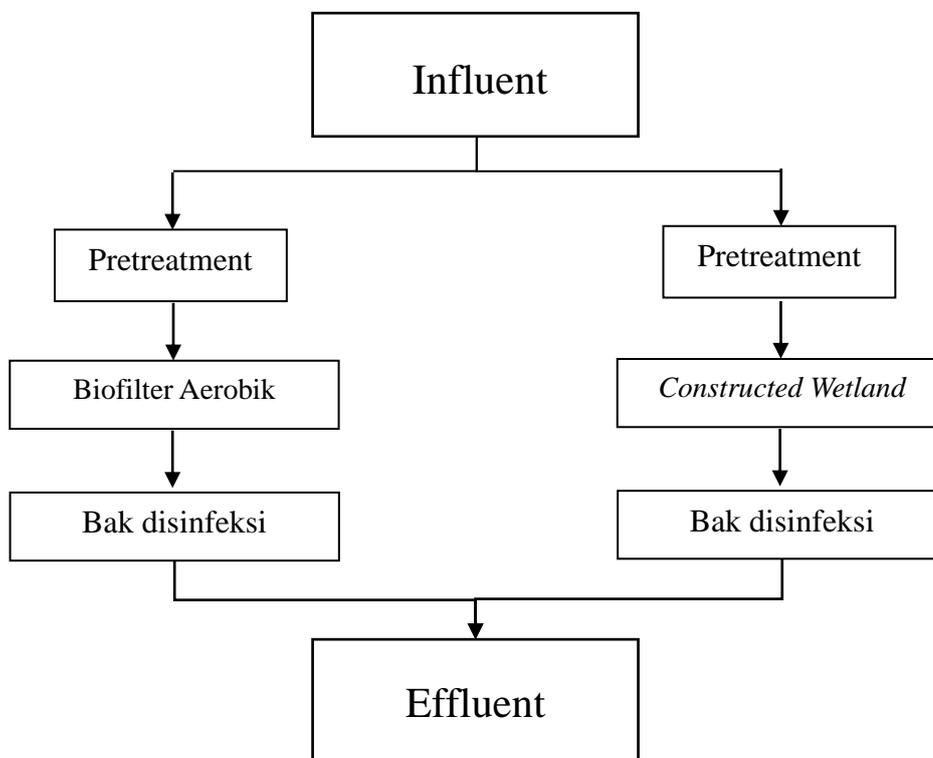
1. *Feasibility Studies*

➔ Studi kelayakan merupakan kajian yang dibuat sebagai penilaian awal terhadap kelayakan suatu proyek perencanaan untuk dapat dilaksanakan. Aspek-aspek tersebut meliputi:

- a. Kelayakan aspek ekonomi dan finansial
- b. Kelayakan aspek hukum dan kelembagaan
- c. Kelayakan aspek sosial budaya
- d. Kelayakan aspek dampak lingkungan

2. *Preliminary Studies*
 - ➔ Menetapkan perioda desain unit-unit bangunan pengolahan air limbah.
 - ➔ Menetapkan kriteria perencanaan proses.
 - ➔ Menghitung kesetimbangan massa.
 - ➔ Mempertimbangkan tata letak bangunan pengolahan air limbah.
3. *Detailed/Basic Engineering Design*
 - ➔ Tahap satu (pretreatment)
 - a. Desain Grease trap atau penangkap minyak
 - b. Desain Detergen treatment
 - c. Desain Tangki sedimentasi atau Tangki septik
 - ➔ Tahap dua (pengolahan biologis)
 - a. Desain Biofilter Aerob
 - b. Desain Constructed Wetland
 - ➔ Tahap tiga (pengolahan lanjutan)
 - a. Desain Bak Disinfeksi

Setelah tahapan pengolahan data, maka dilakukan perencanaan bangunan IPAL berdasarkan hasil uji lab yang diambil sampelnya dari lokasi sumber limbah. Langkah selanjutnya adalah perencanaan. Unit bangunan dalam perencanaan bangunan pengolahan air limbah menggunakan pengolahan fisik, biologis dan kimia. Pengolahan pada sistem instalasi air limbah ini akan direncanakan bangunan berupa grease trap, tangki septik, biofilter anaerobik-aerobik. Berikut merupakan diagram alir rencana IPAL rumah sakit kelas C:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Unit Pengolahan Air Limbah

Pretreatment yang dimaksudkan ialah:

1. Grease trap (perangkap minyak)
2. Bak sedimentasi atau tangki septik

Susunan unit pengolahan air limbah dilakukan dengan 3 tahapan dimana ada tahapan pretreatment, tahap biologis, dan tahapan pelengkap. Air limbah akan mengalami pretreatment untuk menghilangkan pencemar yang berlebih seperti sedimen dan detergen. Sedangkan untuk bangunan pelengkap, bak disinfeksi berfungsi sebagai pencegahan agar bakteri patogen yang lolos. Dan pada perencanaan ini, dilakukan perbandingan dengan 2 pengolahan biologis yaitu Biofilter aerob dan wetland, hal ini dilakukan untuk membandingkan 2 pengolahan dari segi luas lahan, efisiensi removal air limbah, biaya investasi, dan kurang lebihnya dari kedua teknologi ini. Setelah itu dilakukan scoring terhadap kedua pengolahan. Pengolahan yang lebih unggul akan dilanjutkan hingga tahap DED (Detail Engineering Desain).

Berikut parameter yang ingin dicapai pada perencanaan pengolahan air limbah pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Baku Mutu Kualitas Air Limbah Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Baku Mutu
pH	-	6 – 9
TSS	mg/L	30
COD	mg/L O ₂	100
BOD	mg/L O ₂	30
NH₃ Bebas	mg/L NH ₃ -N	10
Minyak dan lemak	mg/L	5

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016

Untuk anggaran biaya IPAL, biaya yang akan direncanakan meliputi biaya instalasi fisik dari perpipaan, bangunan pengolahan limbah non-medis dan bangunan penengkap. Perhitungan anggaran biaya didasarkan kepada Hasil Aanaalisa Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya tahun 2020.

3.2.8 Hasil dan Pembahasan

Tahap hasil dan pembahasan adalah tahap yang terdiri dari beberapa perhitungan yaitu kualitas air limbah IPAL rumah sakit kelas C, presentase removal yang dapat dilakukan oleh unit-unit pengolahan berdasarkan kriteria desain, perencanaan dimensi masing-masing unit pengolahan, perhitungan anggaran biaya yang dibutuhkan untuk membangun bangunan pengolahan air limbah dan pembuatan gambar DED (Detail Engineering Design).

3.2.9 Kesimpulan dan Saran

Tahap kesimpulan dan saran adalah tahap untuk memaparkan hasil analisis dan pengolahan data yang telah dilakukan dan diringkas dalam sebuah kesimpulan yang berisi hasil analisis dan saran atau mungkin rekomendasi dan kritik

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Debit Air Limbah IPAL

Debit merupakan hal yang penting dalam merencanakan sebuah unit pengolahan air limbah. Debit air limbah yang digunakan dalam perencanaan merupakan debit eksisting air limbah non medis (domestic) dari berbagai aktivitas rumah sakit. Jika tidak ada data untuk jumlah debit eksisting air limbah maka bisa digunakan perhitungan dari debit air bersih menjadi air limbah yaitu dengan mengalikan debit kebutuhan air bersih dengan 80%. Hal ini dikarenakan 80% air bersih yang digunakan akan berubah menjadi air limbah. Berikut merupakan tabel standar kebutuhan air bersih menurut kelas rumah sakit dan jenis rawat.

Tabel 4. 1 Standar Kebutuhan Air menurut Kelas Rumah Sakit dan Jenis Rawat

No	Kelas Rumah Sakit/Jenis Rawat	SBM	Satuan	Keterangan
1	Semua kelas	5 – 7,5	L/TT/hari	Kuantitas air minum
2	A – B	400 – 450	L/TT/hari	Kuantitas air untuk keperluan higine dan sanitasi
3	C – D	200 – 300	L/TT/Hari	Kuantitas air untuk keperluan higine dan sanitasi
4	Rawat jalan	5	L/org/Hari	Termasuk dalam SBM volume air sesuai kelas RS

Sumber: Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2019 tentang kesehatan lingkungan rumah sakit

Bedasarkan data tabel diatas rumah sakit kelas C, maksimal tempat tidur dari rumah sakit kelas C adalah 200 tempat tidur, maka asumsi air limbah yang dihasilkan adalah 200 L/ Tempat tidur. hari. Dikalikan 80%. Dikarenakan 80% air bersih akan berubah menjadi air limbah.

$$Q \text{ air limbah} = Q \text{ air bersih} \times 80\%$$

Didapatkan 80% nya sebesar 160 L/tempat tidur.hari atau 0,16 m³/tempat tidur.hari. Debit yang digunakan menggunakan debit rumah sakit kelas C salah satu rumah sakit C dengan debit sebesar 30 m³/hari.

4.2 Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air limbah yang digunakan dalam perencanaan instalasi pengolahan air limbah ini merupakan air limbah yang seluruhnya berasal dari rumah sakit. Data karakteristik untuk perencanaan digunakan data sekunder dari beberapa rumah sakit dengan kelas yang sama. Data sekunder tersebut tertera pada tabel 2.3 dan seluruh data akan dilakukan perhitungan rata-rata dan didapatkan seperti yang sudah tercantum pada tabel 4.2

Tabel 4. 2 Data Karakteristik Air Limbah Medis IPAL Rumah Sakit Kelas C

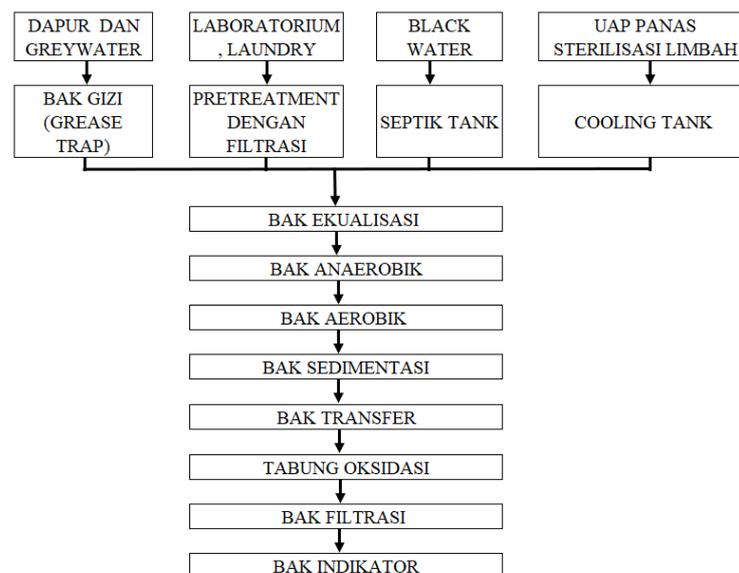
Parameter	Satuan	Data*	Baku mutu**
Temperatur	°C	25	-
pH	-	6,7	6 – 9
TSS	mg/L	60,1	30
COD	mg/L O ₂	186,6	100
BOD	mg/L O ₂	93,1	30
NH ₃ Bebas	mg/L NH ₃ -N	7,5	10
Phospat	mg/L PO ₄ -P	2,4	-
Total Koliform	MPN/100 mL	28000	-
Minyak dan lemak	mg/L	7	5

Sumber:

*) Data rata-rata data sekunder tabel 2.3

**) Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016

Dari data tabel 4.2 didapatkan bahwa semua parameter melebihi baku mutu. Air limbah berasal dari beberapa unit yang terdapat di rumah sakit kelas C. Berikut merupakan diagram alir dari salah satu rumah sakit kelas C



Gambar 4. 1 Diagram Alir Salah Satu IPAL rumah sakit kelas C

Sumber: Purwaningrum, SI, & Syarifuddin, H (2023)

Dari gambar 4.1 diagram alir salah satu IPAL rumah sakit kelas C didapatkan efisiensi masing-masing parameter adalah TSS (77,6%); BOD (86,98%); COD (90,02%); Amoniak (80,76%); dan minyak dan lemak (> 53,47%). Menggunakan regulasi baku mutu yang digunakan adalah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 secara umum. Namun hanya tidak semua rumah sakit dapat memiliki unit yang lengkap karena kondisi yang berbeda-beda dan ada beberapa masalah yang dimiliki rumah sakit lain, seperti keterbatasan fasilitas dan kesalahan perencanaan IPAL. Maka dari itu dilakukan pengkajian baru mengenai teknologi yang ekonomis, layak secara teknis, dan memenuhi standar lingkungan.

4.3 Alternatif Unit IPAL

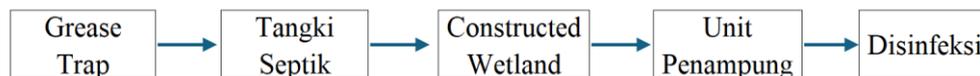
Rumah sakit kelas C yang menjadi tempat perencanaan sudah memiliki IPAL dengan Grease trap dan detergen treatment sebagai pretreatment sebelum menuju IPAL. Pada perencanaan ini akan direncanakan 2 alternatif unit IPAL yang nantinya akan dibandingkan untuk kelebihan dan kekurangan meliputi efisiensi penyisihan parameter, luas lahan, biaya investasi, volume dan Rencana Anggaran Biaya.

Alternatif IPAL I:



Gambar 4. 2 Skema Alternatif I IPAL

Alternatif IPAL II:



Gambar 4. 3 Skema Alternatif II IPAL

Berikut merupakan tabel keunggulan dari pengolahan biologis alternatif terpilih. Penilaian akan dilakukan dengan scoring sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Perbandingan antara Biofilter Aerobik dan *Constructed Wetland*

Perbandingan	Biofilter Aerobik ^[1]	<i>Constructed Wetland</i> ^[2]
Biaya investasi	5	5
Biaya pemeliharaan	5	4
Kemudahan dalam operasional	4	5
Efisiensi removal	4	5
Kebutuhan dan penggunaan jenis energi	5	5
Kebutuhan lahan	5	1
Kesesuaian teknologi dengan karakteristik air limbah	4	5

Perbandingan	Biofilter Aerobik^[1]	Constructed Wetland^[2]
Jenis peralatan dan suku cadang	4	5
Fleksibilitas dalam proses	4	4
Estetika	4	5
Produksi lumpur rendah	3	4
TOTAL NILAI SCORING	47	48

*Keterangan: 1 = sangat buruk; 2 = buruk; 3 = cukup; 4 = baik; 5 = sangat baik

Sumber:

^[1]Santoso, 2023

^[2]dpu.kulonprogokab.go.id

Beberapa perbandingan pada tabel 4.3 diatas bisa saja terbantahkan setelah menghitung alternatif pengolahan untuk masing-masing alternatif biologis. Untuk membuktikan hal tersebut maka akan dilakukan perhitungan perencanaan masing-masing alternatif untuk melihat dari segi biaya investasi, luas lahan dan efisiensi removal mana yang lebih unggul.

4.4 Perhitungan Unit IPAL

Setelah didapatkan data debit dan parameter yang akan diolah selanjutnya dapat dilakukan perhitungan untuk mencari dimensi dan efisiensi removal masing- masing unit.

4.4.1 Perencanaan Grease Trap

Unit grease trap akan direncanakan hanya terdapat 2 (dua) kompartemen. Unit grease trap untuk menyisihkan minyak dan lemak. Kriteria desain dari Grease trap adalah sebagai berikut (RafsanJani, 2022) :

- a) Kecepatan aliran (v) = 2 – 6 m/jam = 0,00055 m/s – 0,0016 m/s
- b) Waktu detensi (td) = 5 – 20 menit
- c) Terdiri dari 2 kompartemen atau satu kompartemen

Kompartemen pertama = 2/3 dari total panjang

Kompartemen kedua = 1/3 dari total panjang

Direncanakan:

Debit air limbah	=	30 m ³ /hari
TSS _{in}	=	60,1 mg/L
BOD _{in}	=	93,1 mg/L
COD _{in}	=	186,6 mg/L
Td	=	20 menit (kriteria desain 5 – 20 menit, (RafsanJani, 2022))
Rasio P: L	=	2: 1
Kedalaman	=	1 m
Fb	=	0,3 m
Tinggi bak	=	1,3 m

Perhitungan:

I. Volume bak (V)

$$\begin{aligned} V &= Td \times Q \\ &= 20 \text{ menit} \times 30 \text{ m}^3/\text{hari} \times \text{hari} / 1440 \text{ menit} \\ &= 0,42 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

II. Luas permukaan bak (A)

$$\begin{aligned} A &= V/h \\ &= 0,42 \text{ m}^3 / 1 \text{ m} \\ &= 0,42 \text{ m}^2 \\ &= 0,5 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

III. Panjang (P) dan Lebar (L) bak

$$\begin{aligned} A &= P \times L \\ 0,42 &= 2L^2 \\ L &= (0,42 \text{ m}^2/2)^{0,5} \\ &= 0,458 \text{ m} \\ &= 0,5 \text{ m} \\ P &= 2 \times L \\ &= 2 \times 0,458 \text{ m} \\ &= 0,916 \text{ m} \\ &= 0,9 \text{ m} = 1 \text{ m} \\ \text{Kompartemen I} &= 2/3 \times 1 \text{ m} \\ &= 0,6 \text{ m} \\ \text{Kompartemen 2} &= 1/3 \times 1 \\ &= 0,4 \text{ m} \end{aligned}$$

IV. Cek td

$$\begin{aligned} td &= (P \times L \times h)/Q \\ &= (1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 1 \text{ m}) / 30 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 24 \text{ menit (kriteria desain 5 – 20 menit, (RafsanJani, 2022))} \end{aligned}$$

Dimensi Pipa Influen dan Effluen menuju Grease Trap

$$\begin{aligned} (v) &= 1 \text{ m/s} \\ \text{Debit air limbah (Q)} &= 30 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{Pipa yang akan digunakan} &= \text{PVC} \end{aligned}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Luas penampangan basah (A)} &= Q/v \\ &= \frac{30 \text{ m}^3/\text{hari}}{1 \text{ m/s} \times \text{hari} / 86400 \text{ detik}} = 0,00034722 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Diameter pipa (D)

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times D \times D \\ 0,00034722 \text{ m}^2 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \\ D &= 0,0210314 \text{ m} \\ &= 21,03 \text{ mm (inner diameter)} \end{aligned}$$

(dipilih jenis pipa diameter 100 mm)

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times D \times D \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,1 \times 0,1 \\ &= 0,0005306 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek } v &= Q/A \\ &= 30 \text{ m}^3/\text{hari} / 0,0005306 \text{ m}^2 \\ &= (0,000347222 \text{ m}^3/\text{s}) / 0,0005306 \text{ m}^2 \\ &= 0,6543912 \text{ m/s (kriteria desain } 0,00055 \text{ m/s} - \\ &= 0,0016 \text{ m/s)} \end{aligned}$$

$$\text{Kebutuhan Pipa Tee} = 2 \text{ buah}$$

4.4.2 Perencanaan Tangki Septik

Sebelum menuju pengolahan biologis biofilter dan CW, perencanaan bak pengendap awal dilakukan untuk mencegah terjadinya penyumbatan dini dan dengan adanya bak pengendap awal, efisiensi kerja dan umur dari biofilter dan CW akan semakin baik. Kriteria desain yang digunakan bak pengendap awal berbentuk tangki septik. Untuk bak pengendap awal biofilter tangki septik akan terintegrasi. Dan untuk CW, dengan perhitungan perencanaan yang sama akan tetapi bak pengendap awal atau tangki septik akan dipisah dari unit CW. Operasional IPAL jika terjadi fluktuasi maka air limbah akan ditampung ke dalam tangki septik yang sudah didesain untuk dapat menampung dan menahan fluktuasi air limbah. Tangki septik memang dirancang untuk menampung dan mengolah air limbah dengan cara anaerob. Namun, kemampuan tangki septik untuk menahan fluktuasi air limbah tergantung pada beberapa faktor. Pertama kapasitas tangki, jika kapasitas tangki dibuat lebih besar maka fluktuasi volume air limbah dapat ditahan. Perawatan dan pemeliharaan tangki septik yang baik dan memperhatikan jadwal waktu pengurasan maka akan dapat terus berfungsi menampung air limbah dengan baik.

Berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan dalam tangki septik, maka dimensi dari bak pengendap rangkaian unit anaerobik biofilter (tangki septik) dapat dihitung sebagai berikut

Direncanakan

$$\begin{aligned} \text{Debit air limbah} &= 30 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{TSS}_{\text{in}} &= 60,1 \text{ mg/L} \\ \text{BOD}_{\text{in}} &= 93,1 \text{ mg/L} \\ \text{COD}_{\text{in}} &= 186,6 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

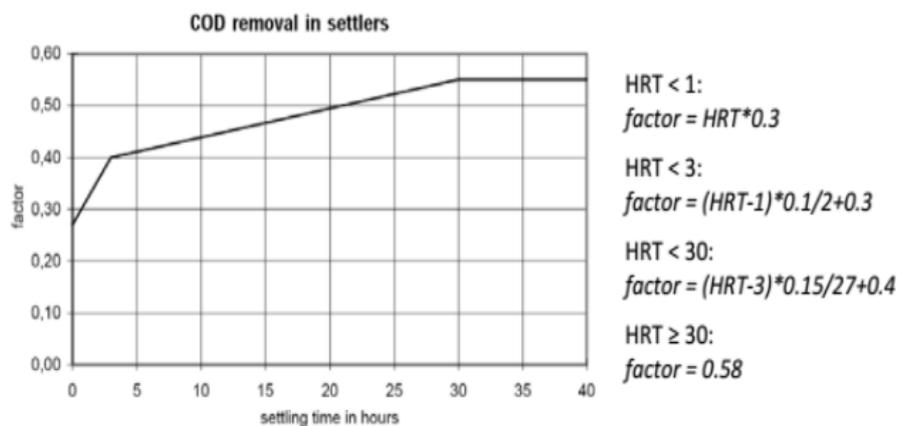
HRT = 2 hari (Kriteria desain 2 – 3 hari, SNI 2398:2017)
= 48 jam

Q/jam = Q/ waktu pengaliran
= 30 m³/hari / 24 jam/hari
= 1.25 m³/jam

COD/BOD = COD_{in} / BOD_{in}
= 186,6 mg/L / 93,1 mg/L
= 2

Efisiensi Removal

Lalu untuk menentukan faktor penyisihan atau efisiensi removal COD dapat dilakukan dengan HRT berdasarkan grafik faktor HRT pada gambar 4.3



Gambar 4. 4 Grafik Faktor HRT

Faktor HRT = HRT ≥ 30
= 48 jam
= 0,58

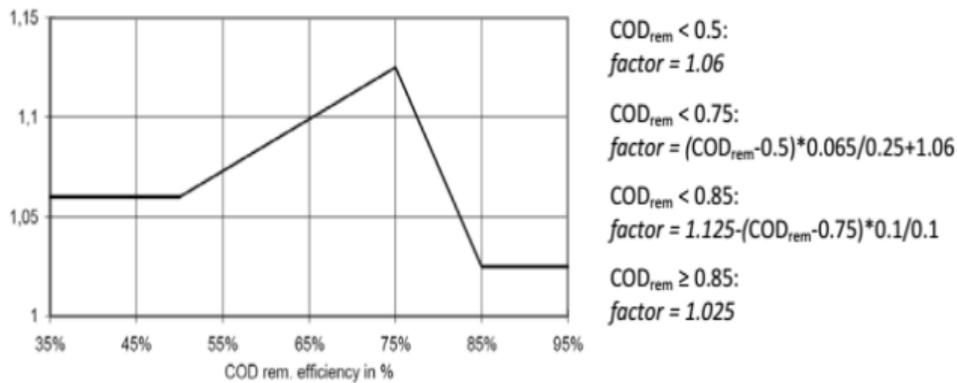
Rasio SS/COD = 0,58

%COD removal = Rasio SS/COD / 0,6 x faktor COD/HRT
= 0,6 / 0,6 x 0,58
= 0,58
= 58%

COD_{removal} = COD_{in} x %COD_{removal}
= 186,6 mg/L x 58%
= 108,23 mg/L

COD_{effluent} = COD_{in} * (1 - COD_{removal})
= 186,6 mg/L x (1 – 58%)
= 78,37 mg/L

Menentukan faktor penyisihan rasio BOD/COD untuk mengetahui %BOD removal berdasarkan grafik rasio BOD_{removal}/COD_{removal} pada gambar 4.4



Gambar 4. 5 Grafik Rasio $BOD_{removal}/COD_{removal}$

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor } BOD_{removal}/COD_{removal} &= (COD_{rem} - 0,5) \times 0,065/0,25 + 1,06 \\
 &= (0,58 - 0,5) \times 0,065/0,25 + 1,06 \\
 &= 1,08 \\
 \% BOD_{removal} &= \% COD_{removal} \times \text{faktor } BOD_{removal}/COD_{removal} \\
 &= 58\% \times 1,08 \\
 &= 63\% \\
 BOD_{removal} &= BOD_{in} \times \% BOD_{rem} \\
 &= 93,1 \text{ mg/L} \times 63\% \\
 &= 58,65 \text{ mg/L} \\
 BOD_{effluent} &= BOD_{in} \times (1 - BOD_{removal}) \\
 &= 93,1 \text{ mg/L} \times (1 - 63\%) \\
 &= 34,45 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Penyisihan TSS

Penyisihan TSS berhubungan dengan waktu tinggal atau HRT. Menurut Qasim (1999), penyisihan untuk pretreatment adalah 85%. Penyisihan TSS didapatkan 85%.

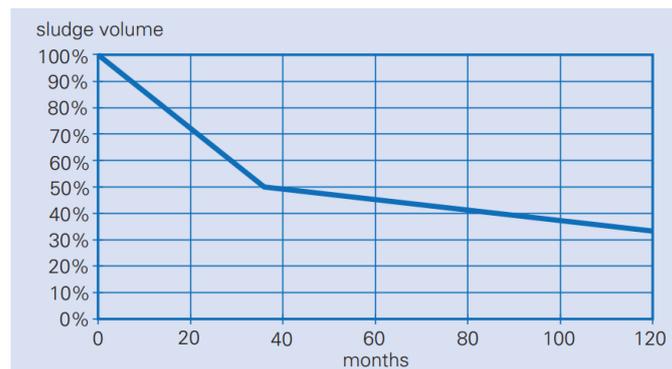
$$\begin{aligned}
 TSS_{removal} &= TSS_{in} \times \% TSS_{rem} \\
 &= 60,1 \text{ mg/L} \times 85\% \\
 &= 51,09 \text{ mg/L} \\
 TSS_{effluent} &= TSS_{in} \times (1 - TSS_{removal}) \\
 &= 60,1 \text{ mg/L} \times (1 - 85\%) \\
 &= 9,01 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Produksi Lumpur

$$\begin{aligned}
 TSS \text{ removal} &= 51,09 \text{ mg/L} \\
 &= 1,53 \text{ kg/hari} \\
 \text{Specific Gravity (Sg)} &= 1,02 \\
 \text{p air} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 \% \text{solid} &= 5\% \\
 \text{Debit lumpur} &= TSS \text{ removal} / (\text{Sg} \times \text{p air} \times 5\%) \\
 &= 1,53 \text{ kg/hari} / (1,02 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 5\%)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,03 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{Interval pengurasan} &= 2 \text{ tahun (Kriteria desain 2 – 5 tahun, SNI 2398:2017)} \\
 &= 24 \text{ bulan} \\
 \text{Volume lumpur} &= \text{Debit lumpur} \times 24 \text{ bulan} \\
 &= 0,03\text{m}^3/\text{hari} \times 24 \text{ bulan} \\
 &= 21,6 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Selanjutnya adalah menentukan faktor reduksi volume lumpur dengan grafik faktor reduksi lumpur pada gambar 4.5



Gambar 4. 6 Grafik Faktor Reduksi Lumpur

$$\begin{aligned}
 \text{Volume lumpur terkompaksi} &= \text{Volume lumpur} \times (1 - 70\%) \\
 &= 21,6 \text{ m}^3 \times (1 - 70\%) \\
 &= 6,48 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Volume bak dihitung dua kali dari akumulasi volume lumpur untuk menghindari penurunan efisiensi akibat akumulasi lumpur. Volume lumpur tergantung pada jumlah padatan yang dapat diendapkan pada influen dan waktu penyimpanan

$$\begin{aligned}
 \text{Volume lumpur terkompaksi} &= 2 \times \text{Volume lumpur terkompaksi} \\
 &= 2 \times 6,48 \text{ m}^3 \\
 &= 12,96 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

4.4.2.1 Perhitungan dimensi

Di dalam SNI 2398:2017 dikatakan Tangki septik segi empat dengan perbandingan panjang dan lebar 2 : 1 sampai 3 : 1, lebar tangki septik minimal 0,75 m dan panjang tangki septik minimal 1,50 m, tinggi tangki minimal 1,5 m termasuk ambang batas (freeboard) 0,3 m. Bak pengendap awal ini akan digabungkan dengan unit pengolahan biofilter maka otomatis kedalaman dan lebar bak akan mengikuti dimensi dari biofilter itu sendiri yang direncanakan kedalamannya adalah 1,5 m dan lebar 1 m. Sehingga bak pengendap awal akan dihitung seperti berikut

Diketahui

$$\begin{aligned}
 \text{Debit} &= 30 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{TSS}_{\text{in}} &= 60,1 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

BOD _{in}	=	93,1 mg/L
COD _{in}	=	186,6 mg/L
N _{in}	=	7,5 mg/L
P _{in}	=	2,4 mg/L
Tinggi air (H _{air})	=	2 m
Lebar	=	2 m (direncanakan)
Fb	=	0,3 m
Waktu detensi	=	2 hari ; 48 jam
Perioda pengurasan	=	2 tahun ; 24 bulan
V _L	=	12,96 m ³

Perhitungan

V _L	=	12,96 m ³
Tinggi air	=	2 m (direncanakan)
Lebar	=	2 m (direncanakan)
Panjang	=	V = P x L x T
	12,96 m ³	= P x 2 m x 2 m
Panjang total	=	3,25 m

Kompartemen 1

Lebar bak (L bak)	=	2 m
Tinggi air minimum	=	2 m
Panjang total	=	3,25 m
Panjang komp 1	=	2/3 x 3,25
	=	2,17 m
	=	2,2 m
Fb	=	0,3 m
Tinggi bak (H bak)	=	H air + fb
	=	2 m + 0,3 m
	=	2,3 m
Luas permukaan bak	=	Panjang komp 1 x L bak
	=	2,2 m x 2 m
	=	4,4 m ²
Volume komp 1	=	Panjang komp 1 x L bak x H air
	=	2,2 m x 2 m x 2 m
	=	8,8 m ³

Kompartemen II

Panjang komp 2	=	1/3 x panjang total
	=	1/3 x 3,25 m

$$\begin{aligned}
&= 1,08 \text{ m} \\
&= 1,1 \text{ m} \\
\text{Lebar bak} &= 2 \text{ m} \\
\text{Tinggi air} &= 2 \text{ m} \\
\text{Fb} &= 0,3 \text{ m} \\
\text{Tinggi bak} &= H \text{ air} + \text{Fb} \\
&= 2 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\
&= 2,3 \text{ m} \\
\text{Luas permukaan bak} &= \text{Panjang komp 2} \times \text{L bak} \\
&= 1,1 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\
&= 2,2 \text{ m}^2 \\
\text{Volume komp 2} &= \text{Panjang komp 2} \times \text{L bak} \times \text{H air} \\
&= 1,1 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\
&= 4,4 \text{ m}^3 \\
\text{Organic Loading Rate (OLR)} &= \text{Massa COD}_{\text{in}} / (\text{V}_{\text{komp 1}} + \text{V}_{\text{komp II}}) \\
&= 5,6 \text{ kg/hari} / (8,8 \text{ m}^3 + 4,4 \text{ m}^3) \\
&= 0,42 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari}
\end{aligned}$$

Perhitungan Biogas

$$\begin{aligned}
\text{Produksi gas} &= (\text{COD}_{\text{in}} - \text{BOD}_{\text{eff}}) \times \text{Q}_{\text{in}} \times 0,35 / 1000 / 0,7 / 0,5 \\
&= (186,6 \text{ mg/L} - 34,45 \text{ mg/L}) \times 30 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,35 / \\
&= 1000 / 0,7 / 0,5 \\
&= 4,56 \text{ m}^3/\text{hari}
\end{aligned}$$

Dimensi Pipa Influen Bak Pengendap Biofilter (tangki septik)

$$\begin{aligned}
(v) &= 1 \text{ m/s} \\
\text{Debit air limbah (Q)} &= 30 \text{ m}^3/\text{hari} \\
\text{Pipa yang akan digunakan} &= \text{PVC}
\end{aligned}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
\text{Luas penampangan basah (A)} &= Q/v \\
&= \frac{30 \text{ m}^3/\text{hari}}{1 \text{ m/s} \times \text{hari} / 86400 \text{ detik}} = 0,00034722 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

Diameter pipa (D)

$$\begin{aligned}
A &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times D \times D \\
0,00034722 \text{ m}^2 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \\
D &= 0,0210314 \text{ m} \\
&= 21,03 \text{ mm (inner diameter)}
\end{aligned}$$

(dipilih jenis pipa diameter 100 mm)

$$\begin{aligned}
A &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times D \times D \\
&= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,1 \times 0,1 \\
&= 0,0005306 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

$$\text{Cek } v = Q/A$$

$$\begin{aligned}
&= 30 \text{ m}^3/\text{hari} / 0,0005306 \text{ m}^2 \\
&= (0,000347222 \text{ m}^3/\text{s}) / 0,0005306 \text{ m}^2 \\
&= 0,6543912 \text{ m/s (mencukupi)}
\end{aligned}$$

Kesetimbangan Massa

TSS

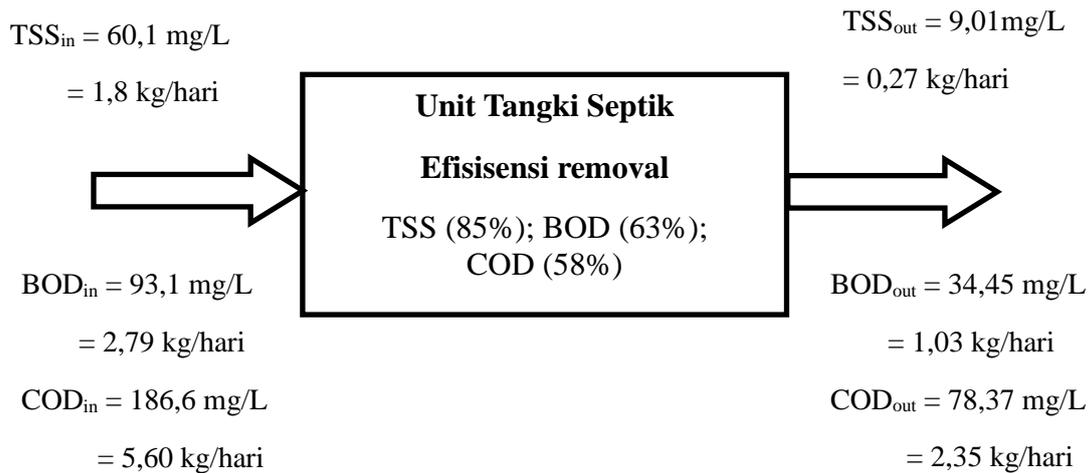
$$\begin{aligned}
Q_{in} &= 30 \text{ m}^3/\text{hari} \\
\% \text{removal} &= 85\% \\
TSS_{in} &= 60,1 \text{ mg/L} \\
TSS_{removal} &= TSS_{in} \times \%TSS_{rem} \\
&= 60,1 \text{ mg/L} \times 85\% \\
&= 51,09 \text{ mg/L} \\
TSS_{effluent} &= TSS_{in} \times (1 - TSS_{removal}) \\
&= 60,1 \text{ mg/L} \times (1 - 85\%) \\
&= 9,01 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

BOD

$$\begin{aligned}
Q_{in} &= 30 \text{ m}^3/\text{hari} \\
\% \text{removal} &= 63\% \\
BOD_{in} &= 93,1 \text{ mg/L} \\
BOD_{removal} &= BOD_{in} \times \%BOD_{rem} \\
&= 93,1 \text{ mg/L} \times 63\% \\
&= 58,65 \text{ mg/L} \\
BOD_{effluent} &= BOD_{in} \times (1 - BOD_{removal}) \\
&= 93,1 \text{ mg/L} \times (1 - 63\%) \\
&= 34,45 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

COD

$$\begin{aligned}
Q_{in} &= 30 \text{ m}^3/\text{hari} \\
\% \text{removal} &= 58\% \\
COD_{in} &= 186,6 \text{ mg/L} \\
COD_{removal} &= COD_{in} \times \%COD_{removal} \\
&= 186,6 \text{ mg/L} \times 58\% \\
&= 108,23 \text{ mg/L} \\
COD_{effluent} &= COD_{in} \times (1 - COD_{removal}) \\
&= 186,6 \text{ mg/L} \times (1 - 58\%) \\
&= 78,37 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$



4.4.3 Perencanaan Biofilter Aerobik

Selanjutnya perencanaan dan perhitungan unit pengolahan biologis biofilter aerob. Perhitungan sebagai berikut.

4.4.3.1 Bak Aerobik

Bak aerobik adalah bak kompartemen selanjutnya yang akan menerima hasil effluen dari tangki septik. Di unit ini pengolahan limbah akan diolah secara aerob untuk menguraikan bahan organik dengan oksigen.

Diketahui:

TSS _{in}	=	9,01 mg/L
BOD _{in}	=	34,45 mg/L
COD _{in}	=	78,37 mg/L
N _{in}	=	7,5 mg/L
P _{in}	=	2,4 mg/L
Porositas	=	98%
T	=	30°

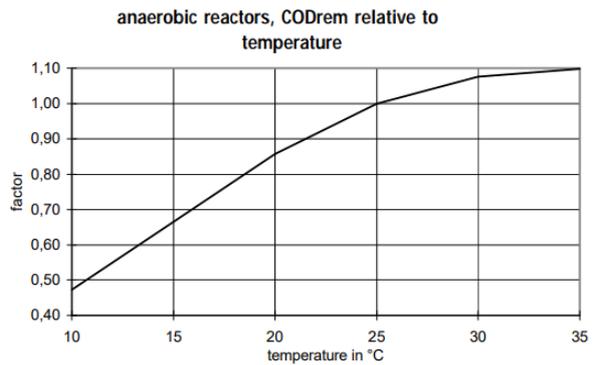
Direncanakan:

HRT tiap bak	=	6 jam (Kriteria desain 6 – 8 jam, (Said & Hartaja, 2015))
Jumlah bak rencana	=	1 bak
Luas Spesifik media (Media Sarang tawon)	=	200 m ² /m ³

Perhitungan Efisiensi removal

Faktor Temperatur

Didapatkan data untuk temperature adalah 30°C maka penentuan faktor digunakan grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.7



$$\begin{aligned} \text{temp} < 20 \text{ }^\circ\text{C}: \\ \text{factor} &= (\text{temp}-10)*0.39/20+0.47 \\ \text{temp} < 25 \text{ }^\circ\text{C}: \\ \text{factor} &= (\text{temp}-20)*0.14/5+0.86 \\ \text{temp} < 30 \text{ }^\circ\text{C}: \\ \text{factor} &= (\text{temp}-25)*0.08/5+1 \\ \text{temp} \geq 30 \text{ }^\circ\text{C}: \\ \text{factor} &= 1.10 \end{aligned}$$

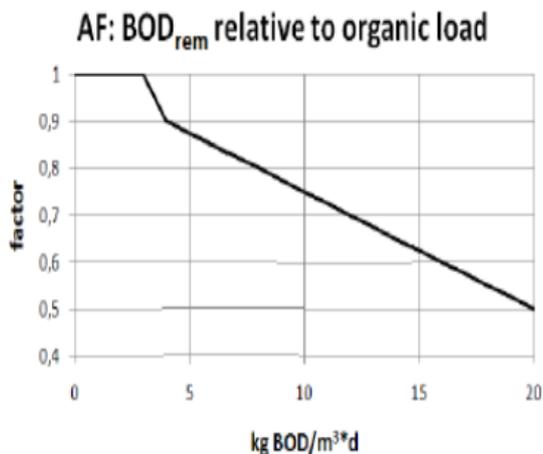
Gambar 4. 7 Grafik Faktor Temperatur

Berdasarkan grafik pada gambar 4.6, suhu hasil analisa adalah 30°C.

$$\begin{aligned} \text{f-temp} &= ((\text{temperatur} - 25) \times 0,8 / 5) + 1 \\ &= ((30 - 25) \times 0,8 / 5) + 1 \\ &= 1,08 \end{aligned}$$

Faktor Organik Load

Faktor organik load dapat dilihat dari grafik pada gambar 4.8 berikut.



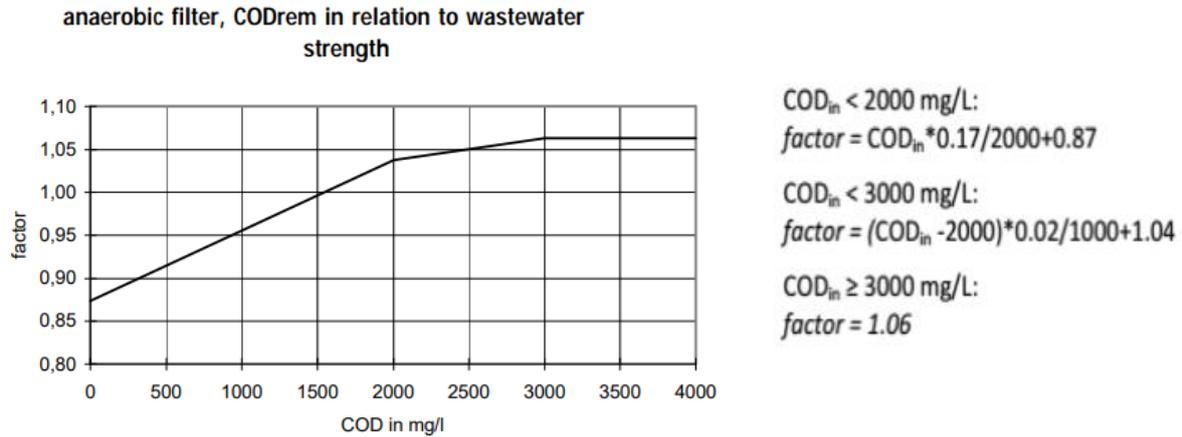
$$\begin{aligned} \text{load} < 4 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}: \\ \text{factor} &= 1.00 \\ \text{load} \geq 4 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}: \\ \text{factor} &= 1 - (\text{load}) * 0.4 / 16 \end{aligned}$$

Gambar 4. 8 Grafik Faktor Load

Direncanakan untuk OLR 0,6 kg/m³ berasal dari kriteria desain. Dari yang artinya nilai tersebut adalah OLR < 4 kg/m³.hari. Maka nilai faktor yang didapatkan berdasarkan grafik adalah 1.

