

**LAPORAN TUGAS AKHIR
(ENV21W0003)**

**PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)
DOMESTIK SKALA PERMUKIMAN PADA SUB DAS CIKAPUNDUNG**

**Disusun Oleh:
Ghina Hasna Yunita Akbar
203050035**



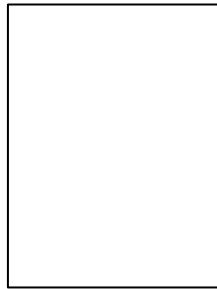
**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2026**

**LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR
(ENV21W0003)**

**PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)
DOMESTIK SKALA PERMUKIMAN PADA SUB DAS CIKAPUNDUNG**

Disusun Oleh:

**Ghina Hasna Yunita Akbar
203050035**



**Telah disetujui dan disahkan
Pada, ... September 2026**

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

(Astri Widiastuti Hasbiah, S.T., M.Env.)

NIDN ...

Dosen Penguji I

(Prof. Dr. Lili Mulyatna, S.T., M.T.)

NIDN ...

Dosen Penguji II

(Prof. Dr. Yonik Meilawati Yustiani, M.T.)

NIDN ...

(Dr. Mayang Manguri Rahayu, M.T.)

NIDN ...

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) DOMESTIK SKALA PERMUKIMAN PADA SUB DAS CIKAPUNDUNG

Ghina Hasna Yunita Akbar, Astri Widiastuti Hasbiah, Lili Mulyatna

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan

Jl. Dr. Setiabudi No. 193, Bandung.

Email: ghinakbar2601@gmail.com

ABSTRAK

Perencanaan pradesain Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T) dilakukan untuk mengolah air limbah domestik di kawasan RW 03 Kelurahan Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung. Debit air limbah yang digunakan dalam perencanaan meliputi debit rata-rata sebesar 533,71 m³/hari (0,00618 m³/detik), debit maksimum sebesar 667,12 m³/hari (0,00772 m³/detik), dan debit minimum sebesar 445,48 m³/hari (0,00516 m³/detik). Pemilihan teknologi pengolahan dilakukan terhadap tiga alternatif menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), dengan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) terpilih berdasarkan dua nilai prioritas tertinggi. Rangkaian unit pengolahan yang direncanakan meliputi saluran pembawa, bar screen, grease trap, settler, dan ABR. Hasil perencanaan menunjukkan bahwa parameter BOD, COD, dan TSS telah memenuhi baku mutu air limbah domestik berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016, dengan konsentrasi masing-masing sebesar 13,40 mg/L, 45,75 mg/L, dan 7,55 mg/L, sedangkan parameter minyak dan lemak sebesar 10 mg/L belum memenuhi baku mutu. Total kebutuhan biaya pembangunan infrastruktur fisik SPALD-T di kawasan RW 03 Kelurahan Dago sebesar Rp2.030.306.782, termasuk penyesuaian inflasi sebesar 1,43% dan PPN 11%

Kata Kunci: Air Limbah Domestik, SPALD-T, *Analytical Hierarchy Process*, *Anaerobic Baffled Reactor*

**PRELIMINARY DESIGN OF A COMMUNITY-SCALE DOMESTIC
WASTEWATER TREATMENT PLANT (WWTP) IN THE CIKAPUNDUNG
SUB-WATERSHED**

Ghina Hasna Yunita Akbar, Astri Widiastuti Hasbiah, Lili Mulyatna

*Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Pasundan
University.*

Dr. Setiabudi Street Number 193, Bandung, Indonesia

Email: ghinakbar2601@gmail.com

ABSTRACT

Preliminary design of a Centralized Domestic Wastewater Treatment System (SPALD-T) was carried out to treat domestic wastewater generated in RW 03, Dago Subdistrict, Coblong District, Bandung City. The wastewater flow rates used in the design include an average flow of 533.71 m³/day (0.00618 m³/s), a maximum flow of 667.12 m³/day (0.00772 m³/s), and a minimum flow of 445.48 m³/day (0.00516 m³/s). The treatment technology was selected from three alternatives using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method, with the Anaerobic Baffled Reactor (ABR) selected based on the two highest priority values. The planned treatment units consist of a conveyance channel, bar screen, grease trap, settler, and ABR. The design results indicate that the BOD, COD, and TSS parameters meet the domestic wastewater quality standards stipulated in Minister of Environment and Forestry Regulation No. 68 of 2016, with concentrations of 13.40 mg/L, 45.75 mg/L, and 7.55 mg/L, respectively, while the oil and grease concentration of 10 mg/L does not meet the applicable standard. The total estimated cost for the construction of the physical SPALD-T infrastructure in RW 03, Dago Subdistrict, is IDR 2,030,306,782, including a 1.43% inflation adjustment and 11% VAT.

Keywords: *Domestic Wastewater, Centralized Domestic Wastewater Management System (SPALD-T), Analytical Hierarchy Process, Anaerobic Baffled Reactor*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim,

Assalamualaikum Wr.Wb

Segala puji dan syukur kepada Allah ﷻ yang telah memberikan rahmat dan kasih sayang-Nya kepada hamba-hamba-Nya. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad ﷺ, keluarga, sahabat, dan para pengikutnya yang senantiasa *istiqamah* di jalan-Nya.

Alhamdulillah dengan penuh rasa syukur kehadiran Allah ﷻ berkat rahmah-Nya, berkat kasih sayang, dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir II dengan judul “**Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik Skala Permukiman Pada Sub Das Cikapundung.**” Laporan ini dibuat sebagai salah satu persyaratan kelulusan Program Strata 1 (S1). Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan. Selain itu, laporan ini disusun sebagai bentuk penerapan langsung dari pengetahuan dan kompetensi yang diperoleh selama perkuliahan.