Faktor COD Strength

Faktor COD Strength dapat ditentukan dengan grafik pada gambar 4.9



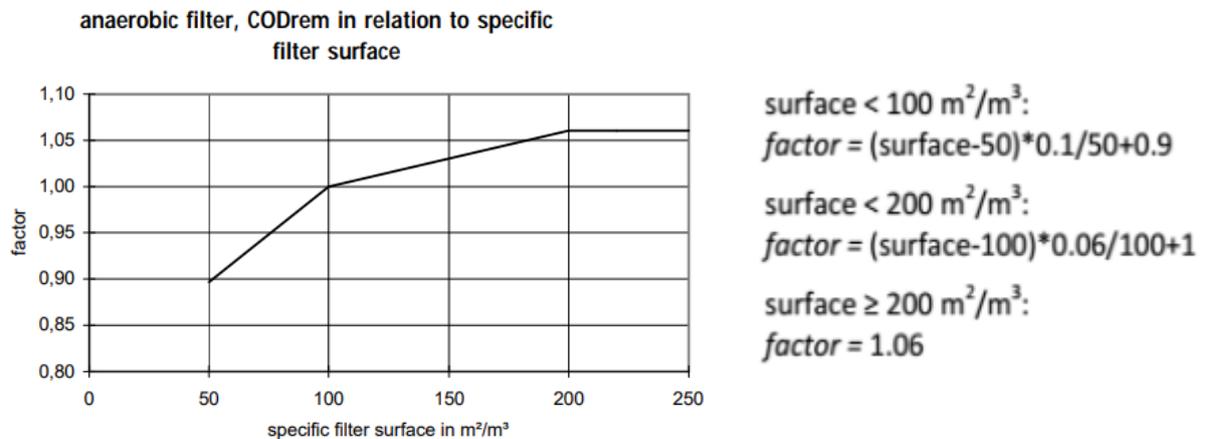
Gambar 4. 9 Grafik Faktor Strength

Pada perencanaan ini COD_{in} sebesar 78,37 mg/L, maka faktor COD strength yang digunakan untuk $COD_{in} < 2000 \text{ mg/L}$.

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor Strength} &= COD_{in} \times 0,17 / 2000 + 0,87 \\
 &= 78,37 \text{ mg/L} \times 0,17 / 2000 + 0,87 \\
 &= 0,89
 \end{aligned}$$

Faktor Luas Permukaan Filter

Faktor luas permukaan filter dapat ditentukan dari gambar 4.10 sebagai berikut

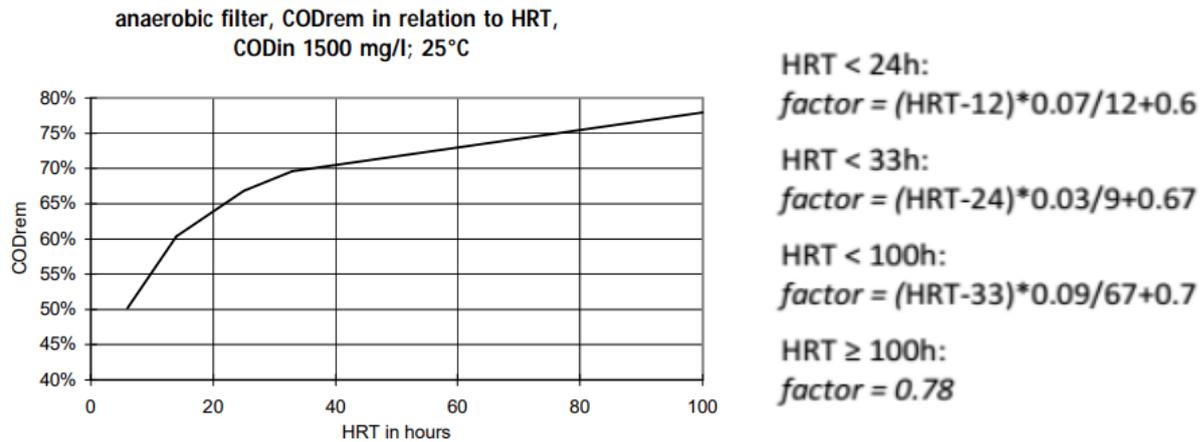


Gambar 4. 10 Grafik Faktor Permukaan Filter

Pada perencanaan bangunan instalasi pengolahan air limbah menggunakan media sarang tawon yang luas spesifik 150 – 220 m²/m³. Direncanakan digunakan 200 m²/m³. Maka faktor sesuai grafik faktor bernilai 1,06.

Faktor HRT

Faktor HRT dapat ditentukan dengan menggunakan grafik pada gambar 4.11



Gambar 4. 11 Grafik Faktor HRT

Rentang waktu retensi hidrolis (HRT) dibandingkan dengan volume tangki harus berada dalam kisaran 1,5 dan 2 hari untuk air hitam yang telah diendapkan (SASSE 1998) dan 0,7 hingga 1,5 hari untuk greywater (MOREL & DIENER 2006). Maka digunakan HRT < 24 jam

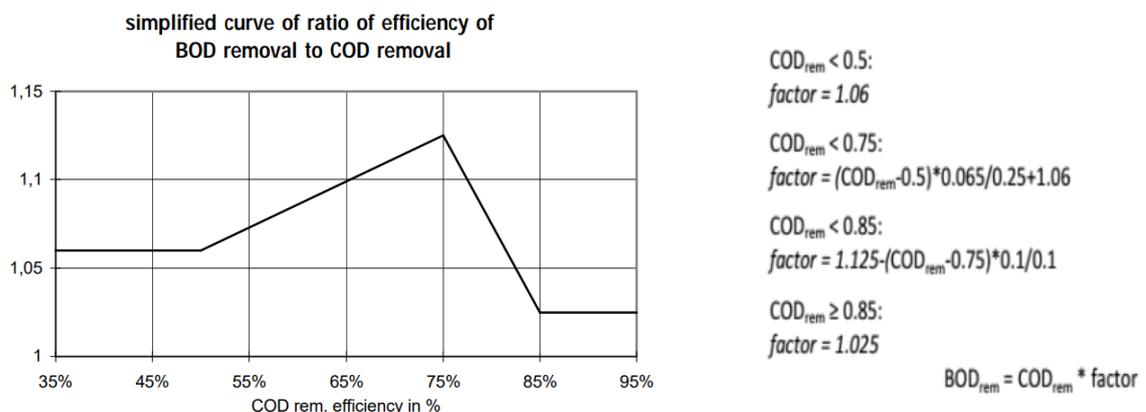
$$\begin{aligned}
 f\text{-HRT} &= (HRT - 12) \times 0,07 / 12 + 0,6 \\
 &= (6 - 12) \times 0,07 / 12 + 0,6 \\
 &= 0,57
 \end{aligned}$$

Setelah menentukan faktor-faktor, selanjutnya dilakukan perhitungan % COD, BOD dan TSS removal dengan menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 \% \text{COD removal} &= f\text{-temperatur} \times f\text{-COD strength} \times f. \text{ luas permukaan} \\
 &= \text{filter spesifik} \times f.\text{HRT} \times (1 + \text{jumlah filter} \times 0,04) \\
 &= ((1,08 \times 0,89 \times 1,06 \times 0,57) \times (1 + (2 \times 0,04))) \\
 &= 0,628 \\
 &= 62,8\%
 \end{aligned}$$

Faktor Efisiensi BOD_{rem}/COD_{rem}

Faktor efisiensi penyisihan BOD dan COD dapat dilihat dari grafik pada gambar 4.12



Gambar 4. 12 Grafik Faktor Efisiensi BOD_{rem}/COD_{rem}

Pada perhitungan yang didapatkan COD removal sebesar 0,657, maka berdasarkan grafik dengan $COD_{rem} < 0,75$ maka faktor yang didapatkan adalah faktor dengan rumus

$$\begin{aligned} \text{Faktor Efisiensi} &= (\text{COD}_{rem} - 0.5) \times 0.065 / 0.25 + 1.06 \\ \text{BOD}_{rem}/\text{COD}_{rem} &= (0,62 - 0,5) \times 0,065 / 0,25 + 1,06 \\ &= 1,09 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \% \text{BOD removal} &= \text{COD removal} \times \text{faktor BOD}_{removal}/\text{COD}_{removal} \\ &= 0,62 \times 1,09 \\ &= 0,675 \\ &= 67,5\% \\ \text{BOD}_{out} &= (1 - \text{BOD}_{removal}) \times \text{BOD}_{in} \\ &= (1 - 0,675) \times 34,45 \text{ mg/L} \\ &= 11,18 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Kemudian menentukan removal TSS. Menurut Tchobanoglous (2004), penyisihan TSS yang berhubungan dengan waktu tinggal atau HRT menggunakan rumus sebagai berikut

$$\%R = \frac{\theta_H}{a + b \theta_H}$$

Dimana :

- a, b = koefisien
- a = 0,0075
- b = 0,014
- θ_H = waktu detensi HRT
- %R = presentase penyisihan

Sehingga dapat ditentukan TSS dari unit pengolahan anaerobic biofilter direncanakan HRT 6 jam.

$$\%R = \frac{6}{0,0075 + (0,014 \times 6)}$$

$$\%R = 65,6\%$$

$$\begin{aligned} \text{BOD}_{removal} &= \text{BOD}_{in} \times \% \text{BOD}_{rem} \\ &= 34,45 \text{ mg/L} \times 67,5\% \\ &= 11,18 \text{ mg/L} \\ \text{COD}_{removal} &= \text{COD}_{in} \times \% \text{COD}_{rem} \\ &= 78,37 \text{ mg/L} \times 62,5\% \\ &= 48,98 \text{ mg/L} \\ \text{TSS}_{removal} &= \text{TSS}_{in} \times \% \text{TSS}_{rem} \\ &= 9,01 \text{ mg/L} \times 65,6\% \\ &= 5,91 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{BOD}_{\text{eff}} &= \text{BOD}_{\text{inf}} \times (1 - \text{BOD}_{\text{rem}}) \\
&= 34,45 \text{ mg/L} \times (1 - 67\%) \\
&= 11,37 \text{ mg/L} \\
\text{COD}_{\text{eff}} &= \text{COD}_{\text{inf}} \times (1 - \text{COD}_{\text{rem}}) \\
&= 78,37 \text{ mg/L} \times (1 - 62,5\%) \\
&= 29,39 \text{ mg/L} \\
\text{TSS}_{\text{eff}} &= \text{TSS}_{\text{inf}} \times (1 - \text{TSS}_{\text{rem}}) \\
&= 9,01 \text{ mg/L} \times (1 - 65,6\%) \\
&= 3,10 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

N dan P

$$\begin{aligned}
\text{N removal} &= 85,9 \% \text{ (Mirandri dan Purnomo, 2021)} \\
\text{N}_{\text{eff}} &= 5,63 \text{ mg/L} \times (1 - 85,9\%) \\
&= 0,79 \text{ mg/L} \\
\text{Massa N}_{\text{in}} &= 0,17 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa N}_{\text{eff}} &= 0,02 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{P removal} &= 84,82 \% \text{ (Mirandri dan Purnomo, 2021)} \\
\text{P}_{\text{eff}} &= 2,02 \text{ mg/L} \times (1 - 84,82\%) \\
&= 0,3 \text{ mg/L} \\
\text{Massa P}_{\text{in}} &= 0,06 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa P}_{\text{eff}} &= 0,009 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

Kebutuhan Nutrien

Dalam pengolahan air limbah biasanya disebutkan bahwa rasio perbandingan C: N:P pada air limbah yang akan diolah adalah **100:5:1 untuk pengolahan aerobik** dan **250:5:1 untuk pengolahan anaerobic** (Ammary, 2004). Perhitungan kebutuhan nutrient dilakukan untuk menentukan apakah konsentrasi nutrisi dalam air limbah berlebihan, kurang, atau sudah cukup untuk proses pengolahan limbah secara biologis. Berikut merupakan perencanaan dan perhitungan kebutuhan nutrient dalam pengolahan biologis unit pengolahan anaerobik biofilter:

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
\text{Rasio COD: N: P} &= 100: 5: 1 \\
[\text{COD}_{\text{in}}] &= 78,37 \text{ mg/L} \\
[\text{COD tersisihkan}] &= \text{COD}_{\text{in}} \times \% \text{COD}_{\text{rem}} \\
&= 48,98 \text{ mg/L} \\
\text{Kebutuhan N} &= (5/100) \times [\text{COD tersisihkan}] \\
&= (5/100) \times 48,98 \text{ mg/L} \\
&= 2,45 \text{ mg/L} \\
\text{Kebutuhan P} &= (1/100) \times [\text{COD tersisihkan}] \\
&= (1/100) \times 48,98 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,49 \text{ mg/L} \\
 \text{N} &= 7,5 \text{ mg/L} \\
 \text{P} &= 2,4 \text{ mg/L} \\
 \text{Kelebihan N} &= [\text{N}_{\text{in}}] - [\text{Kebutuhan N}] \\
 &= 7,5 - 2,45 \\
 &= 5,05 \text{ mg/L} \\
 \text{Kelebihan P} &= [\text{P}_{\text{in}}] - [\text{Kebutuhan P}] \\
 &= 2,4 - 0,49 \\
 &= 1,91 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Produksi lumpur Bak Aerob

$$\begin{aligned}
 \text{Synthesis yield in aerobik (Y)} &= 0,6 \text{ mg VSS/mg COD} \\
 \text{Massa COD tersisihkan} &= 1,47 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa COD}_{\text{vss}} &= 1,42 \times Y \times \text{Massa COD tersisihkan} \\
 &= 1,42 \times 0,6 \text{ mg VSS/mg COD} \times 1,47 \text{ kg/hari} \\
 &= 1,25 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa COD}_{\text{TSS}} &= \text{Massa COD}_{\text{vss}} / 0,85 \\
 &= 1,25 \text{ kg/hari} / 0,85 \\
 &= 1,47 \text{ kg/hari} \\
 \text{Specific gravity (Sg)} &= 1,025 \\
 \rho_{\text{air}} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 \% \text{solid} &= 5 \% \\
 \text{Debit lumpur} &= \text{Massa COD}_{\text{TSS}} / (\text{Sg} \times \rho_{\text{air}} \times \% \text{solid}) \\
 &= 1,47 \text{ kg/hari} / (1,025 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,05) \\
 &= 0,02 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &\text{Waktu pengurasan dapat dilakukan saat pemeliharaan} \\
 &\text{biofilter secara keseluruhan.}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan Oksigen untuk Bak Aerob

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan oksigen} &= 11,18 \text{ mg/L} \\
 &= \text{Massa BOD tersisihkan di bak aerob} \\
 &= 0,34 \text{ kg/hari} \\
 \text{Faktor keamanan} &= 1,6 \text{ (Metcalf and Eddy, 2003)} \\
 \text{Presentase oksigen di udara} &= 23,18\% \\
 \text{Massa jenis udara} &= 1,1725 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Kebutuhan udara teoritis} &= \frac{0,34 \times 1,6}{23,18\% \times 1,1725} \\
 &= 2 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{Efisiensi diffuser} &= 7\% \\
 \text{[tipikal pipa perforated]} &= \\
 \text{Kebutuhan udara} &= \text{Kebutuhan udara teoritis} / \text{efisiensi diffuser}
 \end{aligned}$$

	=	2 m ³ /hari / 7%
	=	28,57 m ³ /hari = 1,19 m ³ /jam
	=	19,83 L/menit
Jenis pompa	=	Aerator Air Pump
Spesifikasi		
	Merek	= Resun LP 60 Aerator
	Model	= LP 60
	Tegangan	= 220 -240 V
	Daya	= 50 watt
	Laju angin/output	= 70 L/menit
	Tekanan	= 0,037 Mpa
	Dimensi	= 245 mm x 205 mm x 210 mm



Gambar 4. 13 Aerator

Jumlah aerator	=	Kebutuhan udara / kapasitas blower
	=	19,83 L/menit / 70 L/menit
	=	1 buah
Diffuser yang digunakan	=	Tube diffuser
	=	25 L/menit
	=	1 buah

Pada alternatif pertama, dengan susunan unit grease trap, tangki septik, biofilter aerobik, dan bak indikator. Dengan tidak adanya unit yang dapat mengatur jika terjadi fluktuasi limbah yang bisa menyebabkan terjadinya shock loading. Shock loading adalah kondisi di mana terjadinya peningkatan mendadak dalam aliran atau konsentrasi polutan yang masuk kedalam sistem pengolahan. Hal ini dapat mengakibatkan:

1. Masalah pada proses pengolahan
2. Kenaikan biaya operasional
3. Kualitas effluen menurun
4. Kerusakan peralatan

Pada alternatif pertama ini, dapat ditangani dengan melakukan pemantauan terhadap aeratornya. Dengan melakukan pemeliharaan rutin dan pengoperasionalan dengan mengatur penggunaan blower. Hal ini dilakukan agar kebutuhan oksigen terpenuhi meskipun jika terjadi peningkatan konsentrasi air limbah.

Dimensi Bak Aerob

Direncanakan

Q	=	30 m ³ /hari
HRT tiap bak	=	6 jam
Jumlah bak	=	1 bak
Interval pengurasan	=	2 tahun = 24 bulan
Lebar bak	=	2 m
Kedalaman air	=	2 m
Freeboard atas	=	0,3 m
Tebal plat penyangga	=	0,05 m
Jarak air diatas media	=	0,4 m
Freeboard bawah	=	0,5 m
Porositas media	=	98%
TSS _{in}	=	9,01 mg/L
BOD _{in}	=	34,45 mg/L
COD _{in}	=	78,37 mg/L
N _{in}	=	7,5 mg/L
P _{in}	=	2,4 mg/L

Perhitungan

Tinggi bak	=	H _{air} + fb
	=	2 m + 0,3 m
	=	2,3 m
Ketinggian media filter	=	H _{air} – jarak air diatas media – fb bawah – tebal plat
	=	2 m – 0,4 m – 0,5 m – 0,05 m
	=	1,1 m
Volume bak	=	Q x (HRT/24)
	=	30 m ³ /hari x (6 jam/ 24)
	=	7,5 m ³
Panjang komp	=	V _{bak} / jumlah bak / ((H _{air} x 0,25) + (L _{bak} x H _{air} – H _{filter} x (1- P _m))
	=	1,67 m
Panjang	=	1,7 dibulatkan
V _{up}	=	Q / (P komp x L bak x P _m)
	=	(1,25 m ³ /jam) / [1,7 m x 2 m x 0,98]
	=	0,36 m/jam
		(kecepatan ABF < 2 m/jam, mencukupi)
Cek OLR	=	(Massa COD _{in}) / (H _{filter} x P _{komp} x L _{bak} x n x 0,98)
	=	(2,35 kg/hari) / (1,1 m x 1,7 m x 2 m x 1 x 0,98)
	=	0,62 kg /m ³ .hari
		(Kriteria desain: 0,6 – 3,2 kg/m ³ .hari)

Kontrol F/M

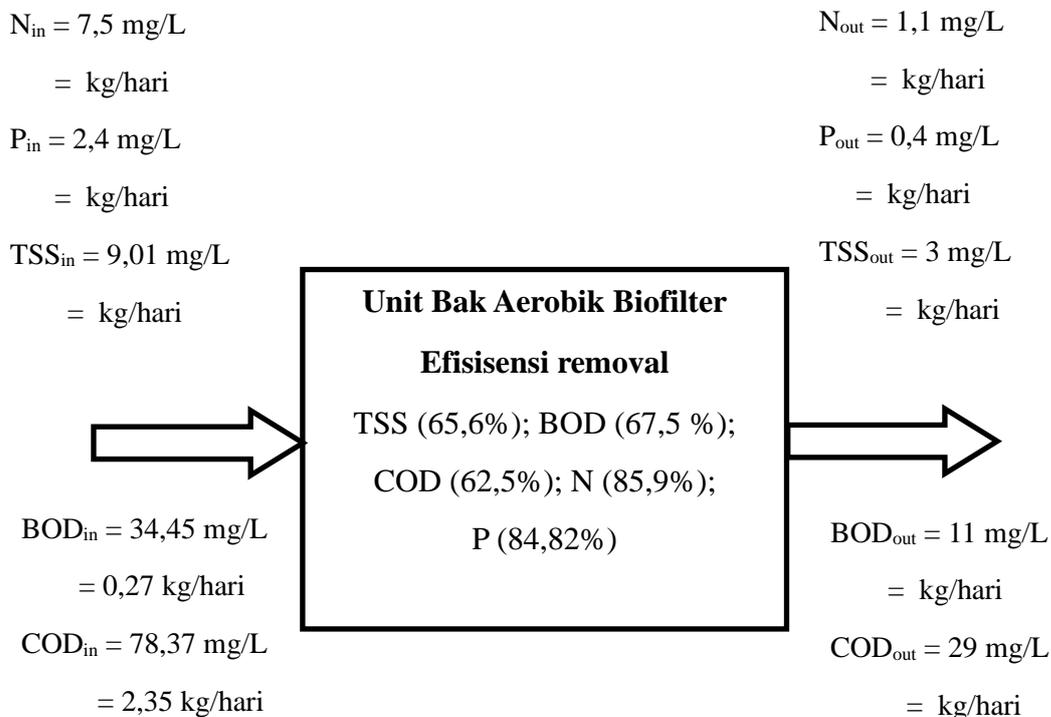
$$\begin{aligned} \text{MLVSS} &= \text{Rasio MLVSS/MLSS} \times \text{MLSS} \\ &= (0,8 \times 1000 \text{ mg/L}) / 1000 \\ &= 0,8 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Cek F/M} &= (Q \times S_o [\text{BOD}]) / (\text{V bangunan} \times \text{MLVSS}) \\ &= [30 \text{ m}^3/\text{hari} \times (34,45/1000) \text{ kg/m}^3] / (7,5 \text{ m}^3 \times 0,8 \text{ kg/m}^3) \\ &= 0,17 \text{ kg BOD/kg MLVSS.hari} \end{aligned}$$

Kebutuhan media sarang tawon untuk biofilter

Bak Aerobic

$$\begin{aligned} \text{Panjang bak} &= 1,7 \text{ m} \\ \text{Panjang ruang filter} &= 1 \text{ m} \\ &(\text{direncanakan}) \\ \text{Panjang ruang aerasi} &= 0,7 \text{ m} \\ \text{Luas permukaan filter} &= P \text{ filter} \times L \text{ bak} \\ &= 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \\ &= 1 \text{ m}^2 \\ \text{Volume media filter} &= \text{Luas permukaan} \times \text{tinggi} \\ &= 1 \text{ m}^2 \times 1,1 \text{ m} \\ &= 1,1 \text{ m}^3 \\ \text{Kebutuhan media untuk bak} &= 1,1 \text{ m}^3 \\ \text{aerobic} \end{aligned}$$

Kesetimbangan Massa Biofilter Aerob



4.4.4 Perencanaan Constructed Wetland

Dilakukan perencanaan untuk mengolah effluen dari tangki septik yaitu dengan menggunakan unit constructed wetland. Constructed wetland atau lahan basah buatan adalah sistem pengolahan terencana atau terkontrol yang didesain menggunakan proses alami. Proses ini melibatkan proses vegetasi, media dan mikroorganisme untuk pengolahan air limbah. Pada alternatif kedua dengan unit grease trap, tangki septik, constructed wetland dan unit penampung. Sama halnya dengan alternatif pertama, alternatif kedua tidak memiliki unit yang dapat berfungsi khusus untuk menangani fluktuasi air limbah dan polutan organik. Maka dari itu pada perencanaan CW sebagai pengolahan biologis pada alternatif II akan dibuat 2 bagian dengan 2 outlet. Bak akan berfungsi menyesuaikan dengan jumlah debit influen. Jika debit lebih sedikit dari debit yang direncanakan maka valve pipa inlet bak pertama akan dibuka sedangkan bak kedua akan ditutup. Sementara jika debit yang dikeluarkan pada influen lebih besar atau sama dengan debit perencanaan. Maka kedua valve inlet pipa akan dibuka semua. Pemberian gate valve tidak hanya mempermudah untuk melakukan perawatan dan pengoperasian dari wetland.

Sistem pengolahan yang direncanakan, seperti debit limbah, beban organik, kedalaman media, jenis tanaman lainnya, sehingga kualitas air limbah yang keluar yang diharapkan. Rentang tipikal yang disarankan untuk perencanaan unit sebagai berikut:

- a. Removal TSS = 60% - 75% (EPA,1999)
- b. Removal BOD oleh media = 75% - 98% (Vymazal, 2001)
- c. Removal BOD yang dibantu oleh tanaman = 4,4% (Diaz et al.,2014)
- d. HLR = 0,2 – 1 m³/m².hari
- e. L/W ratio = 4: 1 – 10:1 (Hlavinek et al., 2007)

Karakteristik media yang digunakan untuk SFS-wetland

Tabel 2. 8 Karakteristik Tipikal Media Untuk Sub-Surface Flow

Media Type	Max 10% grain size, mm	Porosity, α
Medium sand	1	0,42
Coarse sand	2	0,39
Gravelly sand	8	0,35
Fine gravel	16	0,38
Medium gravel	32	0,4
Coarse rock	128	0,45

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2003

Direncanakan:

Debit air limbah	= 30 m ³ /hari	= 1.25 m ³ /jam
TSS _{in}	= 9,01 mg/L	= 0,27 kg/hari
BOD _{in}	= 34,45 mg/L	= 1,03 kg/hari
COD _{in}	= 78,37 mg/L	= 2,35 kg/hari
N	= 7,5 mg/L	
P	= 2,4 mg/L	

- Jumlah wetland = 1
- Kedalaman media CW = 0,6 m = 1 m
Disesuaikan dengan akar dari tanaman yang digunakan ketika mencapai umur dewasa, tanaman kanna memiliki panjang akar kurang lebih 0,6 m
- Media yang digunakan = Medium gravel (kerikil medium)
- K_s = 5000 m³/m². hari (EPA, 1999)
 - α medium gravel = 0,4 (EPA, 1999)
 - K_{20} = 1,104 (EPA, 1999)
 - Slope = 0,01 (EPA, 1999)

Perhitungan Efisiensi removal

Tabel 4. 4 Efisiensi removal Constructed Wetland

Parameter	% removal	Sumber
TSS	50 – 80	Qasim, 1999
	60 – 75	EPA, 1999
COD	40 – 80	Qasim, 1999
BOD ₅	50 – 90	Qasim, 1999
	75 – 98	Vymazal, 2001
Total Phosporus (TP)	60 – 90	Qasim, 1999
Nitrogen (AN)	85 – 90	Qasim, 1999

Efisiensi removal fokus yang diturunkan

Parameter	Konsentrasi influen mg/L	% removal %	Konsentrasi effluen mg/L	Baku mutu
BOD	34,45	12,91	30	30
TSS	9,01	80	1,8	30
COD	78,37	80	15,7	100
N	7,5	85	1.2	10

Perhitungan Dimensi

Q per CW = Q / jumlah bak
= 30 m³/hari / 1 bak
= 30 m³/hari

Laju Konstan suhu (K_T) = 25°C
 K_T = $K_{20} (1,1)^{(T-20)}$, T dengan satuan °C
 K_{25} = 1,104 (1,1)⁽²⁵⁻²⁰⁾
 K_{25} = 1,91/hari

Waktu detensi pore-space (t')

$$T_d = -\ln \frac{(C_o \text{ BOD} / C_e \text{ BOD})}{K_T}$$

$$T_d = -\ln \frac{(34,45 \text{ mg/L} / 30 \text{ mg/L})}{1,91/\text{hari}}$$

$$T_d = 0,5 \text{ hari} \approx 1 \text{ hari}$$

$$\text{Volume} = Q \text{ inlet} \times t_d$$

$$= 30 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1 \text{ hari}$$

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

Cross Sectional area (Ac)

$$A_c = \frac{Q}{K_s \times S}$$

$$= \frac{30 \text{ m}^3/\text{hari}}{5000 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} \times 0,01}$$

$$= 0,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Lebar wetland} = 4 \text{ m (direncanakan)}$$

$$\text{Tinggi wetland} = 0,6 \text{ m} + 0,4 \text{ (fb)}$$

$$= 1 \text{ m}$$

$$\text{Panjang wetland} = t \times Q / \text{lebar} \times \text{tinggi} \times \alpha$$

$$= (1 \text{ hari} \times 30 \text{ m}^3/\text{hari}) / (4 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,4)$$

$$= 18,75 \text{ m}$$

$$\text{Luas permukaan (As)} = \text{Panjang} \times \text{Lebar}$$

$$= 18,75 \text{ m} \times 4 \text{ m}$$

$$= 75 \text{ m}^2$$

Bedasarkan perhitungan diatas

$$\text{Panjang} = 18,75 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 4 \text{ m}$$

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

$$\text{Cek HLR} = \text{Kriteria desain } 0,2 - 1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$= Q / A_s$$

$$= 30 \text{ m}^3/\text{hari} / 75 \text{ m}^2$$

$$= 0,4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$0,2 \leq 0,4 \leq 1$$

Sebelumnya sudah dijelaskan bahwa debit yang masuk kedalam unit CW akan berbeda dengan debit yang keluar. Hal ini dipengaruhi oleh adanya laju evapotranspirasi, presipitasi, dan infiltrasi

Digunakan

$$Q_{et} = 28,55 \text{ mm/hari (nilai evapotranspirasi dengan Kanna)}$$

$$= 28,55 \text{ mm/hari} \times (1 \text{ m} / 1000 \text{ mm}) \times 75 \text{ m}^2$$

$$= 2,14 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\begin{aligned}
Q_P &= 12 - 21 \text{ mm/bulan (BPS)} \\
&= 21 \text{ mm/bulan} \times (1 \text{ m} / 1000 \text{ mm}) \times 75 \text{ m}^2 \\
&= 1,6 \text{ m}^3/\text{bulan} \\
&= 0,05 \text{ m}^3/\text{hari} \\
\text{Debit Effluen (Qeff)} &= Q_{in} - Q_{ET} + Q_P + Q_I \\
&= 30 \text{ m}^3/\text{hari} - (2,14 \text{ m}^3/\text{hari} - 0,05 \text{ m}^3/\text{hari} - 0) \\
&= 27,9 \text{ m}^3/\text{hari}
\end{aligned}$$

Perhitungan dimensi pipa inlet dan effluen

$$\begin{aligned}
\text{Slope} &= 0,01 \text{ m} \\
\text{Panjang pipa} &= 1 \text{ m} \\
\text{Debit aliran yang keluar dari CW} &= 27,9 \text{ m}^3/\text{hari} \\
\text{Koef kekasaran pipa} &= 130 \\
\text{Hf pipa} &= \text{Slope} / \text{panjang pipa} \\
&= 0,01 \text{ m} / 1 \text{ m} \\
&= 0,01 \text{ m}
\end{aligned}$$

Dicari, D pipa

$$\begin{aligned}
\text{Luas penampangan basah (A)} &= Q/v \\
&= \frac{30 \text{ m}^3/\text{hari}}{1 \text{ m/s} \times \text{hari} / 86400 \text{ detik}} = 0,00034722 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

Diameter pipa (D)

$$\begin{aligned}
A &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times D \times D \\
0,00034722 \text{ m}^2 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \\
D &= 0,0210314 \text{ m} \\
&= 21,03 \text{ mm (inner diameter)}
\end{aligned}$$

(dipilih jenis pipa diameter 100 mm)

$$\begin{aligned}
Q &= v \times A \\
Q &= v \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
V &= (4 \times 30 \text{ m}^3/\text{hari}) / (3,14 \times 0,1^2) \\
&= 0,04 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Panjang pipa inlet dan outlet} &= \text{Lebar bak} \\
&= 4 \text{ m}
\end{aligned}$$

Unit kolam penampung air CW

$$\begin{aligned}
Q_{\text{effluen}} &= 27,9 \text{ m}^3/\text{hari} \\
\text{Volume bak} &= Q \times t_d \\
&= 27,9 \text{ m}^3/\text{hari} \times 2 \text{ jam} \\
&= 2,3 \text{ m}^3 \\
\text{H rencana} &= 1,5 \text{ m (direncanakan)} \\
\text{As} &= \text{Vol} / \text{H} \\
&= 2,3 \text{ m}^3 / 1,5 \text{ m} \\
&= 1,5 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

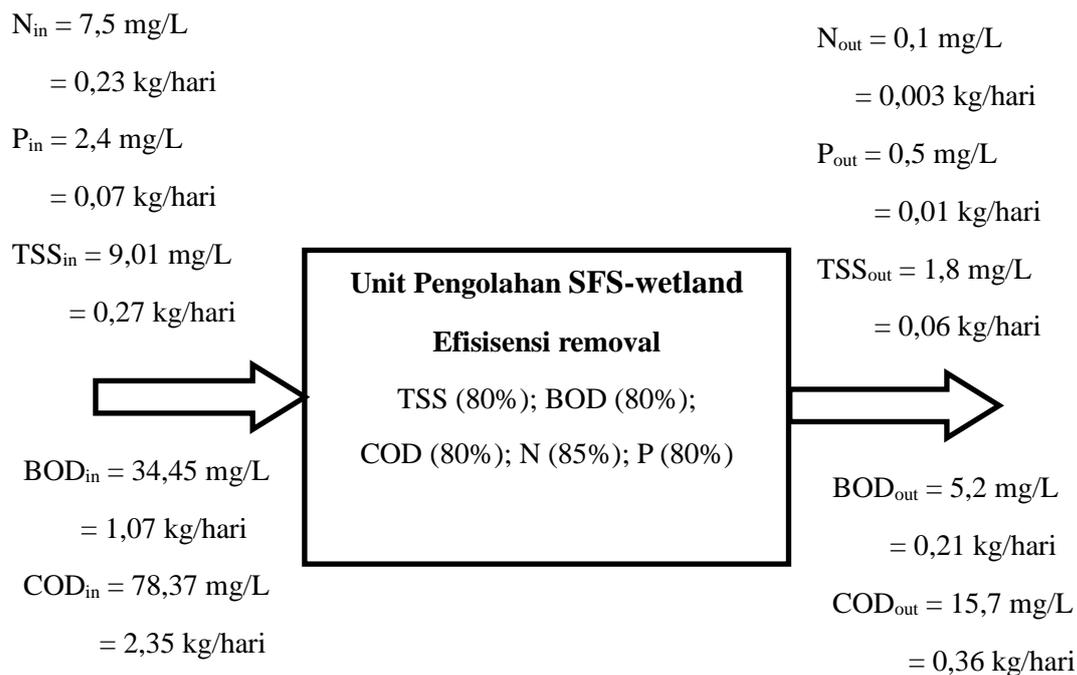
$$\begin{aligned}
 P &= \sqrt{\frac{As}{2}} \\
 &= \sqrt{\frac{1,5}{2}} \\
 &= 0,6 \text{ m} \approx 1 \text{ m} \\
 L (P: L = 1: 1) &= 1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan tanaman CW

Jenis perhitungan yang dilakukan adalah horizontal sub-surface wetland, kerapatan tanaman kanna adalah 2 tanaman per m². Sehingga kebutuhan tanaman pada unit wetland dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Luas permukaan} &= 75 \text{ m}^2 \\
 \text{Kebutuhan tanaman} &= \text{Luas permukaan} \times \text{kerapatan rencana tanaman} \\
 &= 75 \text{ m}^2 \times 2 \text{ tanaman/ m}^2 \\
 \text{Tanaman kanna yang} & \\
 \text{dibutuhkan} &= 150 \text{ tanaman}
 \end{aligned}$$

Kesetimbangan massa



4.4.5 Perencanaan Disinfektan

Disinfeksi menggunakan pada perencanaan ini akan menggunakan klor.

Direncanakan:

$$\begin{aligned}
 Q &= 30 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,347 \text{ L/detik}
 \end{aligned}$$

Disinfeksi akan dilakukan dengan cara memasukan bubuk klor ke dalam bak penampung atau indikator

Kalsium Hipoklorit = 70% klor aktif
densitas klor = 1,47 kg/L
= 1470 kg/m³

Sisa klor yang diharapkan = 0,2 mg/L
Dosis klor optimum (BPC) = 2,5 mg/L

Perhitungan:

Dosis klor yang dibutuhkan = Dosis klor optimum + sisa klor
= 2,5 mg/L + 0,2 mg/L
= 2,7 mg/L

Kebutuhan kaporit = Q x Dosis x 1/ 70%
= 2,7 mg/L x 0,347 L/detik x 1/70%
= 115,6 g/hari
= 0,12 kg/hari

Berat pasaran kaporit (kapsul) = 1 kg
= 1 kg / 0,12 kg/hari
= 8,3 hari (1 kapsul)

4.5 Efisiensi removal setiap Alternatif

Tabel 4. 5 Efisiensi Removal Alternatif I

Parameter	Satuan	Konsentrasi awal	Grease Trap		Tangki Septik		Biofilter Anaerob-Aerob		Konsentrasi Effluen	Baku Mutu	
			%R	Ce	%R	Ce	%R	Ce		Konsentrasi	Keterangan
TSS	mg/L	60,1	-	60,1	85%	9,02	88,1%	1	1	30	memenuhi
BOD5	mg/L	93,1	-	93,086	63%	34,44	87,9%	4	4	30	memenuhi
COD	mg/L	186,6	-	186,646	58%	78,39	84,0%	13	13	100	memenuhi
N	mg/L	7,5	-	7,486	-	7,49	85,9%	1,1	1,1	10,0	memenuhi
P	mg/L	2,4	-	2,38	-	2,38	85%	0,4	0,4	-	memenuhi

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4. 6 Efisiensi Removal Alternatif II

Parameter	Satuan	Konsentrasi awal	Grease Trap		Tangki Septik		SFS-wetland		Konsentrasi Effluen	Baku Mutu	
			%R	Ce	%R*	Ce	%R**	Ce		Konsentrasi	Keterangan
TSS	mg/L	60,1	-	60,1	85%	9,02	80%	1,8	2	30	memenuhi
BOD5	mg/L	93,1	-	93,086	63%	34,44	80%	5,2	7	30	memenuhi
COD	mg/L	186,6	-	186,646	58%	78,39132	85%	15,7	12	100	memenuhi
N	mg/L	7,5	-	7,486	-	7,486	80%	1,2	0,7	10	memenuhi
P	mg/L	2,4	-	2,38	-	2,38	80%	0,5	0,5	-	memenuhi

Sumber: *)Hasil perhitungan dan **) Qasim, 1999

4.6 Rekapitulasi Perhitungan Dimensi Masing-Masing Unit IPAL

Salah satu faktor terpenting dalam merencanakan IPAL adalah data kualitas dan kuantitas air limbah, salah satunya debit air timbulan air limbah. Setelah dilakukan perhitungan untuk dimensi beserta efisiensi setiap alternatif. Berikut adalah rekap hasil desain dari perhitungan setiap unit

Tabel 4. 7 Rekapitulasi Perhitungan Dimensi Masing-Masing Unit IPAL

Nama Unit	Jumlah Unit	Spesifikasi
Grease Trap	1	Panjang : 1 m
		Lebar : 0,5 m
		Tinggi : 1,3 m
		Luas lahan : 0,5 m ²
		Volume : 0,65 m ³
Tangki septik	1	Panjang : 3,25 m
		Lebar : 2 m
		Tinggi : 2,3 m
		Luas lahan : 6,5 m ²
		Volume : 12,96 m ³
Biofilter aerob (bak aerob) (Rectangular)	1	Panjang : 1,7 m
		Lebar : 2 m
		Tinggi : 2,3 m
		Luas lahan : 3,4 m ²
		Volume : 7,82 m ³
SFS-wetland (Rectangular)	1	Panjang : 18,75 m
		Lebar : 4 m
		Tinggi : 1 m
		Luas lahan : 75 m ²
		Volume : 75 m ³
Unit penampung kolam SFS-wetland (Rectangular)	1	Panjang : 1 m
		Lebar : 1 m
		Tinggi : 1,5 m
		Luas lahan : 1 m ²
		Volume : 1,5 m ³
TOTAL LUAS LAHAN ALTERNATIF I		10,4 m ²
TOTAL LUAS LAHAN ALTERNATIF II		83 m ²

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

Tahapan akhir dari perencanaan adalah perhitungan Bill of Quantity (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB). BOQ dan RAB merupakan rincian bahan, peralatan, dan tenaga kerja yang dibutuhkan dalam perencanaan. Pada perencanaan ini, perhitungan BOQ dan RAB meliputi BOQ dan RAB untuk IPAL serta BOQ dan RAB untuk SPAL. Perhitungan BOQ dan RAB didasarkan pada tahapan pekerjaan untuk pembangunan IPAL meliputi:

1. Penggalian tanah biasa untuk konstruksi
2. Pengangkutan tanah dari lubang galian yang dalamnya
3. Pengurugan pasir dipadatkan
4. Lantai kerja K-100
5. Pekerjaan dinding beton bertulang (150kg besi + bekisting), tebal selimut beton sesuai SNI 2847:2019 untuk bangunan IPAL 75 mm dan untuk manhole 30 mm.
6. Pemasangan pipa untu air limbah diameter 4-inch atau 100mm
7. Pemasangan tee 100 x100
8. Pengurugan tanah kembali untuk konstruksi
9. Pengangkutan tanah.

4.5.1 BOQ dan RAB Pembersihan Lahan

Perhitungan Bill of Quantity (BOQ) pada perencanaan ini meliputi penggalian tanah untuk konstruksi, pengurugan pasir dengan pemadatan. Terdapat pula pekerjaan beton K-225, pengurugan tanah kembali untuk konstruksi, pekerjaan pembesian dengan besi beton polos, pekerjaan bekisting lantai dan dinding. Pekerjaan lain adalah pemasangan pipa air kotor diameter x dan pekerjaan pompa, pipa dan aksesorisnya. Pada pekerjaan ini tanah dibersihkan sesuai dengan luas lahan. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara panjang total unit dikalikan dengan lebar unit total. Akan tetapi ditambahkan tebal beton, lebar galian dari unitt, dll.

Tabel 4. 8 Rencana Anggaran Biaya Pembersihan Lahan

No	Uraian pekerjaan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Total
1	Pembersihan lahan alternatif I	29,14	m ²	Rp 7.950,00	Rp 231.669,30
2	Pembersihan lahan alternatif II	120,40	m ²	Rp 7.950,00	Rp 957.150,19

4.5.2 BOQ dan RAB Unit Grease Trap Alternatif I dan II

Perhitungan BOQ dan RAB Grease Trap mengacu pada tahapan pekerjaan yang akan dilakukan. Berikut merupakan contoh perhitungan BOQ pada unit grease trap

Volume galian tanah

Panjang galian dasar	=	1,15 m
Lebar galian dasar	=	0,65 m
Panjang galian atas	=	2,15 m
Lebar galian atas	=	1,65 m
Kedalaman (H)	=	1,6 m
Volume galian tanah	=	1,73 m ³

Volume urugan pasir dipadatkan

Panjang Urugan pasir	=	1,15 m
Lebar urugan pasir	=	0,65 m
Ketebalan urugan pasir	=	0,1 m
Volume urugan pasir	=	0,07 m ³

Volume lantai kerja K-100

Panjang lantai kerja	=	1,15 m
Lebar lantai kerja	=	0,65 m
Ketebalan lantai kerja	=	0,05 m
Volume lantai kerja	=	0,037 m ³

Volume beton bertulang

Panjang beton	=	1,15 m
Lebar beton	=	0,65 m
Ketebalan beton	=	0,075 m
Volume beton	=	0,06 m ³
Panjang manhole	=	0,5 m
Lebar manhole	=	0,4 m
Ketebalan manhole	=	0,03 m
Jumlah manhole	=	1 buah
Volume total manhole	=	0,006 m ³
Volume beton aktual	=	0,05 m ³

Jumlah Pipa dan aksesoris Unit Grease Trap

Tabel 4. 9 Jumlah pipa dan aksesoris pipa unit Grease Trap Alternatif I dan II

Bagian	Panjang pipa	Jumlah Tee
	(m)	(buah)
Inlet	0,5	1
Outlet	0,5	1
Total	1	2

Volume tanah urug kembali	=	1,73 m ³
Panjang total Grease Trap	=	1,15 m
Lebar total Grease Trap	=	0,65 m
H total Grease Trap	=	1,6 m
Volume total Grease Trap	=	1,6 m ³
Volume tanah urug	=	1,196 m ³

Tabel 4. 10 Rencana Anggaran Biaya Grease Trap

No	Uraian pekerjaan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Total
1	Penggalian tanah biasa	1,73	m ³	Rp 77.250,00	Rp 133.378,02
2	Pengangkutan tanah dari lubang galian	1,73	m ³	Rp 15.750,00	Rp 27.193,58
3	Pengurugan pasir dipadatkan	0,07475	m ³	Rp 203.100,00	Rp 15.181,73
4	Lantai kerja beton K-100	0,037375	m ³	Rp 898.681,00	Rp 33.588,20
5	Pekerjaan Dinding beton bertulang	0,48	m ³	Rp 6.004.449,00	Rp 2.878.382,74
6	Pemasangan pipa air limbah (D = 100 mm/4")	1	m	Rp 60.216,00	Rp 60.216,00
7	Pemasangan tee 100 x 100	2	Buah	Rp 550.465,00	Rp 1.100.930,00
8	Pengurugan tanah kembali	0,53	m ³	Rp 12.378,00	Rp 6.567,47
TOTAL					Rp 4.255.437,74

Unit Grease trap ini memiliki perhitungan yang sama untuk kedua alternatif, sehingga jumlah BOQ dan RAB yang dibutuhkan sama.