Penyusun menyadari jika laporan ini tidak akan berhasil dengan baik tanpa bantuan dan dukungan dari pihak-pihak yang turut serta hadir dan membantu demi terselesaikannya Tugas Akhir II ini. Maka dengan demikian, dalam kesempatan ini penulis ingin berterimakasih kepada:

1. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada **Ibu Dr. Ririn Dwi Agustin, S.T., M.T.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Pasundan atas arahan, dukungan, dan kebijakan yang diberikan selama proses perkuliahan. Dukungan tersebut berperan dalam kelancaran kegiatan akademik serta dalam proses penyusunan skripsi ini.
2. **Ibu Ir. Dr. Anni Rochaeni, ST., MT** selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan penulis berterimakasih atas bimbingan, perhatian, serta motivasi yang senantiasa diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan. Arahan dan kebijakan yang diberikan turut membantu penulis dalam memahami bidang keilmuan Teknik

Lingkungan serta dalam menyelesaikan skripsi ini dengan lebih terarah dan sistematis.

3. **Ibu Astri Widiastuti Hasbiah, S.T., M.Env.** sebagai dosen pembimbing pertama penulis. Penulis berterimakasih karena Ibu telah memberikan kesempatan berharga dan menerima penulis untuk menjadi bagian dalam tim penyusunan Tugas Akhir I dan Tugas Akhir II. Penulis juga mengucapkan terimakasih dan rasa syukur karena telah diberi arahan, dukungan, serta motivasi yang telah Ibu berikan sehingga dapat tercapainya penyelesaian Tugas Akhir II ini.
4. **Bapak Prof. Dr. Lili Mulyatna, S.T., M.T.** sebagai dosen pembimbing kedua penulis yang telah memberikan banyak arahan, dukungan, dan motivasi dalam penyelesaian Tugas Akhir II ini. Penulis ucapkan terimakasih dan mengucapkan rasa syukur karena mendapat bapak sebagai dosen pembimbing penulis.
5. **Ibu Prof. Dr. Yonik Meilawati .Y., M.T** dan **Ibu Dr. Mayang Manguri, M.T.** selaku dosen penguji penulis yang telah memberikan masukan, arahan, serta ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.
6. **Bapak Deni Rusmaya, S.T., M.T.** selaku koordinator tugas akhir yang telah membantu dan memfasilitasi penulis dalam pemenuhan syarat-syarat hingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir II.
7. **Almarhumah Ibu Dr. Ir. Evi Afiatun, S. T., M. T, (Rahimahullah)** selaku Dosen Wali dan Dosen Penguji Tugas Akhir I penulis ucapkan terima kasih atas segala bentuk perhatian, arahan, bantuan, dan ilmu yang telah ibu berikan kepada penulis. Semoga Allah SWT menjadikan setiap kebaikan ibu menjadi pahala yang berlipat ganda dan mendapat tempat yang terbaik di sisi-Nya.
8. **Kedua Orang Tua dan Keluarga,** penulis berterima kasih atas dukungan, fasilitas, serta kehadiran kalian kepada penulis. Penulis merasa beruntung dan bersyukur dapat diberikan kesempatan menerima dan merasakan menempuh pendidikan sarjana yang tidak semua dapat berkesempatan merasakan apa yang penulis bisa rasakan.

9. **Teman-teman** penulis berterima kasih karena telah membantu dan memberikan dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir II
10. Semua Pihak yang telah banyak membantu yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas semua bantuan dan dukungan yang telah diberikan.

Akhir kata, penulis mengharapkan *may Allah SWT bless you all with protection, abundant blessings, good health, and sustenance in return for all the kindness you have shown, whether you realized it or not* dan penulis berharap laporan ini dapat bermanfaat serta memberikan informasi bagi kepentingan akademis maupun sebagai bahan bacaan. Mohon maaf apabila masih terdapat kesalahan dan kekurangan, karena penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Maka dari itu penulis mengharapkan kritik serta saran yang membangun agar menjadi lebih baik untuk ke depannya serta terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung terselesaikannya laporan ini.

Bandung, 15 Juli 2026

Ghina Hasna Yunita Akbar

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
<i>ABSTRACT</i>.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv

BAB I PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang	1
1.2	Maksud dan Tujuan	2
1.3	Ruang Lingkup.....	3
1.4	Sistematika Penulisan	3

BAB II GAMBARAN OBJEK PERENCANAAN

2.1	Gambaran Umum Wilayah Perencanaan	1
2.2	Letak Geografis, Batas Wilayah, dan Topografi.....	2
2.3	Klimatologi	2
2.4	Fasilitas Umum	3
2.5	Hidrologi	4
2.6	Tata Guna Lahan	5
2.7	Demografi	5
2.7.1	Kondisi Sosial dan Ekonomi.....	5
2.7.2	Sanitasi dan Kesehatan Lingkungan.....	7

BAB III TINJAUAN PUSTAKA

3.1	Air Limbah Domestik.....	1
3.1.1	Pengertian Air Limbah Domestik dan Non Domestik	1
3.1.2	Sumber Pencemar Air Limbah.....	1
3.1.3	Karakteristik Air Limbah Domestik	3
3.1.4	Parameter Kualitas Air Limbah Domestik	4