4.5.3 BOQ dan RAB Unit Tangki Septik untuk Alternatif I dan II

Perhitungan BOQ dan RAB Bak pengendap mengacu pada tahapan pekerjaan yang akan dilakukan. Berikut merupakan contoh perhitungan BOQ pada unit tangki septik untuk Constructed wetland

Volume galian tanah

Panjang galian dasar	=	3,53 m
Lebar galian dasar	=	2,2 m
Panjang galian atas	=	4,524 m
Lebar galian atas	=	3,15 m
Kedalaman (H)	=	2,6 m
Volume galian tanah	=	16,46 m ³

Volume urugan pasir dipadatkan

Panjang Urugan pasir	=	3,53 m
----------------------	---	--------

Lebar urugan pasir	=	2,15 m
Ketebalan urugan pasir	=	0,1 m
Volume urugan pasir	=	0,75 m ³

Volume lantai kerja K-100

Panjang lantai kerja	=	3,53 m
Lebar lantai kerja	=	2,15 m
Ketebalan lantai kerja	=	0,1 m
Volume lantai kerja	=	0,76 m ³

Volume beton bertulang

Panjang beton	=	3,53 m
Lebar beton	=	2,15 m
Ketebalan beton	=	0,075 m
Volume beton	=	0,57 m ³
Panjang manhole	=	1 m
Lebar manhole	=	1 m
Ketebalan manhole	=	0,03 m
Jumlah manhole	=	2 buah
Volume total manhole	=	0,06 m ³
Volume beton aktual	=	0,51 m ³

Jumlah Pipa dan aksesoris Unit Bak pengendap

Tabel 4. 11 Jumlah pipa dan aksesoris pipa unit Tangki Septik Alternatif I dan II

Bagian	Panjang pipa	Jumlah Tee
	(m)	(buah)
Inlet	1	1
Outlet	1	1
Total	2	2

Volume tanah urug kembali	=	16,46 m ³
Panjang total TS awal	=	3,53 m
Lebar total TS awal	=	2,15 m
H total TS awal	=	2,65 m
Volume total TS awal	=	20,08 m ³
Volume tanah urug	=	3,62 m ³

Tabel 4. 12 Rencana Anggaran Biaya Tangki Septik Alternatif I dan II

No	Uraian pekerjaan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Total
1	Penggalian tanah biasa	16,46	m ³	Rp 77.250,00	Rp 1.271.725,21
2	Pengangkutan tanah dari lubang galian	16,46	m ³	Rp 15.750,00	Rp 259.283,78
3	Pengurugan pasir dipadatkan	0,757875	m ³	Rp 203.100,00	Rp 153.924,41
4	Lantai kerja beton K-100	0,757875	m ³	Rp 898.681,00	Rp 681.087,86
5	Pekerjaan Dinding beton bertulang	3,29	m ³	Rp 6.004.449,00	Rp 19.774.151,67
6	Pemasangan pipa air limbah (D = 100 mm/4")	2	m	Rp 60.216,00	Rp 120.432,00
7	Pemasangan tee 100 x 100	2	Buah	Rp 550.465,00	Rp 1.100.930,00
8	Pengurugan tanah kembali	3,62	m ³	Rp 12.378,00	Rp 44.823,53
TOTAL					Rp 23.406.358,46

4.5.4 BOQ dan RAB Unit Biofilter Aerobik untuk Alternatif I

Perhitungan BOQ dan RAB Unit Aerobic Biofilter mengacu pada tahapan pekerjaan yang akan dilakukan. Berikut merupakan contoh perhitungan BOQ pada unit ABF

Volume galian tanah

Panjang galian dasar	=	2,2 m
Lebar galian dasar	=	2,2 m
Panjang galian atas	=	3,2 m
Lebar galian atas	=	3,2 m
Kedalaman (H)	=	2,6 m
Volume galian tanah	=	10,8 m ³

Volume urugan pasir dipadatkan

Panjang Urugan pasir	=	2,2 m
----------------------	---	-------

Lebar urugan pasir	=	2,2 m
Ketebalan urugan pasir	=	0,1 m
Volume urugan pasir	=	0,5 m ³

Volume lantai kerja K-100

Panjang lantai kerja	=	2,2 m
Lebar lantai kerja	=	2,2 m
Ketebalan lantai kerja	=	0,1 m
Volume lantai kerja	=	0,5 m ³

Volume beton bertulang

Panjang beton	=	2,2 m
Lebar beton	=	2,2 m
Ketebalan beton	=	0,075 m
Volume beton	=	0,03 m ³
Panjang manhole	=	1 m
Lebar manhole	=	1 m
Ketebalan manhole	=	0,03 m
Jumlah manhole	=	1 buah
Volume total manhole	=	0,03 m ³
Volume beton aktual	=	0,33 m ³

Jumlah pipa dan aksesoris Anaerobic Biofilter

Tabel 4. 13 Jumlah Pipa dan Aksesoris Unit Biofilter

Bagian	Panjang pipa	Jumlah Tee	Pipa Elbow
	(m)	(buah)	(buah)
Inlet	1,5	1	-
Outlet	-	-	1
Total	1,5	1	1

Jumlah media PVC Sarang Tawon untuk unit Anaerobic Biofilter

Tabel 4. 14 Jumlah Media PVC Sarang Tawon Unit Aerobic Biofilter

Bagian	Dimensi IPAL	Dimensi per Media Aerob	Volume media yang dibutuhkan
	(m)	(m)	(m ³)
Panjang	1,7	1	1,1
Lebar	2	0,7	
Kedalaman	2	1,1	

Volume tanah urug kembali	=	10,8 m ³
Panjang total ABF	=	2,2 m
Lebar total ABF	=	2,2 m
H total ABF	=	2,6 m
Volume total ABF	=	12,5 m ³
Volume tanah urug	=	1,6 m ³

Tabel 4. 15 Rencana Anggaran Biaya Biofilter

No	Uraian pekerjaan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan		Total
1	Penggalian tanah biasa	10,79	m ³	Rp	77.250,00	Rp 833.458,86
2	Pengangkutan tanah dari lubang galian	10,79	m ³	Rp	15.750,00	Rp 169.928,51
3	Pengurugan pasir dipadatkan	0,478375	m ³	Rp	203.100,00	Rp 97.157,96
4	Lantai kerja beton K-100	0,478375	m ³	Rp	898.681,00	Rp 429.906,52
5	Pekerjaan Dinding beton bertulang	2,30	m ³	Rp	6.004.449,00	Rp 13.821.753,74
6	Pemasangan pipa air limbah (D = 100 mm/4")	1,5	m	Rp	60.216,00	Rp 90.324,00
7	Pemasangan tee 100 x 100	1	Buah	Rp	550.465,00	Rp 550.465,00
8	Socket pipa 4"	1	Buah	Rp	23.000,00	Rp 23.000,00
9	Media Sarang tawon	1,1	m ³	Rp	1.400.000,00	Rp 1.540.000,00
10	Pengurugan tanah kembali	1,65	m ³	Rp	179.448,00	Rp 295.844,89

No	Uraian pekerjaan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Total
11	Pompa Aerator dan tube diffuser	1	Set	Rp 1.635.000,00	Rp 1.635.000,00
TOTAL					Rp 19.486.839,48

4.5.5 BOQ dan RAB Unit Constructed Wetland untuk Alternatif II

Perhitungan BOQ dan RAB Unit CW dan bak penampung mengacu pada tahapan pekerjaan yang akan dilakukan. Berikut merupakan contoh perhitungan BOQ pada unit CW dan bak penampung

Volume galian tanah

Panjang galian dasar	=	20,05 m
Lebar galian dasar	=	4,15 m
Panjang galian atas	=	20,9 m
Lebar galian atas	=	5,15 m
Kedalaman (H)	=	1,8 m
Volume galian tanah	=	107,05 m ³

Volume urugan pasir dipadatkan

Panjang Urugan pasir	=	20,05 m
Lebar urugan pasir	=	4,15 m
Ketebalan urugan pasir	=	0,1 m
Volume urugan pasir	=	8,32 m

Volume lantai kerja K-100

Panjang lantai kerja	=	20,05 m
Lebar lantai kerja	=	4,15 m
Ketebalan lantai kerja	=	0,1 m
Volume lantai kerja	=	8,32 m ³

Volume beton bertulang

Panjang beton	=	20,05 m
Lebar beton	=	1,15 m
Ketebalan beton	=	0,075 m
Volume beton	=	6,24 m ³

Jumlah Pipa dan aksesoris Unit CW

Tabel 4. 16 Jumlah pipa dan aksesoris pipa unit CW

Bagian	Panjang pipa
	(m)
Inlet	5

Outlet	5
Total	10

Volume tanah urug kembali	=	107,05 m ³
Panjang total CW+penampung	=	20,05 m
Lebar total CW+penampung	=	4,15 m
H total CW+penampung	=	1,8 m
Volume total CW+penampung	=	149,8 m ³
Volume tanah urug	=	42,73 m ³

BOQ kerikil dan tanaman kanna

Volume kerikil yang dibutuhkan untuk CW adalah :

Volume kerikil	=	Panjang x lebar x tinggi x CW
	=	18,75 m x 4 m x 1 m x 1
	=	75 m ³
Kebutuhan tanaman kanna	=	150 tanaman

Tabel 4. 17 Rencana Anggaran Biaya Unit CW

No	Uraian pekerjaan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Total
1	Penggalian tanah biasa	107,05	m ³	Rp 77.250,00	Rp 8.269.342,02
2	Pengangkutan tanah dari lubang galian	107,05	m ³	Rp 15.750,00	Rp 1.685.982,35
3	Pengurangan pasir dipadatkan	8,32075	m ³	Rp 203.100,00	Rp 1.689.944,33
4	Lantai kerja beton K-100	8,32075	m ³	Rp 898.681,00	Rp 7.477.699,93
5	Pekerjaan Dinding beton bertulang	11,96	m ³	Rp 6.004.449,00	Rp 71.812.084,21
6	Pemasangan pipa air limbah (D = 100 mm/4")	2	m	Rp 60.216,00	Rp 120.432,00

No	Uraian pekerjaan	Kuantitas	Satuan	Harga Satuan	Total
7	Kerikil	75	m ³	Rp 24.000,00	Rp 1.800.000,00
8	Tanaman Kanna	150,0	Batang	Rp 12.500,00	Rp 1.875.000,00
9	Pemasangan Geomembran	75	m ³	Rp 300.000,00	Rp 22.500.000,00
10	Geomembran 150 gr	75	m ³	Rp 13.529,00	Rp 1.014.675,00
11	Pengurugan tanah kembali	42,73	m ³	Rp 179.448,00	Rp 7.667.274,93
TOTAL					Rp 125.912.434,77

4.5.6 Rekapitulasi RAB

Setelah dilakukan perhitungan untuk keperluan konstruksi dilakukan rekapitulasi untuk pembandingan antara alternatif I dan II. Berikut rekapitulasi RAB

Tabel 4. 18 Rekapitulasi RAB Alternatif I dan II

No	Alternatif ke	rincian unit	RAB unit	RAB total
1	Alternatif 1	Pembersihan lahan	Rp 222.282,00	Rp 47.404.505,88
		Grease trap	Rp 4.289.025,94	
		Tangki Septik	Rp 23.406.358,46	
		Biofilter	Rp 19.486.839,48	
		PPN(11%)		Rp 5.214.495,65
				Rp 52.619.001,52
		Indeks (0,9)		Rp 47.357.101,37
		Total (DIBULATKAN)		Rp 47.358.000,00
<i>Empat puluh tujuh juta tiga ratus lima puluh delapan ribu rupiah</i>				
2	Alternatif II	Pembersihan Lahan	Rp 997.218,19	Rp 154.605.037,36
		Grease Trap	Rp 4.289.025,94	
		Tangki Septik	Rp 23.406.358,46	
		CW	Rp 125.912.434,77	
		PPN(11%)		Rp 17.006.554,11
				Rp 171.611.591,47
		Indeks (0,9)		Rp 154.450.432,32
		Total (DIBULATKAN)		Rp 154.451.000,00
<i>Seratus lima puluh empat juta empat ratus lima puluh ribu rupiah</i>				

4.8 Rekapitulasi Alternatif Bangunan IPAL

Setelah dilakukan perhitungan dan analisis, selanjutnya adalah dilakukan pemilihan alternatif berdasarkan faktor utama yang sudah dipertimbangkan.

Rekap	Alternatif I			Alternatif II		
	Anaerobic-Aerobic Biofilter			Constructed Wetland SFS-wetland		
Luas lahan yang dibutuhkan	27,96 m ²			125,44 m ²		
Efisiensi removal	Parameter	Influen	Effluen	Parameter	Influen	Effluent
	TSS	60,1 mg/L	3 mg/L	TSS	60,1 mg/L	2 mg/L
	BOD	93,1 mg/L	11 mg/L	BOD	93,1 mg/L	7 mg/L
	COD	186,6 mg/L	29 mg/L	COD	186,6 mg/L	12 mg/L
	N	7,5 mg/L	1,1 mg/L	N	7,5 mg/L	0,7 mg/L
Biaya Investasi	Rp	47.358.000,00		Rp	154.451.000,00	
Total Scoring (Tabel 4.3)	47			48		

BAB V KESIMPULAN

Kesimpulan dari perhitungan dan perencanaan untuk mengkaji bangunan IPAL yang tepat untuk rumah sakit kelas C, telah didapatkan bahwa. Teknologi pengolahan yang direncanakan, dengan menggunakan alternatif yang disarankan yaitu Biofilter Aerob dan Constructed Wetland dapat mencukupi baku mutu dari Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016. Hal ini dapat dilihat dari, hasil effluen masing-masing alternatif. Alternatif pertama dengan unit sebagai berikut Grease trap, tangki septik, biofilter aerob dan disinfeksi. Konsentrasi effluen yang didapatkan adalah TSS 3 mg/L; BOD 11 mg/L; COD 29 mg/L; N 1,1 mg/L dan alternatif II dengan hasil effluen TSS 2 mg/L; BOD 7 mg/L; COD 12 mg/L dan N 1,5 mg/L. Dan semua alternatif, memenuhi baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016. Variasi alternatif untuk rumah sakit kelas C, tidak bergantung pada kedua alternatif tersebut. Masing-masing teknologi memiliki kekurangan dan kelebihan yang dapat menjadi pilihan untuk alternatif rumah sakit kelas C yang dimana diwajibkan memiliki IPAL oleh Peraturan Menteri Kesehatan No. 40 Tahun 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, M, Gafur, A, Ikhtiar, M, Baharuddin, A, & ... (2024). Efisiensi Instalasi Pengolahan Air Limbah Dalam Menurunkan Parameter Kimia Di RSUD Lagaligo Kecamatan Wotu. ... Public Health Journal, 103.133.36.91, <http://103.133.36.91/index.php/woph/article/view/475>
- Adiana, R., Hidayat, R., Yusuf, I. A., Misbahudin, & Taufiq, A. (2018). UPAYA OPTIMASI KINERJA MELALUI BASIC DESIGN REVITALISASI PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) CISIRUNG, BANDUNG SELATAN. Jurnal Sumber Daya Air Vol.14 No. 1, 47-60.
- Al-Layla, M., Ahmad, S., & Middlebrooks, J. (1978). Water Supply Engineering Design. Michigan: Ann Arbor Science Publisher Inc. .
- Anandita, S. (2019). PERENCANAAN INSTLASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) PADA RUMAH PEMOTONGAN AYAM (RPA) Y DI WILAYAH SLEMAN, YOGYAKARTA. YOGYAKARTA: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/16333>.
- Antoni Zulius. (2017). rancang bangun monitoring pH air menggunakan soil moisture sensor di SMK N 1 tebing tinggi Kabupaten Empag Lawang. Jusikom, vol 2, no. 1
- Aristiana, T dan Purnomo Y. S (2020). Penurunan kadar COD, TSS, Dan Ammonia total (NH₃-N) pada air limbah pemotongan puyuh dengan menggunakan biofilter anaerob-aerob., repository.upnjatim.ac.id, <http://repository.upnjatim.ac.id/1795/>
- ATMADJA, A. R. (2017). PERENCANAAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH NON MEDIS RUMAH SAKIT KELAS B DENGAN ALTERNATIF ANAEROBIC BAFFLE REACTOR DAN ANAEROBIC BIOFILTER. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Batubara, G. O. (2017). PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH MEDIS DAN DAUR ULANG EFFLUEN IPAL DI RUMAH SAKIT KELAS C . Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember .
- Br Tarigan, R. U. (2019). KEMAMPUAN ACINETOBACTER BAUMANNII DAN NITROBACTER WINOGRADSKYI DALAM MENURUNKAN KANDUNGAN FOSFAT DAN AMONIA LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT. Yogyakarta: UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA.
- Deni Rusmaya, S. M., & Astri W Hasbiah, S. M. (2021). Analisa Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik di . Cimahi: UNIVERSITAS PASUNDAN.
- Dinda Rita K. Hartaja, S. (2017). DESAIN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH RUMAH . JRL. Vol. 10 No. 2, 99-113.
- Direktorat Pengembangan Penyehatan Lingkungan Permukiman,"Panduan Perencanaan Teknik Terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Buku A: Panduan Perhitungan Bangunanpengolahan Lumpur Tinja", Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, Jakarta, 2017

- Gutterer B., Sasse L., Panzerbieter T. dan Reckerzugel, 2009. Decentralised Wastewater Treatment System (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA), Germany
- Herlambang, Arie. "Proses Denitrifikasi Dengan Sistem Biofilter Untuk Pengolahan Air Limbah Yang Mengandung Nitrat." *Jurnal Teknologi Lingkungan BPPT*, vol. 4, no. 1, 2003, doi:10.29122/jtl.v4i1.272.
- Kaawoan, S. P., Mangangka, I. R., & Legrans, R. R. (2022). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pasar Tradisional Langowan Di Kecamatan Langowan Timur Kabupaten Minahasa. Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- Kawan, J. A., Hasan, H. A., Suja, F., JAAFAR, O. B., & AbdRahman, R. (2016). A Review on Sewage Treatment and Polishing Using Moving Bed Bioreactor (MBBR). *Journal of Engineering Science and Technology*. Dalam J. A. Kawan, A Review on Sewage Treatment and Polishing Using Moving Bed Bioreactor (MBBR). *Journal of Engineering Science and Technology*, hal 1098-1120.
- Kermani, M., Bina, B., Movahedian, H., Amin, M., & Nikaen, M. (2008). Application of Moving Bed Biofilm Process for Biological Organics and Nutrients Removal from Municipal Wastewater. Dalam M. B. Kermani, Application of Moving Bed Biofilm Process for Biological Organics and Nutrients Removal from Municipal Wastewater, 682-689.
- Lampiran XLIV Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah
- Makaraung, TE, Mangangka, IR, & Legrans, RRI (2022). Analisa Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit Umum Daerah Noongan. *TEKNO*, ejournal.unsrat.ac.id, <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/tekno/article/view/44187>
- Marsidi, Ruliasih. "Proses Nitrifikasi Dengan Sistem Biofilter Untuk Pengolahan Air Limbah Yang Mengandung Amoniak Konsentrasi Tinggi." *Jurnal Teknologi Lingkungan BPPT*, vol. 3, no. 3, 2002, doi:10.29122/jtl.v3i3.255.
- Metcalf, & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th Edition. McGraw-Hill Co. Inc. <https://doi.org/10.1093/nq/179.18.317-a>
- Metcalf, & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*, 5th Edition. McGraw-Hill Education.
- Mirandri S. D dan Purnomo Y. S (2021). PENURUNAN KADAR DETERGEN (LAS) DAN FOSFAT DENGAN METODE BIOFILTER AEROB-ANAEROB DAN ANAEROB-AEROB. *JURNAL ENVIROUS VOL 1 NO 2*
- Morel, A., & Diener, S. (2006). *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries*.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2020 tentang Klasifikasi dan Perizinan Rumah Sakit.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2019 tentang kesehatan lingkungan rumah sakit

- Peraturan Menteri Kesehatan No. 24 Tahun 2016 tentang Persyaratan Teknis Bangunan dan Prasarana Rumah Sakit
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 340/Menkes/PER/III/2010
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2022 tentang Persyaratan Teknis Bangunan, Prasarana, dan Peralatan Kesehatan Rumah Sakit
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik
- Purwaningrum, SI, & Syarifuddin, H (2023). Analisis Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) RSUD H. Abdurrahman Sayoeti Kota Jambi. *Jurnal Pembangunan ...*, online-journal.unja.ac.id, <https://online-journal.unja.ac.id/JPB/article/view/29270>
- Kemendes, RI (2011). *Seri Sanitasi Lingkungan: Pedoman Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah Dengan Sistem Biofilter Anaerob Aerob Pada Fasilitas Pelayanan ...* Kementrian Kesehatan RI, Direktorat Jenderal Bina ...
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 04/MRT/M/2017 Tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya.
- Phonna, F. P., Nizarli, & Putra, R. A. (2023). Penerapan Tema Healing Environment pada Perancangan Rumah Sakit Mata di Banda Aceh . *JURNAL ILMIAH MAHASISWA ARSITEKTUR DAN PERENCANAAN VOLUME 7*, 38-44.
- RafsanJani, L. (2022). *PERANCANGAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR BUANGAN DOMESTIK KOMUNAL*. repository.upnjatim.ac.id, <http://repository.upnjatim.ac.id/4272/9/8.PDF>.
- Reynolds, D, T., & Richards, P. A. (“Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, 2nd edition”). 1996. Boston: PWS Publishing Company.
- Rosalina Eka Praptiwi. (2017). *Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah dan Sistem Daur Ulang Air Hotel Budget Di Kota Surabaya*.
- Said, N., & Hartaja, D. (2015). Pengolahan Air Lindi dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob dan Denitrifikasi. *Jurnal Air Indonesia*, ejurnal.bppt.go.id, <https://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JAI/article/view/2380>.
- Sasse, L.; BORDA (Editor) (1998): *DEWATS. Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries*. Bremen: Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA).
- SNI 6774-2008 Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air
- SNI 2398:2017 Tata cara perencanaan tangki septik dengan pengolahan lanjutan (sumur resapan, bidang resapan, up flow filter, kolam sanita)
- Supriyanto, G, & Issa, TR (2017). *INOVASI DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MOVING BED BIOREACTOR (MBBR) UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DOMESTIK, RUMAH SAKIT DAN* Simposium II UNIID 2017, conference.unsri.ac.id, <https://conference.unsri.ac.id/index.php/uniid/article/view/647>

- Suwondo, Wan Syafi'i, Rama Febriza Amethys, 2016, ANALISIS PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM BIOFILTER ANAEROB-AEROB SEBAGAI POTENSI RANCANGAN LEMBAR KERJA SISWA BIOLOGI SMK. Jurnal Biogenesis Vol. 13 (1): 123 – 130, ISSN : 1829-5460
- Tchobanoglous. (1991). Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse. McGraw-Hill Companies.
- Tchobanoglous, G., Burton, F., & Stensel, H. (2002). Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th Edition. Singapore: McGraw-Hill Higher Education.
- Tchobanoglous, G dan Shroeder E. D. 2003. Water Quality: Characteristics, Modeling, Modification. Addison-Wesley Publishing Company, United States of America
- Wijaya. (2005). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Rumah Sakit Umum Anwar Medika, Sidoarjo. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

BIOGRAFI PENULIS



Ravelita Vivi Angelia merupakan nama lengkap dari penulis. Penulis lahir pada tanggal 28 Mei 2002 di Surabaya. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang dilahirkan dari pasangan Ibu Dewi Sari Indriati dan Bapak Heri Purwanto. Penulis bertempat tinggal di Jalan Kebonsari Tengah Gang Buntu No.14. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari Paud Darul Ilmi pada tahun 2005 – 2006, dilanjutkan dengan TK Al-Hidayah pada tahun ajaran 2006 – 2008, dilanjut dengan Pendidikan di SD Negeri Kebonsari III Surabaya pada tahun ajaran 2008 – 2014, kemudian dilanjutkan di SMP Negeri 36 Surabaya pada tahun ajaran 2014 – 2017, dan SMA Negeri 21 Surabaya pada tahun ajaran 2017 – 2020. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan sarjana di departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya pada tahun 2020 yang terdaftar dengan nomor NRP 5014201088. Selama masa perkuliahan, penulis turut serta dalam organisasi mahasiswa. Penulis tercatat sebagai anggota HMTL ITS. Penulis juga mendapatkan berbagai pengalaman dengan mengikuti kegiatan KKN DESA EMAS di Mojokerto. Penulis pernah mengikuti kerja praktik di PLN UP3 Malang. Informasi lebih lanjut tentang penulis dapat dihubungi melalui e-mail ravelita.vivi@gmail.com.

LAMPIRAN



TUGAS AKHIR

Kajian Bangunan Pengolahan Air Limbah
Rumah Sakit Kelas C
(Studi Kasus Kota Surabaya)

DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

LEGENDA

-  Muka Tanah
-  Beton
-  Muka Air

MAHASISWA

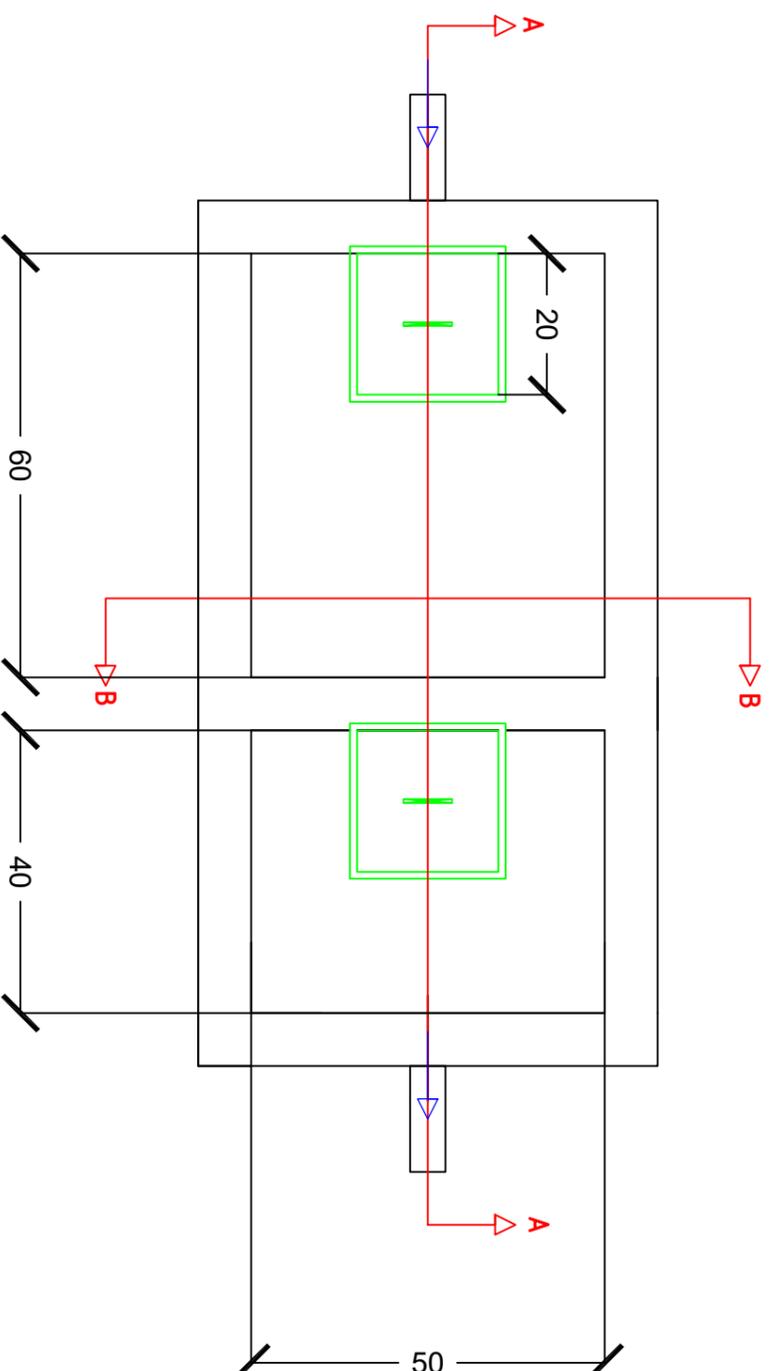
Ravelita Vivi Angelia
NRP. 5014201088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE,
M.Sc., Ph.D.

JUDUL GAMBAR

DENAH GREASE TRAP



SCALE

1:10

PAGE

1

HALAMAN



TUGAS AKHIR

Kajian Bangunan Pengolahan Air Limbah
Rumah Sakit Kelas C
(Studi Kasus Kota Surabaya)

DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

LEGENDA

- Muka Tanah
- Lantai Kerja
- Beton
- Pasir Urug
- Muka Air

MAHASISWA

Ravelita Vivi Angella
NRP. 5014201088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE,
M.Sc., Ph.D.

JUDUL GAMBAR

POTONGAN A-A dan
POTONGAN B-B
GREASE TRAP

SCALE

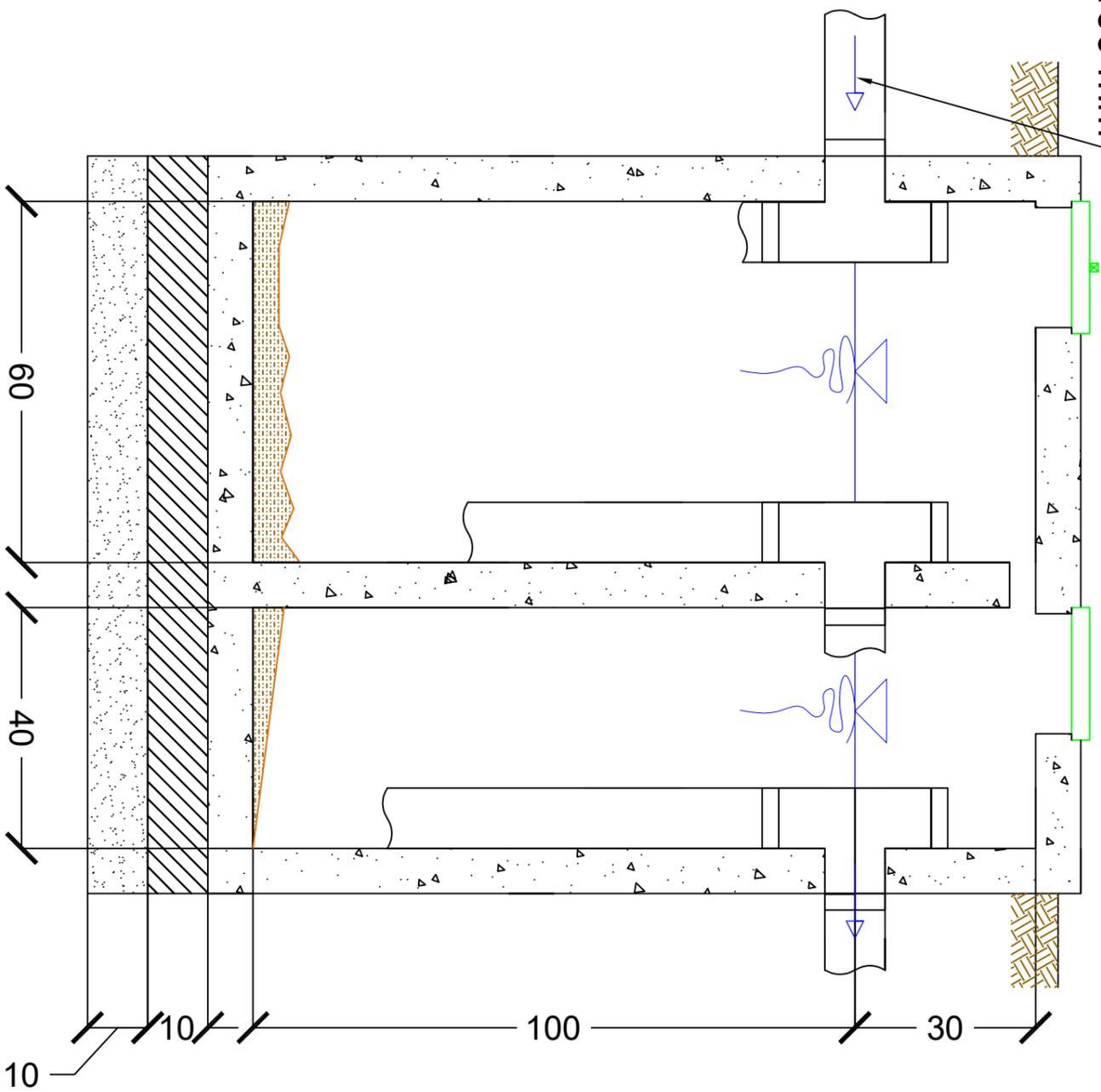
1:10

PAGE

2

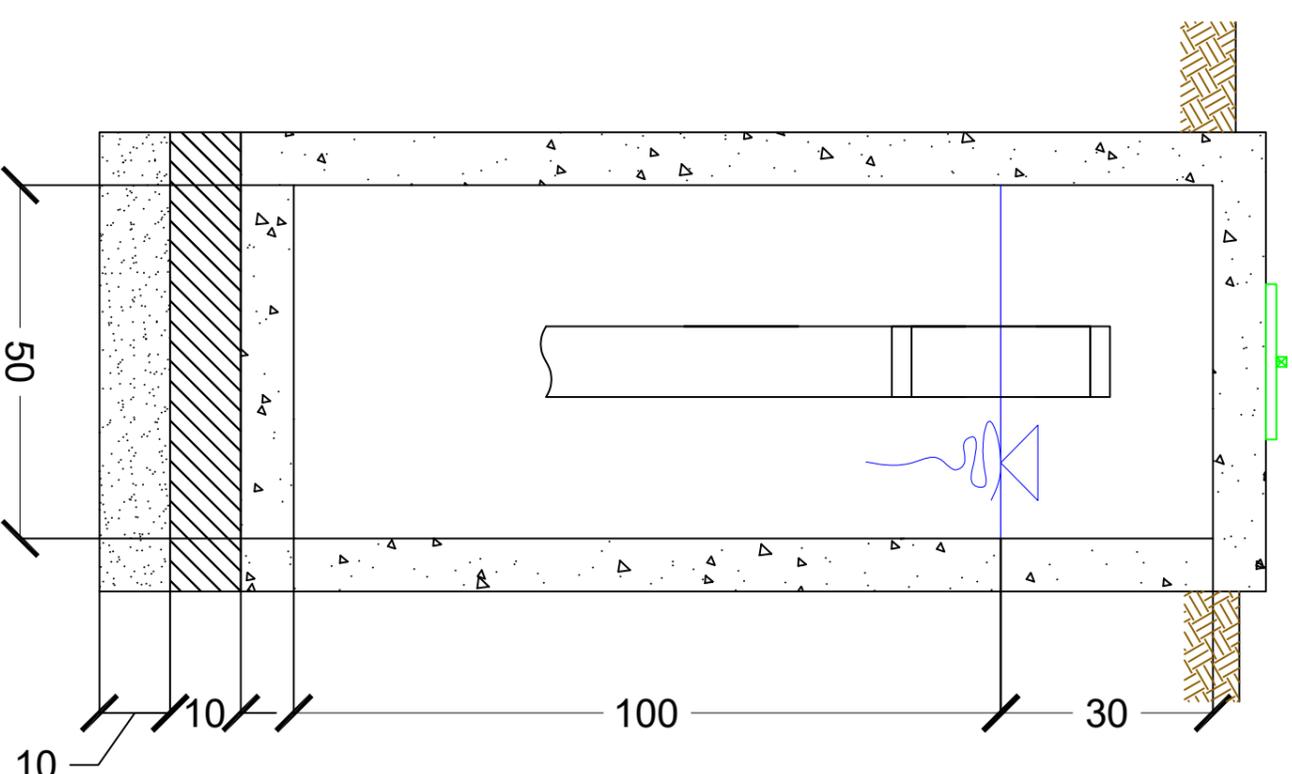
HALAMAN

Pipa Inlet
Ø100 mm



POTONGAN A-A GREASE TRAP

SKALA : 1 : 10



POTONGAN B-B GREASE TRAP

SKALA : 1 : 10



TUGAS AKHIR

Kajian Bangunan Pengolahan Air Limbah
Rumah Sakit Kelas C
(Studi Kasus Kota Surabaya)

DEPARTEMEN

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

LEGENDA

-  Muka Tanah
-  Beton
-  Muka Air

MAHASISWA

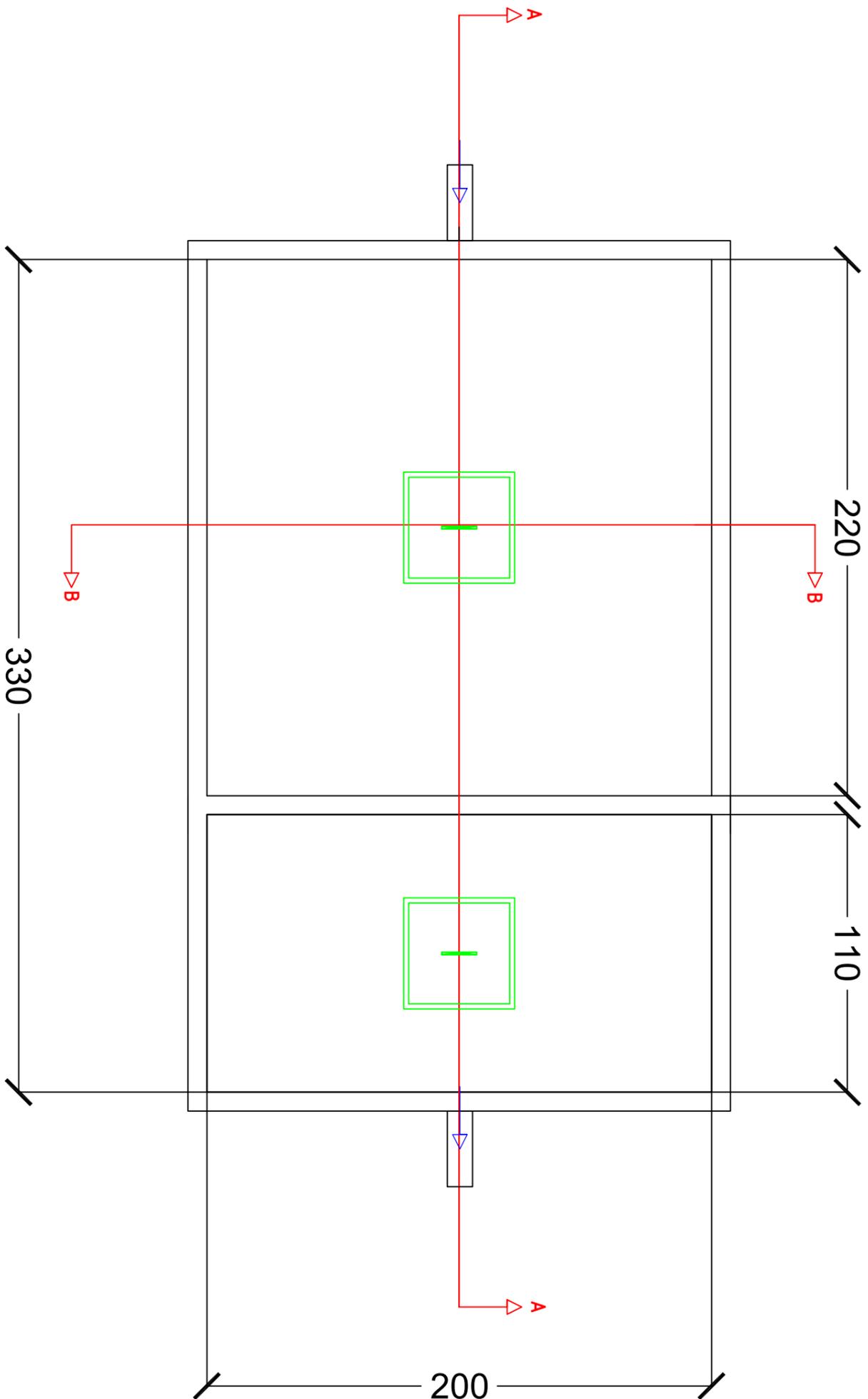
Ravelita Vivi Angelia
NRP. 5014201088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE,
M.Sc., Ph.D.