3.1.5	Baku Mutu Air Limbah Domestik	7
3.2	Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik	8
3.2.1	Konsep Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik	9
3.2.2	Klasifikasi Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik	10
3.2.2.1	Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Setempat (SPALD-S).....	10
3.2.2.2	Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T).....	10
3.2.3	Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)	11
3.3	Teknologi Pengolahan Air Limbah Domestik	12
3.3.1	Sistem Pengolahan Pendahuluan (<i>Preliminary Treatment</i>).....	12
3.3.1.1	<i>Bar Screen</i>	13
3.3.1.2	<i>Grit Chamber</i>	13
3.3.1.3	<i>Grease Trap</i>	14
3.3.1.4	Bak Pengumpul	15
3.3.1.5	Bak Ekualisasi	16
3.3.2	Sistem Pengolahan Primer (<i>Primary Treatment</i>)	16
3.3.3	Sistem Pengolahan Sekunder (<i>Secondary Treatment</i>).....	17
3.3.4	Sistem Pengolahan Lanjutan (<i>Tertiary Treatment</i>)	27
3.4	Peraturan Air Limbah Domestik.....	32
3.5	Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Skala Permukiman	33
3.6	Rencana Anggaran Biaya (RAB).....	35
3.6.1	Pengertian Rencana Anggaran Biaya (RAB)	35
3.6.2	Tujuan dan Fungsi Rencana Anggaran Biaya (RAB)	36
3.6.3	Dasar Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB).....	36
3.6.2.1	Gambar Teknik.....	37
3.6.2.2	Spesifikasi Teknis.....	37
3.6.2.3	Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)	37
3.6.2.4	Harga Satuan Daerah Kota Bandung	38
3.6.2.5	Pajak	38
3.6.2.6	Inflasi.....	39
3.6.2.7	Metode Pelaksanaan dan Waktu Penyelesaian.....	39
3.6.3	Komponen Penyusun Rencana Anggaran Biaya (RAB)	40
3.6.4	Langkah-Langkah Perispan Perhitungan RAB	42

BAB IV DASAR PERENCANAAN

4.1	Tahapan Pengelolaan Air Limbah Domestik	1
4.2	Prinsip-Prinsip Perencanaan Pengolahan Air Limbah	5

4.3	Periode Perencanaan.....	7
4.3.1	Umur Rencana IPAL	8
4.3.2	Dasar Penetapan Periode Perencanaan.....	9
4.4	Pengolahan dan Analisis Data Penduduk	10
4.4.1	Data Penduduk Eksisting	10
4.4.2	Penduduk Rencana Menggunakan Metode Aritmatika	11
4.4.3	Penduduk Rencana Menggunakan Metode Geometrik	14
4.4.4	Penduduk Rencana Menggunakan Metode <i>Least Square</i>	18
4.4.5	Pemilihan Metode Proyeksi.....	21
4.5	Dasar Perencanaan Pengolahan Air Limbah.....	23
4.5.1	Kapasitas IPAL.....	23
4.5.2	Pemilihan Teknologi Pengolahan	24
4.5.3	Pemilihan Lokasi IPALD Terpusat.....	25
4.5.4	Penentuan Karakteristik <i>Influen</i>	26
4.5.5	Perhitungan Debit Air Limbah.....	28
4.5.6	Hasil Karakteristik Air Limbah	33
4.6	Penentuan Teknologi IPAL Menggunakan Metode Analutical Hierarchy Process (AHP).....	35
4.6.1	Identifikasi Alternatif Teknologi	35
4.6.2	Penentuan Kriteria Pemilihan Teknologi	38
4.6.3	Hierarki AHP.....	39
4.6.4	Penyusunan Kuesioner AHP.....	40
4.6.5	Penyusunan Matriks Perbandingan Berpasangan.....	41
4.6.6	Perhitungan Bobot Prioritas.....	44
4.6.7	Uji Konsistensi	48
4.6.8	Hasil Kuesioner AHP	50

BAB V SPESIFIKASI TEKNIS

5.1	Perhitungan Bangunan Unit Pengolahan Air Limbah.....	1
5.2	<i>Preliminary Treatment</i>	1
5.2.1	<i>Bar Screen</i>	1
5.2.2	Bak Ekualisasi	6
5.2.3	<i>Grease Trap</i>	8
5.3	<i>Primary Treatment</i>	14
5.4	Secondary Treatment.....	25
5.5	Perencanaan Bak Kontrol.....	33

5.6	Neraca Massa	34
5.6.1.	Beban Pencemar Influen.....	35
5.6.2	Neraca Massa <i>Grease Trap</i>	35
5.6.3	Neraca Massa Settler	36
5.6.4	Neraca Massa ABR	37

BAB VI SPESIFIKASI TEKNIS DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA

6.1	Umum	1
6.2	Pekerjaan Persiapan.....	1
6.2.1	Bangunan Sementara	1
6.2.2	Pematokan dan Pengukuran.....	2
6.2.3	Pembersihan Lahan.....	3
6.2.4	Pekerjaan Pembongkaran.....	4
6.2.5	Papan Nama Proyek.....	4
6.2.6	Pekerjaan Jalan Masuk	5
6.3	Pekerjaan Sipil	5
6.3.1	Pekerjaan Tanah	5
6.3.2	Pekerjaan Pengurugan	6
6.3.3	Pekerjaan Pondasi.....	6
6.3.4	Pekerjaan Beton.....	7
6.4	Spesifikasi Teknis Material	8
6.4.1	Semen	8
6.4.2	Agregat Halus (Pasir).....	9
6.4.3	Agregat Kasar	10
6.4.4	Batu.....	10
6.4.5	Baja Tulangan.....	10
6.4.6	Air.....	10
6.5	Pekerjaan Pipa dan Mekanikal Elektrikal	11
6.5.1	Pemasangan Pipa	11
6.5.2	Pemasangan Pompa	11
6.6	Spesifikasi Teknis Pekerjaan Instalasi Pengolahan Air Limbah	12
6.7	Rencana Anggaran Biaya	12

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

7.1	Kesimpulan	1
7.2	Saran	1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Fasilitas Umum di Kelurahan Dago RW 03	3
Tabel 2.2 Mata Pencarian Penduduk	6
Tabel 2.3 Jumlah Usaha dan Jasa RW 03.....	7
Tabel 2.4 Pengguna Septic Tank Kelurahan Dago.....	8
Tabel 2.5 Fasilitas Air Bersih dan TPS Pada RW 03	8
Tabel 3.1 Diversitas Jenis dan Sumber Pencemaran	3
Tabel 3.2 Air Limbah Nonkaku, Atau Gabungan Air Limbah Kaku Dengan Air Limbah Nonkaku dan Dibuang Ke Media Air	8
Tabel 4.1 Data Penduduk RW 03 Kelurahan Dago.....	10
Tabel 4.2 Perhitungan Uji Korelasi Metode Aritmatika	12
Tabel 4.3 Perhitungan Standar Deviasi Metode Aritmatika.....	12
Tabel 4.4 Perhitungan Uji Korelasi Metode Geometrik.....	14
Tabel 4.5 Perhitungan Standar Deviasi Metode Geometrik.....	17
Tabel 4.6 Perhitungan Uji Korelasi Metode Least Square	19
Tabel 4.7 Perhitungan Standar Deviasi Metode Least Square	20
Tabel 4.8 Perbandingan Hasil Nilai Standar Deviasi dan Koefisien Korelasi Antar Metode.....	22
Tabel 4.9 Perbandingan Proyeksi Penduduk 10 Tahun Antar Metode	22
Tabel 4.10 Standar Kebutuhan Air Rumah Tangga Berdasarkan Jenis Kota dan Jumlah Penduduk	28
Tabel 4.11 Kebutuhan Air Bersih Non Domestik	30
Tabel 4.12 Rekap Hasil Perhitungan Air Limbah	32
Tabel 4.13 Analisa Perbandingan Kualitas Air Limbah Domestik dengan Standar Baku Mutu Air Limbah Domestik	33
Tabel 4.14 Kelebihan dan Kekurangan Alternatif Pengolahan	36
Tabel 4.15 Kriteria Pemilihan Teknologi IPAL Komunal	39
Tabel 4.16 Matriks Perbandingan Berpasangan Antar Kriteria	43
Tabel 4.17 Bobot Prioritas Kriteria	45

Tabel 4.18 Bobot Alternatif Berdasarkan Kriteria Efisiensi Penyisihan Pencemar	46
Tabel 4.19 Bobot Alternatif Berdasarkan Kriteria Biaya Investasi.....	46
Tabel 4.20 Bobot Alternatif Berdasarkan Kriteria Kemudahan Operasi dan Pemeliharaan.....	47
Tabel 4.21 Bobot Alternatif Berdasarkan Kriteria Kebutuhan Lahan.....	47
Tabel 4.22 Hasil Uji Konsistensi Matriks AHP	49
Tabel 4.23 Bobot Global Alternatif Teknologi IPAL	50
Tabel 5.1 Kriteria Desain <i>Bar Screen</i>	1
Tabel 5.2 Kriteria Desain Bak Ekualisasi.....	6
Tabel 5.3 Kriteria Desain Perencanaan Bak Ekualisasi	7
Tabel 5.4 Kriteria Desain <i>Grease Trap</i>	8
Tabel 5.5 Kriteria Desain Perencanaan <i>Grease Trap</i>	8
Tabel 5.6 Kriteria Desain <i>Settler</i>	15
Tabel 5.7 Kriteria Desain Perencanaan <i>Settler</i>	15
Tabel 5.8 Kriteria Desain Perencanaan ABR	26
Tabel 6.1 Spesifikasi Peralatan Minimum.....	13
Tabel 6.2 Spesifikasi Kegiatan.....	14
Tabel 6.3 Rencana Anggaran Biaya SPALD-T RW 03 Kelurahan Dago.....	16

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Topografi RW 03 Kelurahan Dago.....	9
Gambar 2.2 Peta Administrasi Kelurahan Dago	10
Gambar 3.1 <i>Bar Screen</i>	13
Gambar 3.2 <i>Grit Chamber</i>	14
Gambar 3.3 <i>Grease Trap</i>	15
Gambar 3.4 Bak Pengumpul.....	16
Gambar 3.5 Bak Ekualisasi	16
Gambar 3.6 Bak Pengendap (Persegi Panjang)	17
Gambar 3.7 <i>Secondary Treatment</i>	18
Gambar 3.8 Lumpur Aktif.....	20
Gambar 3.9 Trickling Filter.....	21
Gambar 3.10 <i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)</i>	22
Gambar 3.11 Anaerobic Baffled Reactor	23
Gambar 3.12 <i>Anaerobic Lagoon</i>	24
Gambar 3.13 <i>Anaerobic Filter</i>	24
Gambar 3.14 <i>Moving Bed Bioreactors (MBBR)</i>	26
Gambar 3.15 <i>Rotating Biological Contactor</i>	27
Gambar 3.16 Sistem <i>Wetland</i>	28
Gambar 3.17 <i>Horizontal Sub-Surface Flow</i>	29
Gambar 3.18 <i>Vertical Sub-Surface Flow</i>	30
Gambar 3.19 <i>Hybrid Constructed Wetland</i>	31
Gambar 3.20 Kolam Maturasi	32
Gambar 4.1 Proyeksi Pertumbuhan Penduduk Metode Aritmatika	14
Gambar 4.2 Proyeksi Pertumbuhan Penduduk Metode Geometrik.....	18
Gambar 4.3 Proyeksi Pertumbuhan Penduduk Metode Least Square	21
Gambar 4.4 Proyeksi Penduduk Selama 20 Tahun Metode Geometrik	23
Gambar 5.1 Faktor Strength BOD Inflow	28
Gambar 5.2 Faktor Temperatur	29