JUDUL GAMBAR

**DENAH
TANGKI SEPTIK**



SCALE	PAGE
1:20	3
HALAMAN	



TUGAS AKHIR

Kajian Bangunan Pengolahan Air Limbah
Rumah Sakit Kelas C
(Studi Kasus Kota Surabaya)

DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

LEGENDA

-  Muka Tanah
-  Lantai Kerja
-  Beton
-  Pasir Urug
-  Muka Air

MAHASISWA

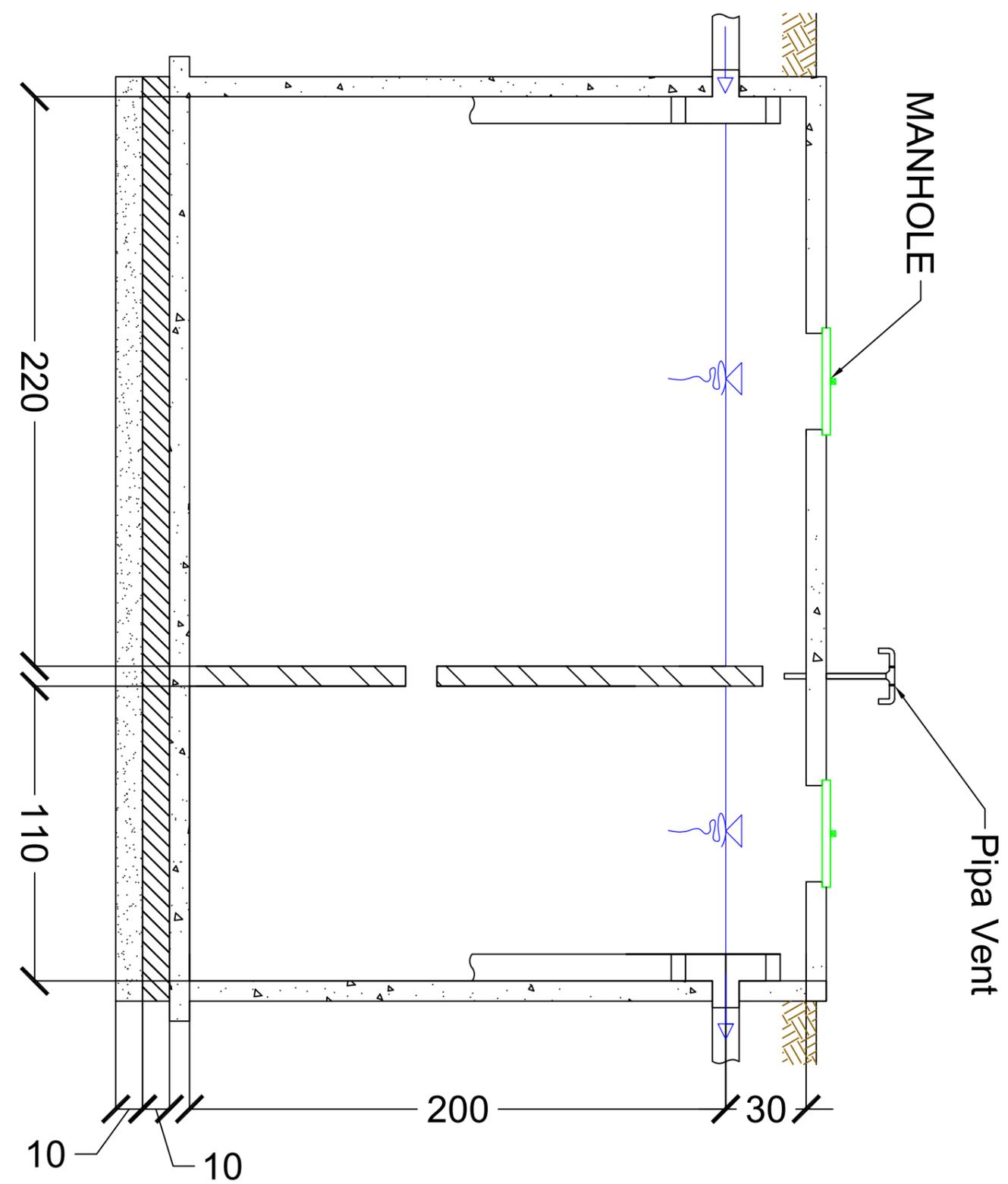
Ravelita Vivi Angelia
NRP. 5014201088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE,
M.Sc., Ph.D.

JUDUL GAMBAR

**POTONGAN A-A
TANGKI SEPTIK**



SCALE

1:20

PAGE

4

HALAMAN



TUGAS AKHIR

Kajian Bangunan Pengolahan Air Limbah
Rumah Sakit Kelas C
(Studi Kasus Kota Surabaya)

DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

LEGENDA

-  Muka Tanah
-  Beton
-  Muka Air

MAHASISWA

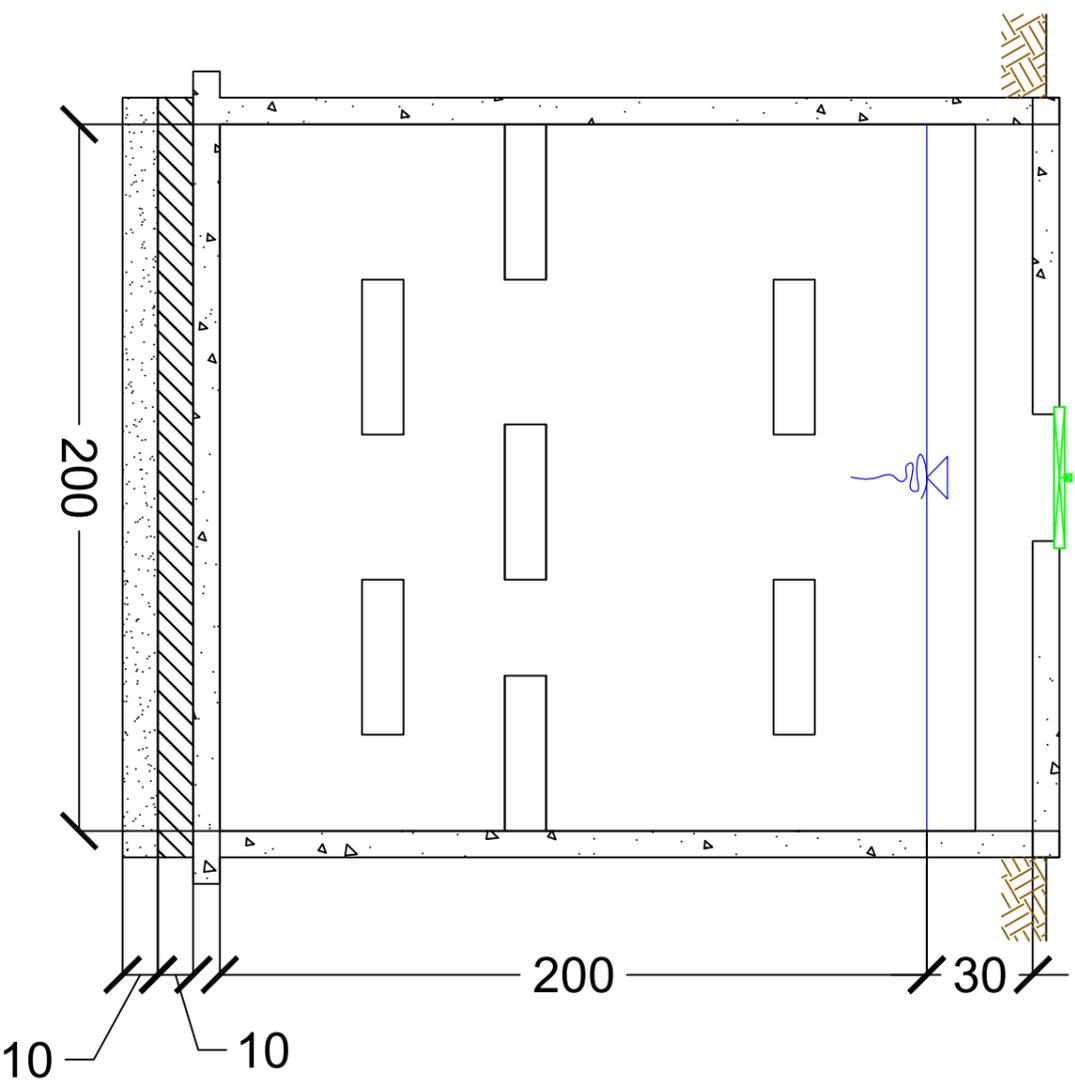
Ravelita Vivi Angelia
NRP. 5014201088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE,
M.Sc., Ph.D.

JUDUL GAMBAR

POTONGAN
B-B TANGKI SEPTIK



SCALE PAGE

1:20 5

HALAMAN



TUGAS AKHIR

Kajian Bangunan Pengolahan Air Limbah
Rumah Sakit Kelas C
(Studi Kasus Kota Surabaya)

DEPARTEMEN

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

LEGENDA

-  Muka Tanah
-  Beton
-  Muka Air

MAHASISWA

Ravelita Vivi Angelia
NRP. 5014201088

DOSEN PEMBIMBING

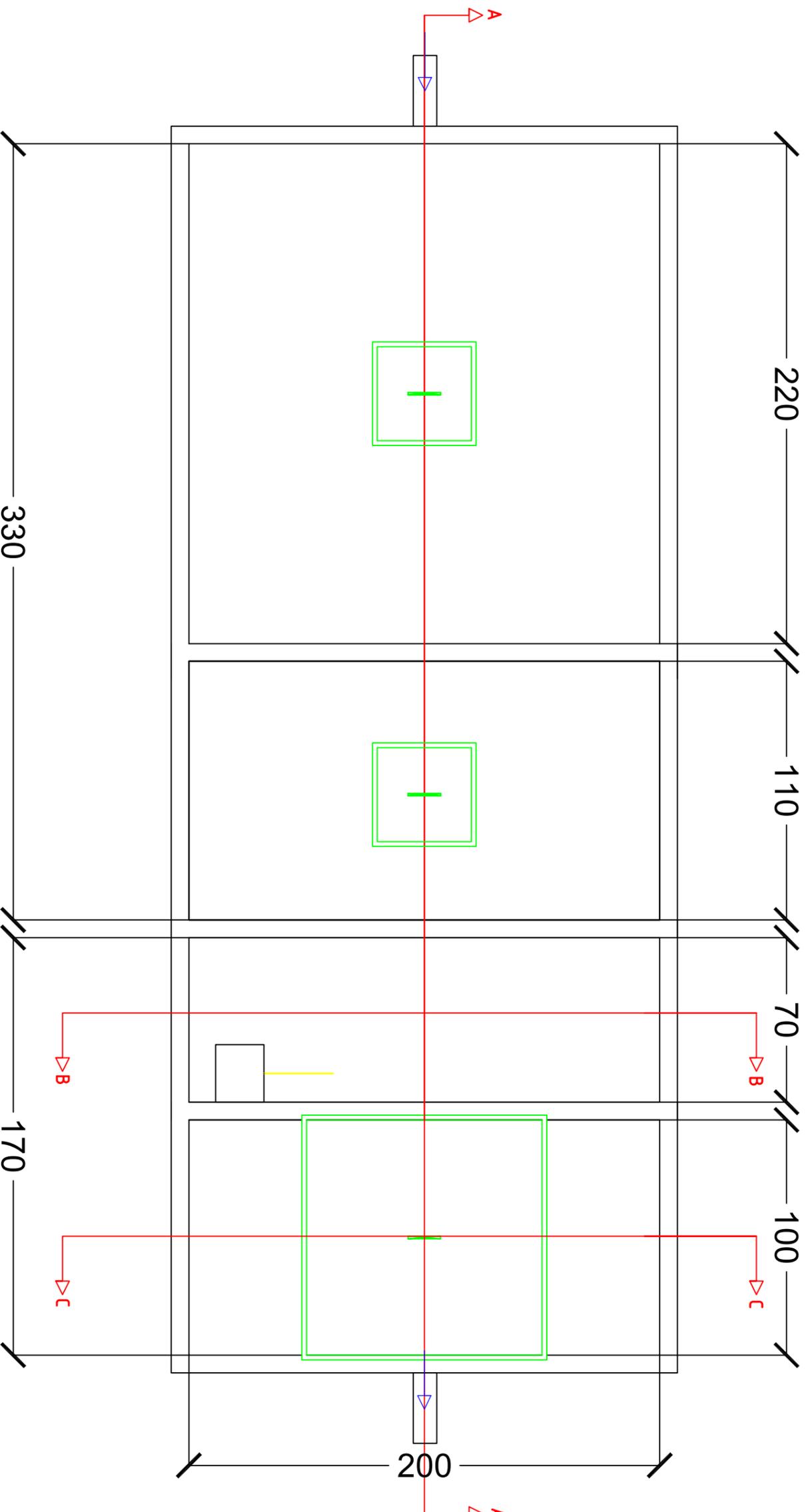
Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE,
M.Sc., Ph.D.

JUDUL GAMBAR

DENAH
TANGKI SEPTIK DAN
BIOFILTER AEROBIK
ALTERNATIF I

SCALE	PAGE
1:20	6

HALAMAN





TUGAS AKHIR

Kajian Bangunan Pengolahan Air Limbah
Rumahnya Sakit Kelas C
(Studi Kasus Kota Surabaya)

DEPARTEMEN

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

LEGENDA

- Muka Tanah
- Lantai Kerja
- Beton
- Pasir Urug
- Muka Air

MAHASISWA

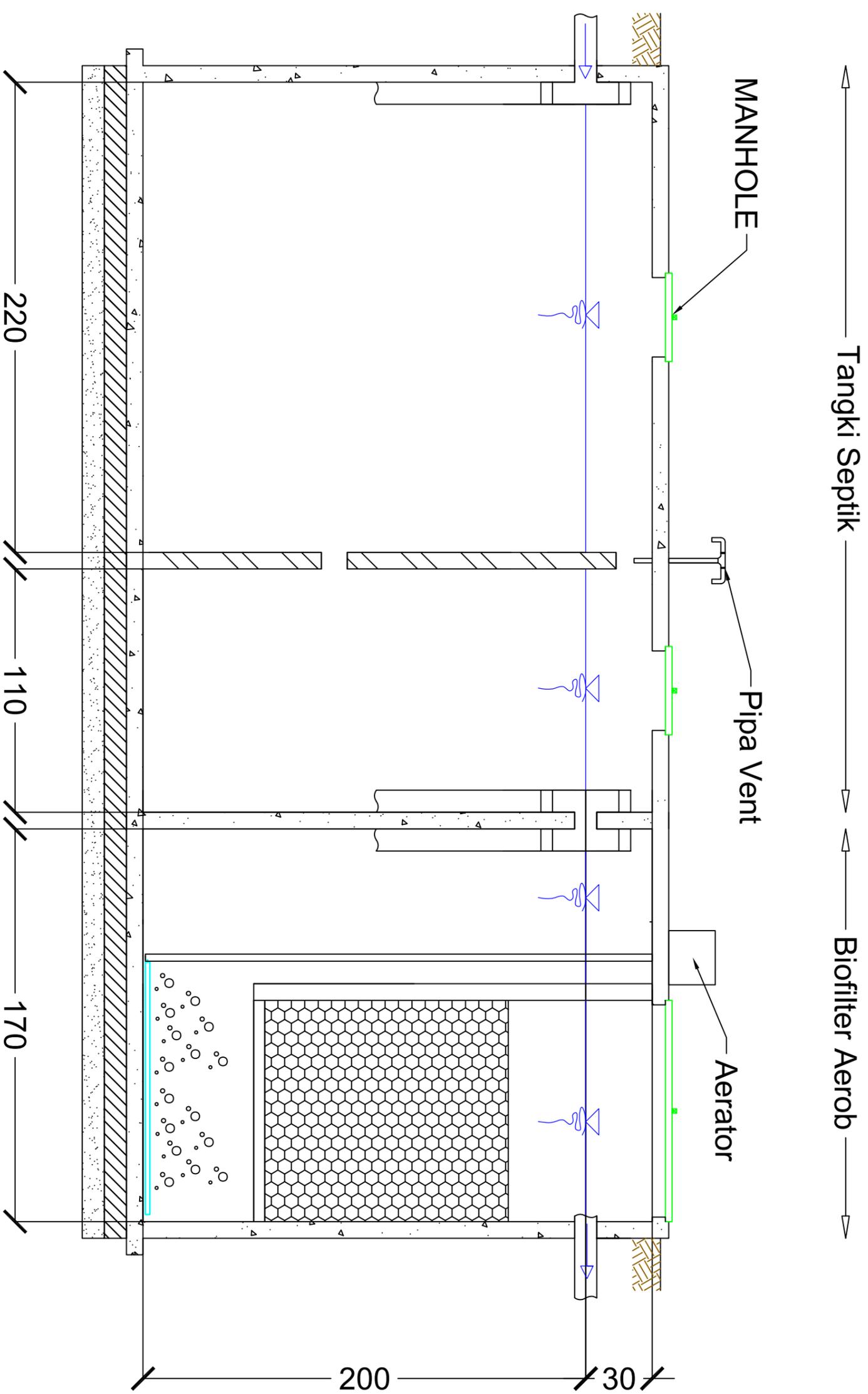
Ravelita Vivi Angella
NRP. 5014201088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE,
M.Sc., Ph.D.

JUDUL GAMBAR
POTONGAN A-A
TANGKI SEPTIK DAN BIOFILTER
AEROB

SCALE	PAGE
1:20	7
HALAMAN	





TUGAS AKHIR

Kajian Bangunan Pengolahan Air Limbah
Rumah Sakit Kelas C
(Studi Kasus Kota Surabaya)

DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

LEGENDA

-  Muka Tanah
-  Lantai Kerja
-  Beton
-  Pasir Urug
-  Muka Air

MAHASISWA

Ravelita Vivi Angelia
NRP. 5014201088

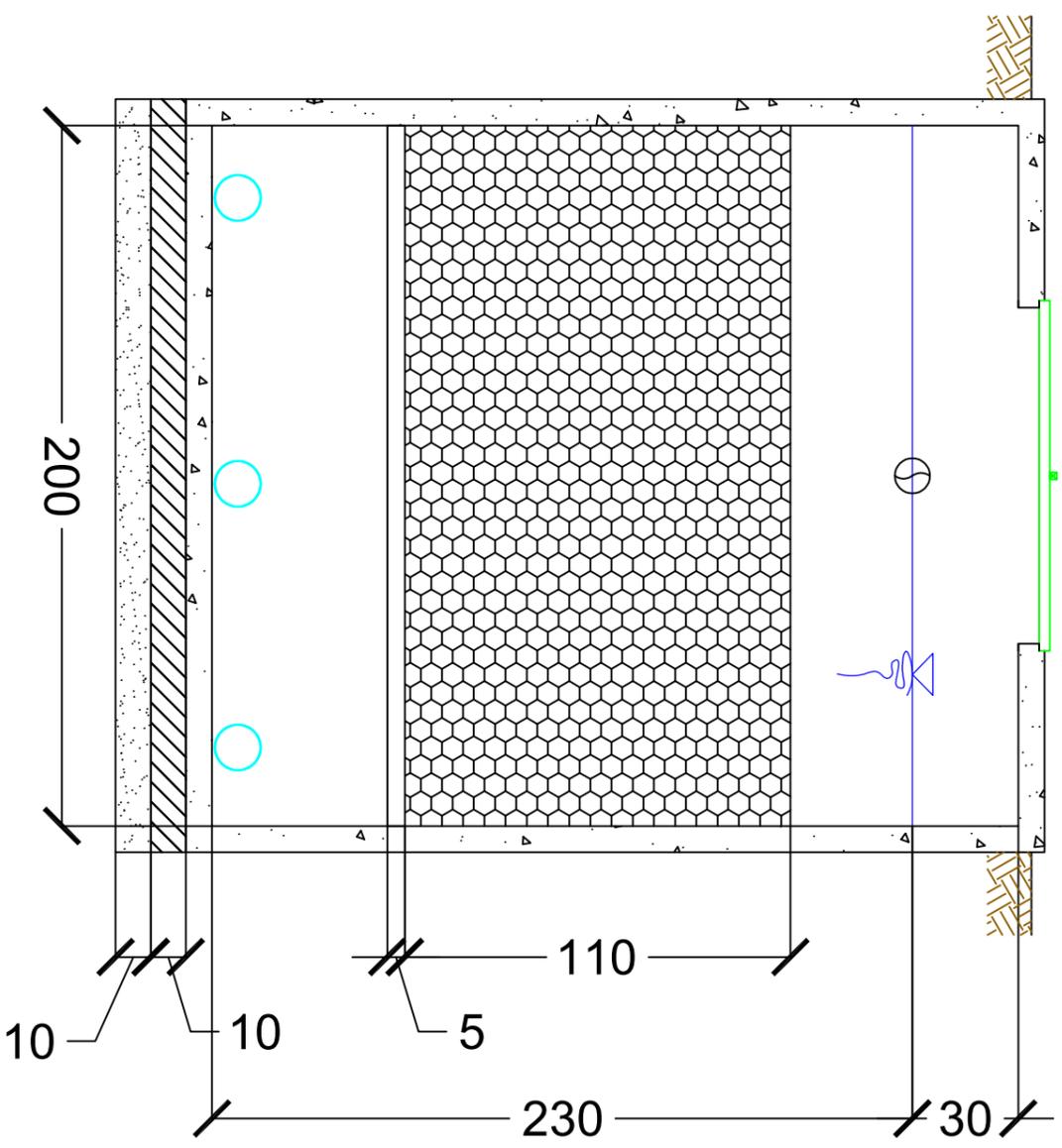
DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE,
M.Sc., Ph.D.