Gambar 5.3 Faktor Jumlah Chamber.....	29
Gambar 5.4 Faktor Penyisihan BOD Berdasarkan HRT	30
Gambar 5.5 Faktor OLR BOD	31
Gambar 5.6 Faktor Efisiensi BOD Removal terhadap COD Removal	32

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas air bersih menurut Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Pelaksanaan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan, yang menyatakan bahwa air bersih merupakan air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya memenuhi syarat kesehatan dan dapat diminum apabila telah dimasak. Air bersih juga dipergunakan untuk kebutuhan rumah tangga seperti untuk memasak, mencuci pakaian dan peralatan memasak atau peralatan lainnya. Penyediaan air bersih merupakan hak publik yang dijamin oleh negara sesuai dengan Pasal 33 ayat (3) Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945, yang berbunyi bahwa bumi, air, dan kekayaan alam dikuasai oleh negara untuk kemakmuran rakyat, sehingga pemenuhan kebutuhan air bersih menjadi tanggung jawab pemerintah pusat dan daerah sebagai bagian dari pelayanan publik. (Susanti, 2020)

Sungai Cikapundung bagian hulu merupakan salah satu sumber air baku yang dimanfaatkan oleh Perumdam Tirtawening Kota Bandung untuk memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat. Keberlanjutan fungsi tersebut sangat bergantung pada terjaganya kualitas air sungai sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Namun, peningkatan tekanan akibat aktivitas antropogenik di kawasan hulu telah menyebabkan penurunan kualitas air Sungai Cikapundung, sehingga berpotensi memengaruhi keberlanjutan pemanfaatannya sebagai sumber air baku.

Aktivitas antropogenik yang berkontribusi terhadap penurunan kualitas air meliputi berbagai sektor, seperti permukiman, perdagangan dan jasa, industri, serta kegiatan lainnya. Pada kawasan yang didominasi oleh permukiman, sumber pencemar yang dominan berasal dari aktivitas domestik. Air limbah domestik yang dihasilkan dari kegiatan mandi, mencuci, memasak, serta penggunaan fasilitas sanitasi mengandung bahan pencemar berupa senyawa organik, padatan tersuspensi, nutrien, minyak dan lemak, serta mikroorganisme patogen. Apabila air

limbah tersebut dibuang ke lingkungan tanpa melalui proses pengolahan yang memadai, maka beban pencemar yang masuk ke badan air akan meningkat dan menyebabkan penurunan kualitas air sungai.

Hasil pemantauan kualitas air oleh Dinas Lingkungan Hidup pada tahun 2025, beberapa titik pemantauan termasuk pada hulu Sungai Cikapundung menunjukkan bahwa beberapa parameter telah melampaui baku mutu yang dipersyaratkan. Nilai parameter tersebut mengindikasikan bahwa badan air telah menerima beban pencemar organik dan mikrobiologis yang cukup tinggi. Kondisi tersebut menjadi perhatian mengingat Sungai Cikapundung bagian hulu memiliki fungsi strategis sebagai sumber air baku bagi Perumdam Tirtawening Kota Bandung. Kelurahan Dago merupakan salah satu kawasan permukiman yang berada di daerah hulu Sungai Cikapundung.

Berdasarkan hasil survei lapangan, RW 03 Kelurahan Dago masih menghadapi permasalahan dalam pengelolaan air limbah domestik. Sebagian rumah tangga belum memiliki sistem pengelolaan air limbah yang memenuhi ketentuan teknis, sehingga air limbah domestik masih dialirkan secara langsung ke saluran drainase maupun badan air. Kondisi tersebut berpotensi meningkatkan beban pencemar yang masuk ke Sungai Cikapundung dan mempercepat penurunan kualitas air pada bagian hulu sungai.

Berdasarkan uraian diatas maka diperlukan sistem pengelolaan air limbah domestik yang memadai untuk mengurangi beban pencemar sebelum air limbah dibuang ke badan air penerima. Salah satu alternatif yang dapat diterapkan adalah perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPALD) di RW 03 Kelurahan Dago yang disesuaikan dengan karakteristik air limbah, jumlah penduduk terlayani, dan kondisi eksisting kawasan. Perencanaan tersebut diharapkan dapat mendukung upaya pengendalian pencemaran serta menjaga kualitas air Sungai Cikapundung bagian hulu sebagai sumber air baku Perumdam Tirtawening Kota Bandung.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dari perencanaan ini adalah mendukung upaya pengendalian beban pencemar air limbah domestik di RW 03 Kelurahan Dago, Kecamatan

Coblong, Kota Bandung, guna menjaga kualitas air Sungai Cikapundung bagian hulu, khususnya pada area *Intake* Dago Bengkok sebagai sumber air baku Perumdam Tirtawening Kota Bandung.