JUDUL GAMBAR

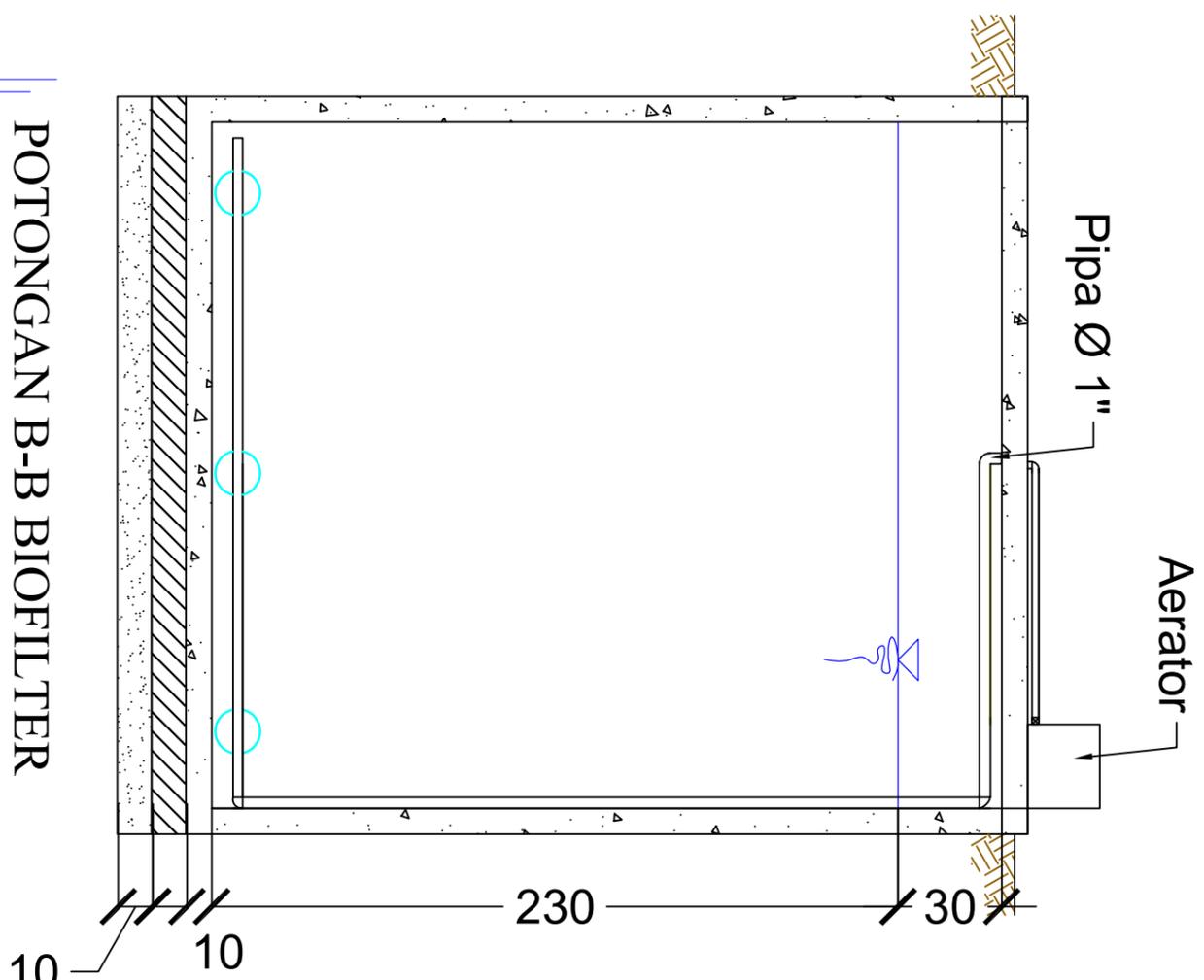
POTONGAN D-D dan
POTONGAN E-E
BIOFILTER AEROB

SCALE	PAGE
1:20	8
HALAMAN	



POTONGAN C-C BIOFILTER

SKALA : 1 : 20



POTONGAN B-B BIOFILTER

SKALA : 1 : 20



TUGAS AKHIR

Kajian Bangunan Pengolahan Air
Limbah
Rumah Sakit Kelas C
(Studi Kasus Kota Surabaya)

DEPARTEMEN

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

LEGENDA

-  BANGUNAN IPAL
-  Sungai
-  BANGUNAN EKSTING

MAHASISWA

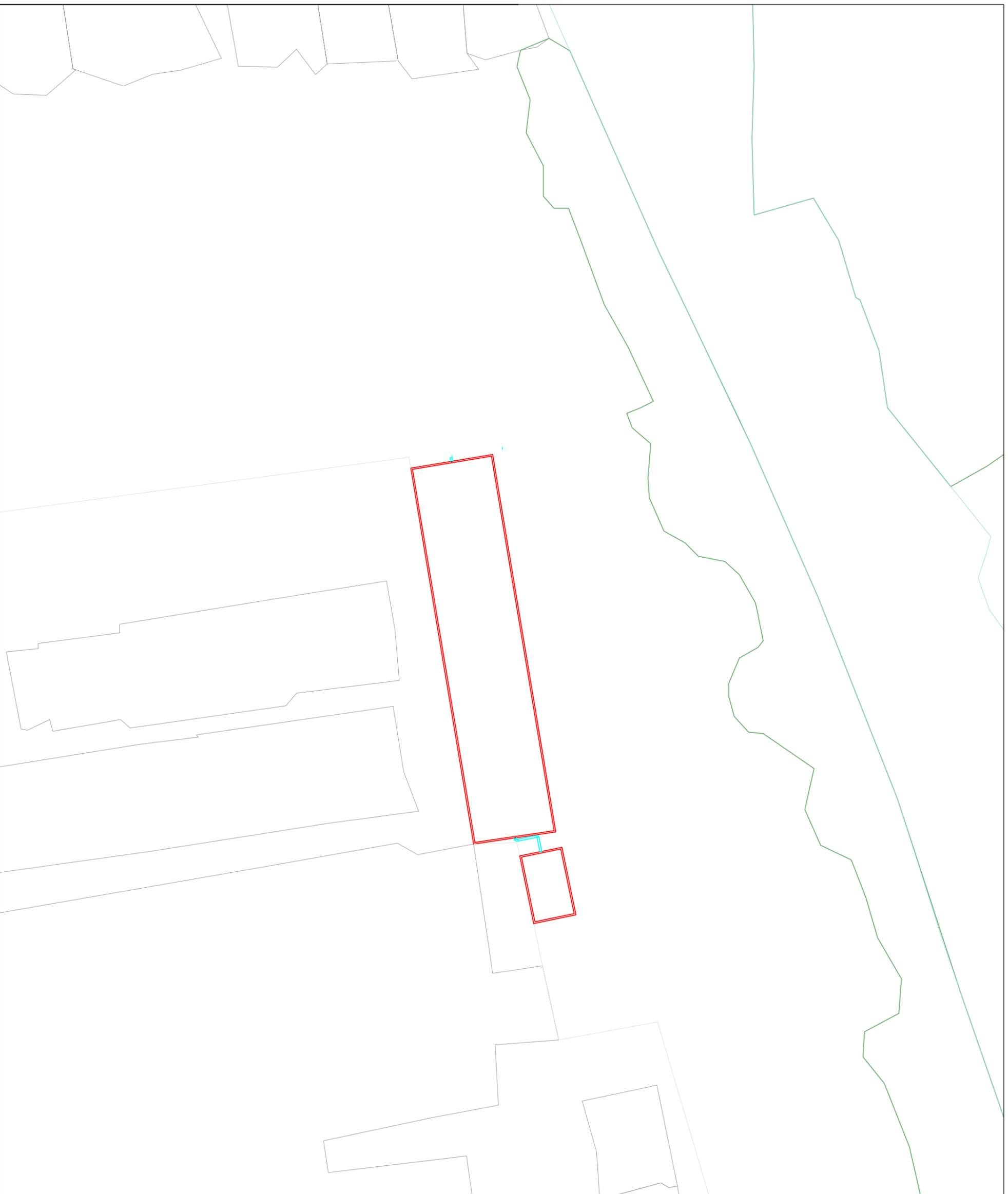
Ravelita, Vivi Angelita
NRP. 5014201088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Eddy Setiadi
Soedjono, Dipl.SE, M.Sc., Ph.D.

JUDUL GAMBAR

**SITE PLAN
ALTERNATIF II**



SCALE	PAGE
1:2	9

HALAMAN



TUGAS AKHIR

Kajian Bangunan Pengolahan Air Limbah
Rumah Sakit Kelas C
(Studi Kasus Kota Surabaya)

DEPARTEMEN

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

LEGENDA

- Muka Tanah Lantai Kerja
- Beton Pasir Urug
- Muka Air
- Tanah Urug
- Gravel Ø 10 mm
- Gravel Ø 50 mm
- Gravel Ø 32 mm
- Canna Indica* (Tanaman Kanna)

MAHASISWA

Ravelita Vivi Angella
NRP. 5014201088

DOSEN PEMBIMBING

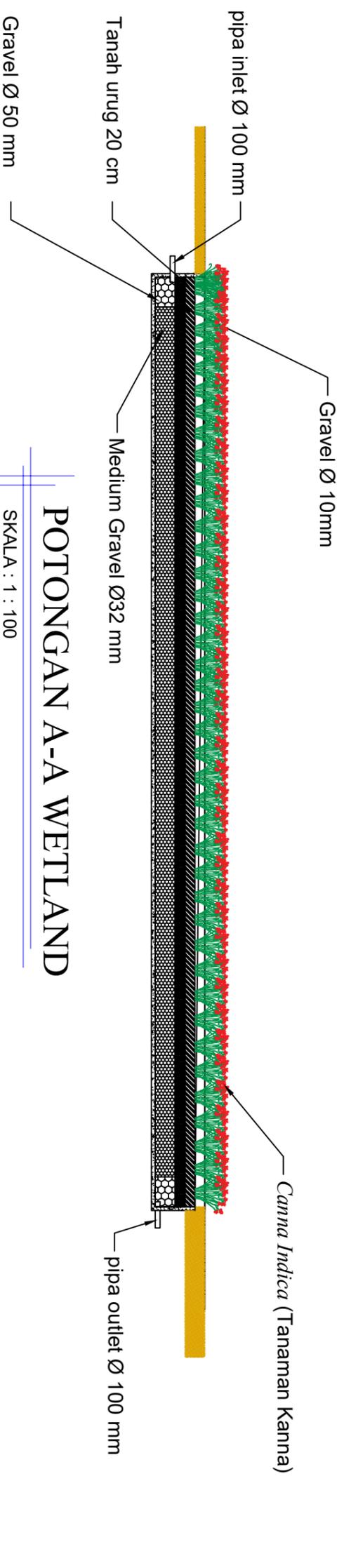
Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE,
M.Sc., Ph.D.

JUDUL GAMBAR

**POTONGAN A-A DENAH
CONSTRUCTED WETLAND DAN
DETAIL LAPISAN MEDIA**

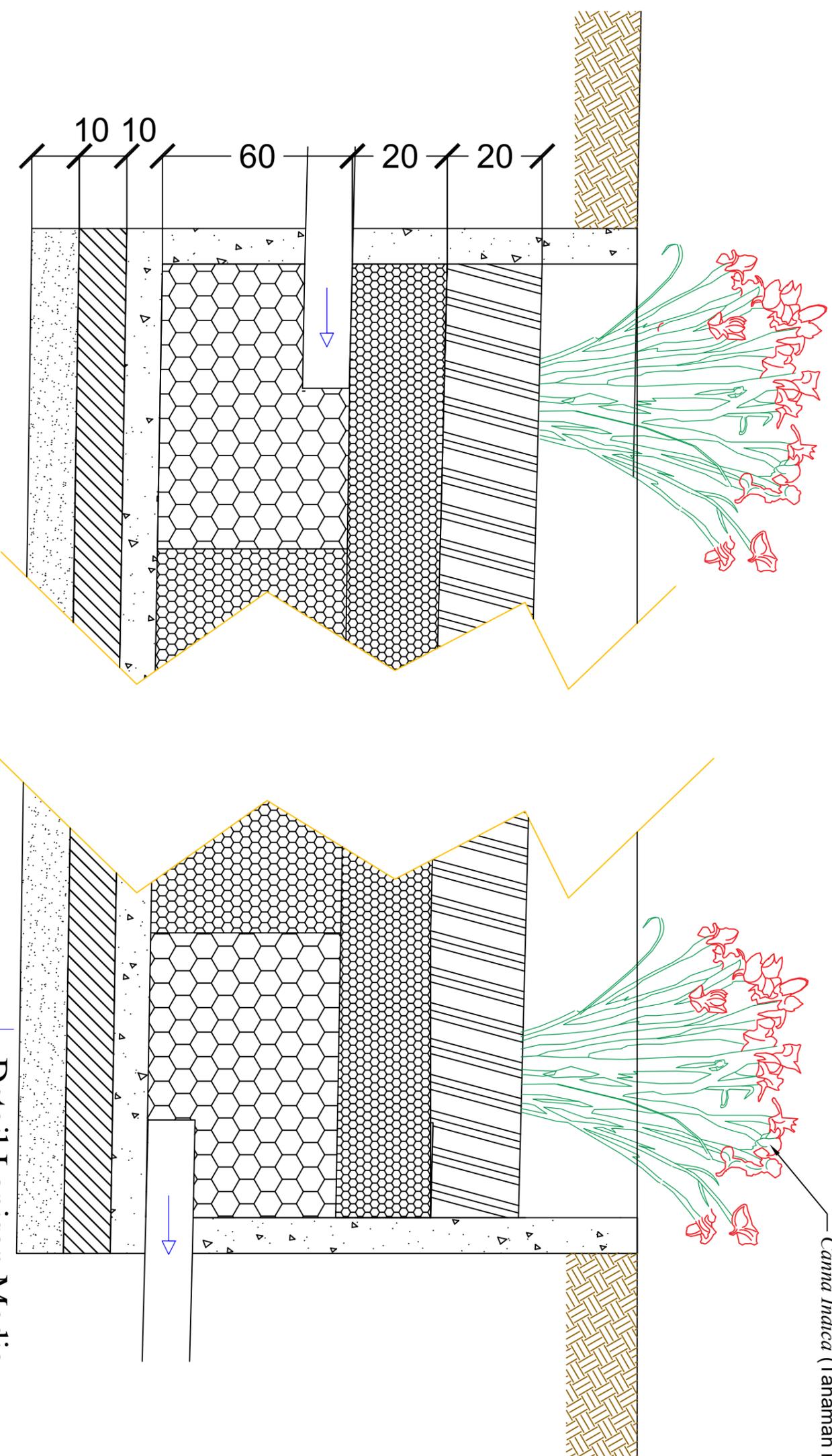
SCALE	PAGE
variasi	10

HALAMAN



POTONGAN A-A WETLAND

SKALA : 1 : 100



Detail Lapisan Media

SKALA : 1 : 10



TUGAS AKHIR

Kajian Bangunan Pengolahan Air Limbah
Rumah Sakit Kelas C
(Studi Kasus Kota Surabaya)

DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

LEGENDA

-  Muka Tanah
-  Beton
-  Muka Air

MAHASISWA

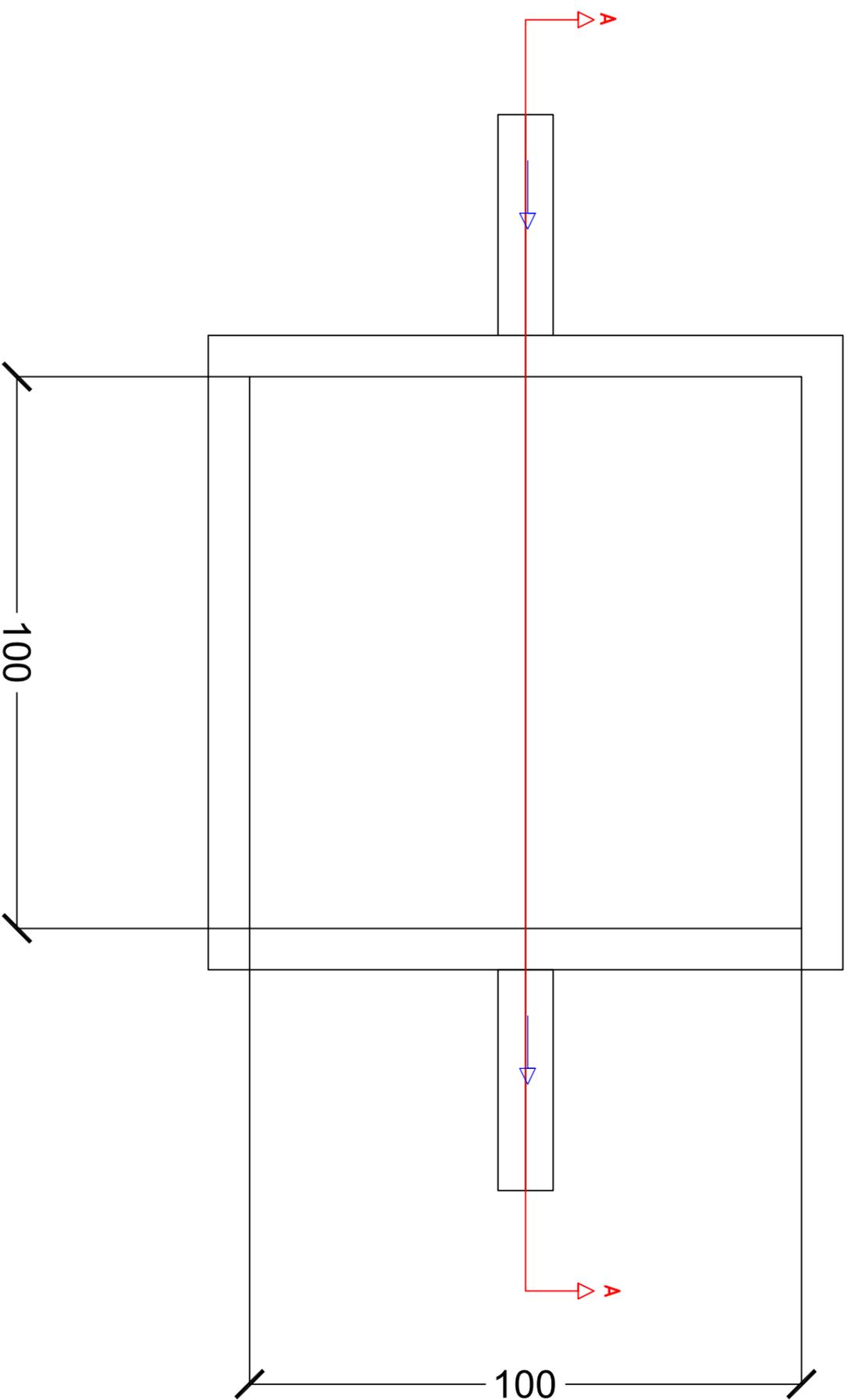
Ravelita Vivi Angelia
NRP. 5014201088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE,
M.Sc., Ph.D.

JUDUL GAMBAR

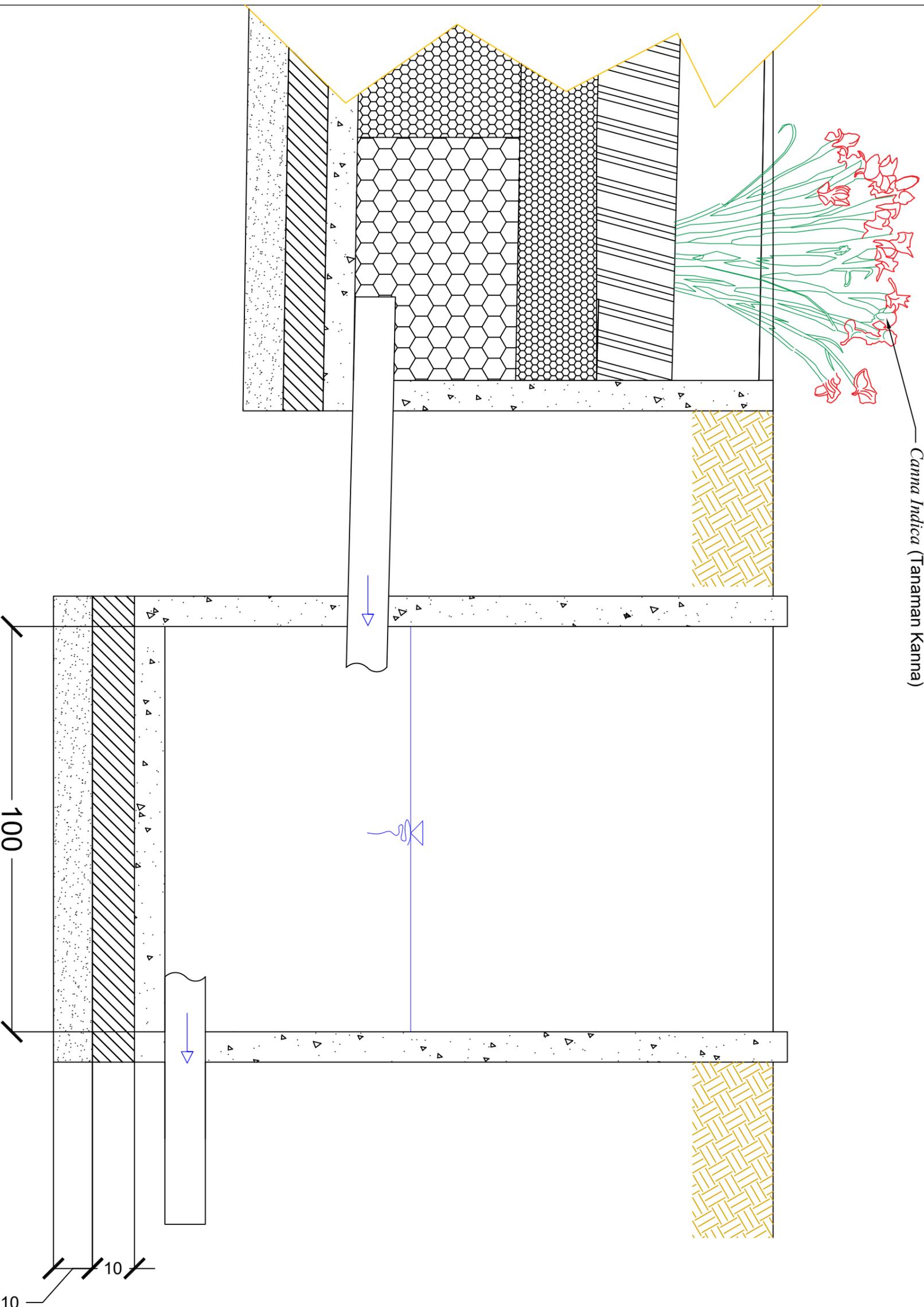
TAMPAK ATAS
UNIT PENAMPUNG
CONSTRUCTED WETLAND



SCALE	PAGE
1:10	11

HALAMAN

Canna Indica (Tanaman Kanna)



TUGAS AKHIR

Kajian Bangunan Pengolahan Air Limbah
Rumah Sakit Kelas C
(Studi Kasus Kota Surabaya)

DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

LEGENDA

-  Muka Tanah
-  Beton
-  Muka Air

MAHASISWA

Ravelita Vivi Angella
NRP. 5014201088

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE,
M.Sc., Ph.D.

JUDUL GAMBAR

POTONGAN A-A
UNIT PENAMPUNG
CONSTRUCTED WETLAND

SCALE	PAGE
1:10	12
HALAMAN	