1. Menghitung proyeksi jumlah penduduk dan debit air limbah domestik pada periode perencanaan di RW 03 Kelurahan Dago.
2. Menentukan karakteristik air limbah domestik sebagai dasar perencanaan unit pengolahan pada unit dan membandingkan nilai parameter air limbah setelah dilakukan pengolahan.
3. Menentukan dimensi serta kapasitas setiap unit pengolahan pada sistem IPALD.
4. Menghitung rencana anggaran biaya bangunan IPALD skala permukiman.

1.3 Ruang Lingkup

Adapun batasan ruang lingkup penyusunan perencanaan ini adalah sebagai berikut:

1. Lokasi perencanaan ini dibatasi secara geografis pada kawasan RW 03 Kelurahan Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung.
2. Air limbah yang dikaji difokuskan pada air limbah domestik harian hasil aktivitas rumah tangga yang mencakup gabungan *blackwater* dan *greywater*.
3. Evaluasi kualitas air limbah difokuskan pada parameter pencemar utama meliputi *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solids* (TSS).
4. Perencanaan teknis yang dilakukan mencakup perhitungan detail dimensi bangunan pengolahan, penyusunan gambar desain teknis instalasi IPAL, serta penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) konstruksi.

1.4 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan tugas akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang mengenai permasalahan air limbah domestik di Kelurahan Dago RW 03, tujuan perencanaan IPAL di Kelurahan Dago RW 03, ruang lingkup perencanaan IPAL, dan sistematika penulisan laporan.

BAB II GAMBARAN OBJEK PERENCANAAN

Bab ini membahas mengenai gambaran umum wilayah Kelurahan Dago yang meliputi letak geografis dan batas administrasi wilayah perencanaan, topografi, tata guna lahan, kondisi demografi.

BAB III TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai pengertian air limbah domestik, pengertian IPAL, jenis teknologi pengolahan air limbah domestik, peraturan dan standar acuan air limbah domestik, dan penelitian terdahulu mengenai perencanaan IPAL.

BAB IV DASAR PERENCANAAN

Bab ini membahas mengenai prinsip-prinsip perencanaan pengolahan air limbah domestik, dan kriteria perencanaan pengolahan air limbah domestik seperti pemilihan lokasi IPAL beserta pertimbangan lingkungan, sosial dan teknisnya.

BAB V PERENCANAAN TEKNIS

Bab ini membahas mengenai analisis debit air limbah domestik yang perlu diolah, deskripsi unit pengolahan IPAL domestik skala permukiman, alur proses pengolahan, gambar desain unit pengolahan dan perhitungan desain bangunan IPAL domestik.

BAB VI SPESIFIKASI TEKNIK DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA

Pada bab ini membahas mengenai perhitungan detail dari teknologi yang dipilih, dan rencana anggaran biaya.

BAB VII KESIMPULAN

Pada bab ini membahas tentang kesimpulan hasil dari perencanaan.

BAB II

GAMBARAN OBJEK PERENCANAAN

2.1 Gambaran Umum Wilayah Perencanaan

Wilayah perencanaan berada di RW 03 Kelurahan Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung. Kawasan ini termasuk dalam bagian hulu Sungai Cikapundung dan berada pada daerah tangkapan yang berhubungan langsung dengan *Intake* Dago Bengkok milik Perumdam Tirtawening Kota Bandung. *Intake* Dago Bengkok merupakan salah satu titik pengambilan air baku yang memanfaatkan aliran Sungai Cikapundung sebagai sumber air untuk diolah pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Badak Singa. Oleh karena itu, kondisi lingkungan di sekitar RW 03 memiliki keterkaitan dengan kualitas air Sungai Cikapundung sebelum memasuki area *intake*.

Secara umum, penggunaan lahan di RW 03 didominasi oleh kawasan permukiman dengan aktivitas utama berupa kegiatan domestik masyarakat. Air limbah domestik yang dihasilkan berasal dari aktivitas rumah tangga di kawasan permukiman tersebut, yang umumnya dialirkan melalui saluran drainase lingkungan menuju alur Sungai Cikapundung. Kondisi eksisting menunjukkan bahwa belum terdapat sistem pengolahan air limbah terpusat di wilayah ini, sehingga pengelolaan masih dilakukan secara individual melalui *septic tank* dan sebagian masuk ke sistem drainase yang terhubung dengan aliran sungai di sekitar kawasan *Intake* Dago Bengkok.

Berdasarkan karakteristik wilayah tersebut, RW 03 Kelurahan Dago dipilih sebagai lokasi perencanaan karena berada pada kawasan permukiman yang memiliki keterkaitan langsung dengan upaya perlindungan kualitas air baku di *Intake* Dago Bengkok. Oleh karena itu, perencanaan ini difokuskan pada perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPALD) sebagai salah satu upaya pengelolaan air limbah domestik di kawasan tersebut.

2.2 Letak Geografis, Batas Wilayah, dan Topografi

Kelurahan Dago merupakan salah satu wilayah administratif yang berada di Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Provinsi Jawa Barat. Secara geografis, wilayah ini terletak sekitar 5 km di sebelah utara pusat Kota Bandung dengan ketinggian berkisar antara 690–730 meter di atas permukaan laut (mdpl). Kelurahan Dago memiliki luas wilayah sekitar 258 hektar dan terbagi ke dalam 13 Rukun Warga (RW) serta 105 Rukun Tetangga (RT).

Adapun batas wilayah administrasi Kelurahan Dago adalah sebagai berikut:

Sebelah Utara	: Kabupaten Bandung
Sebelah Timur	: Kelurahan Cigadung, Kelurahan Sekeloa, dan Kelurahan Lebak Gede
Sebelah Barat	: Sungai Cikapundung, Kelurahan Ciumbuleuit, dan Kecamatan Cidadap
Sebelah Selatan	: Kelurahan Lebak Siliwangi

Secara topografi, Kelurahan Dago didominasi oleh wilayah dengan kontur datar hingga bergelombang dan sebagian memiliki kemiringan lereng yang cukup curam, terutama pada area yang berbatasan dengan wilayah utara Kota Bandung. Kondisi topografi tersebut dipengaruhi oleh letaknya yang berada pada kawasan Bandung Utara. Selain itu, Kelurahan Dago termasuk ke dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) Cikapundung yang memiliki peranan penting dalam sistem hidrologi Kota Bandung. Karakteristik topografi dan pola penggunaan lahan yang didominasi kawasan permukiman menyebabkan kebutuhan pengelolaan air limbah domestik menjadi aspek penting dalam upaya menjaga kualitas lingkungan dan badan air penerima di wilayah tersebut.

2.3 Klimatologi

Kondisi klimatologi iklim pada Kelurahan Dago berada pada wilayah Kota Bandung dipengaruhi oleh letaknya di dataran tinggi sekitar 700 – 800 mdpl dan dikelilingi pegunungan, sehingga udaranya relatif lebih sejuk dan lembap di sepanjang tahun. Suhu udara rata-rata tahunan umumnya berada pada kisaran 19 – 30 °C dengan kelembapan yang cenderung tinggi, serta di dominasi oleh curah

hujan yang besar hampir sepanjang tahun, menjadikan Bandung termasuk dalam kategori iklim tropis lembap dengan intensitas hujan yang signifikan.

Secara umum, pola iklim di Kota Bandung ditandai oleh dua musim utama, yaitu musim hujan dan musim kemarau, yang dipengaruhi oleh dinamika monsun Asia–Australia dan faktor lokal orografis. Musim hujan umumnya terjadi pada periode sekitar November hingga Maret, dengan frekuensi hujan yang tinggi pada siang hingga malam hari, sedangkan musim kemarau berlangsung pada sekitar Juni hingga September, namun masih diselingi hujan akibat pengaruh topografi pegunungan yang menguatkan proses pembentukan awan konvektif.

2.4 Fasilitas Umum

Kelurahan Dago memiliki berbagai fasilitas umum dan sosial sebagai pendukung aktivitas masyarakat dan keberhasilan perencanaan IPAL Domestik Terpusat. Ketersediaan dan kualitas fasilitas yang ada dapat mempengaruhi beban limbah yang perlu diolah oleh sistem IPAL, sehingga perencanaan IPAL perlu memperhitungkan keberadaan fasilitas umum yang ada. Adapun data fasilitas umum di RW 03 Kelurahan Dago dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Data Fasilitas Umum di Kelurahan Dago RW 03

No.	Fasilitas	Bagian	Jumlah
1.	Pendidikan	TK/PAUD	4
		SD	1
		SLTP	1
		SLTA	2
		Perguruan Tinggi	0
		Lembaga Pendidikan Keagamaan	2
2.	Kesehatan	Rumah Sakit	0
		Poliklinik	0
		Puskesmas	0
		Tempat Dokter Praktek	0
		Praktek Bidan	0

No.	Fasilitas	Bagian	Jumlah
3.	Keagamaan	Masjid	8
		Mushola	3
		Gereja Protestan	0
		Gereja Katholik	0
		Vihara	0
		Pura	0
4.	Rekreasi dan Olahraga	Taman	1
		Lapangan Olahraga	4
		Fasilitas Rekreasi	0

Sumber: Kelurahan Dago, 2025

2.5 Hidrologi

Secara hidrologis, kawasan Dago merupakan bagian dari sistem daerah imbuhan air tanah (*recharge area*) yang memiliki peran penting dalam pengisian air tanah di Kota Bandung. Wilayah ini berada pada bagian utara Cekungan Bandung yang memiliki elevasi lebih tinggi, sehingga berfungsi sebagai daerah asal aliran air, baik air tanah maupun air permukaan, yang kemudian mengalir menuju wilayah dengan elevasi lebih rendah di bagian tengah dan selatan kota.

Salah satu komponen utama dalam sistem hidrologi di kawasan ini adalah Sungai Cikapundung, yang melintasi wilayah Dago dan berperan sebagai sungai utama dalam mendukung sistem hidrologi regional. Sungai ini berfungsi sebagai media aliran permukaan sekaligus berkontribusi dalam menjaga keseimbangan siklus hidrologi di wilayah Kota Bandung. Adapun aliran Sungai Cikapundung dapat dilihat pada peta yang disajikan pada bagian berikut.

2.6 Tata Guna Lahan

Menurut informasi yang didapat dari Kelurahan Dago (2025) tata guna lahan di Kelurahan Dago, Kota Bandung, menunjukkan pola lahan yang bervariasi yang dipengaruhi oleh perkembangan perkotaan dan aktivitas ekonomi. Kawasan ini didominasi oleh permukiman yang berkembang seiring dengan meningkatnya kebutuhan hunian akibat pertumbuhan penduduk dan urbanisasi. Selain itu, sepanjang koridor jalan Ir. H. Djuanda berkembang pesat menjadi lahan perdagangan dan jasa seperti kafe, restoran, serta fasilitas pariwisata yang memperkuat peran ekonomi kawasan (Sriyadi, *et al.*, 2025)

Kelurahan Dago juga dikenal sebagai kawasan pendidikan dengan keberadaan berbagai institusi pendidikan tinggi dan fasilitas pendukung lainnya. Pada bagian utara, masih terdapat ruang terbuka hijau dan kawasan konservasi yang berfungsi sebagai daerah resapan air dan penyangga lingkungan. Secara umum, dinamika penggunaan lahan di kawasan ini dipengaruhi oleh pertumbuhan kota yang mendorong perubahan fungsi lahan

2.7 Demografi

Kelurahan Dago merupakan salah satu wilayah di Kecamatan Coblong, Kota Bandung, yang memiliki luas sebesar 2,57 km² dengan jumlah 13 Rukun Warga (RW) dan 105 Rukun Tetangga (RT). Jumlah estimasi penduduk di Kelurahan Dago mencapai 35.917 jiwa dengan didominasi oleh usia produktif, seiring dengan perannya sebagai kawasan pendidikan dan pusat aktivitas ekonomi. Kepadatan penduduk pada Kelurahan Dago mencapai 13.974 jiwa/km², lebih spesifik pada cakupan area perencanaan, wilayah Rukun Warga (RW) 03 Kelurahan Dago memiliki total populasi sebanyak 4.026 jiwa berdasarkan data proyeksi tahun 2025. Jumlah penduduk tersebut mendiami area dengan luas wilayah sekitar 49 hektare (Ha) dengan kepadatan penduduk mencapai 8.216 jiwa/km².

2.7.1 Kondisi Sosial dan Ekonomi

Kelurahan Dago memiliki karakteristik sosial dan ekonomi masyarakat yang beragam, yang tercermin dari variasi jenis pekerjaan dan kegiatan usaha yang berkembang di wilayah tersebut. Aktivitas masyarakat meliputi berbagai sektor,

seperti perdagangan, jasa, pendidikan, serta kegiatan usaha lainnya yang mendukung aktivitas permukiman dan perekonomian lokal. Keberagaman aktivitas tersebut menunjukkan adanya variasi karakteristik sosial ekonomi masyarakat di Kelurahan Dago yang dapat memberikan gambaran mengenai kondisi dan aktivitas penduduk di wilayah perencanaan. Data mengenai jenis usaha dan profesi masyarakat di Kelurahan Dago disajikan pada **Tabel 2.2** berikut.

Tabel 2.2 Mata Pencaharian Penduduk

No.	Jenis Pekerjaan	Keterangan	RW 03
1	Pegawai Swasta	orang	703
2	Pegawai Negeri Sipil	orang	155
3	Pengrajin	orang	4
4	Pedagang	orang	84
5	Penjahit	orang	14
6	Tukang Batu	orang	5
7	Tukang Bangunan	orang	177
8	Peternak	orang	5
9	Montir	orang	14
10	Dokter	orang	20
11	Sopir/Pengemudi	orang	66
12	Pengemudi Online	orang	25
13	TNI	orang	0
14	POLRI	orang	2
15	Pengusaha	orang	48
16	Pensiunan	orang	156
17	Tukang	orang	0
18	Tenaga Honorer	orang	0
19	Dosen/Guru/Pengajar	orang	5
20	Jasa	orang	0
21	BUMN	orang	2
22	Pemulung	orang	55
23	Lain-lain	orang	496

Sumber: Kelurahan Dago, 2025

Tabel 2.3 Jumlah Usaha dan Jasa RW 03

Jenis Usaha	Unit
Koperasi	0
Industri Makanan	12
Industri Mebel	0
Perdagangan	23
Warung Makan	13
Kios Kelontong	10
Bengkel	10
Swalayan	3
Percetakan	2
Salon	0
Laundry	0
Pegadaian	0
Travel	0
Matrrial	0
Jasa	0

Sumber: Kelurahan Dago, 2025

2.7.2 Sanitasi dan Kesehatan Lingkungan

Kondisi demografi Kelurahan Dago yang memiliki tingkat kepadatan penduduk tinggi pada beberapa rukun warga, seperti halnya di permukiman RW 03, menghadirkan tantangan spasial dalam penyediaan infrastruktur sanitasi yang memadai. Keterbatasan ketersediaan lahan di area permukiman padat seringkali mengakibatkan jarak antara sumber air bersih masyarakat dengan fasilitas pembuangan tinja (*septic tank*) tidak memenuhi standar jarak aman minimal. Kondisi ini berpotensi tinggi memicu rembesan dan kontaminasi bakteri patogen seperti *Escherichia coli* pada sumber air tanah dangkal.

Lebih lanjut, kualitas infrastruktur sanitasi berkorelasi langsung dengan angka kesakitan (morbiditas) penyakit berbasis lingkungan. Sistem penyaluran limbah buangan yang tidak saniter atau langsung dibuang ke saluran drainase (sungai) dapat menjadi vektor penyebaran berbagai penyakit menular seperti diare, tifus, dan infeksi. Sebagai wilayah yang mengkombinasikan aktivitas permukiman padat, pendidikan, dan pariwisata komersial, peningkatan kualitas sarana sanitasi lingkungan di Kelurahan Dago bukan sekadar pemenuhan standar infrastruktur fisik. Upaya ini merupakan intervensi preventif secara epidemiologis untuk

meningkatkan kesehatan masyarakat, mewujudkan lingkungan hunian yang berkelanjutan, serta menjaga kelestarian ekosistem tata air di wilayah utara Kota Bandung.

Tabel 2.4 Pengguna *Septic Tank* Kelurahan Dago

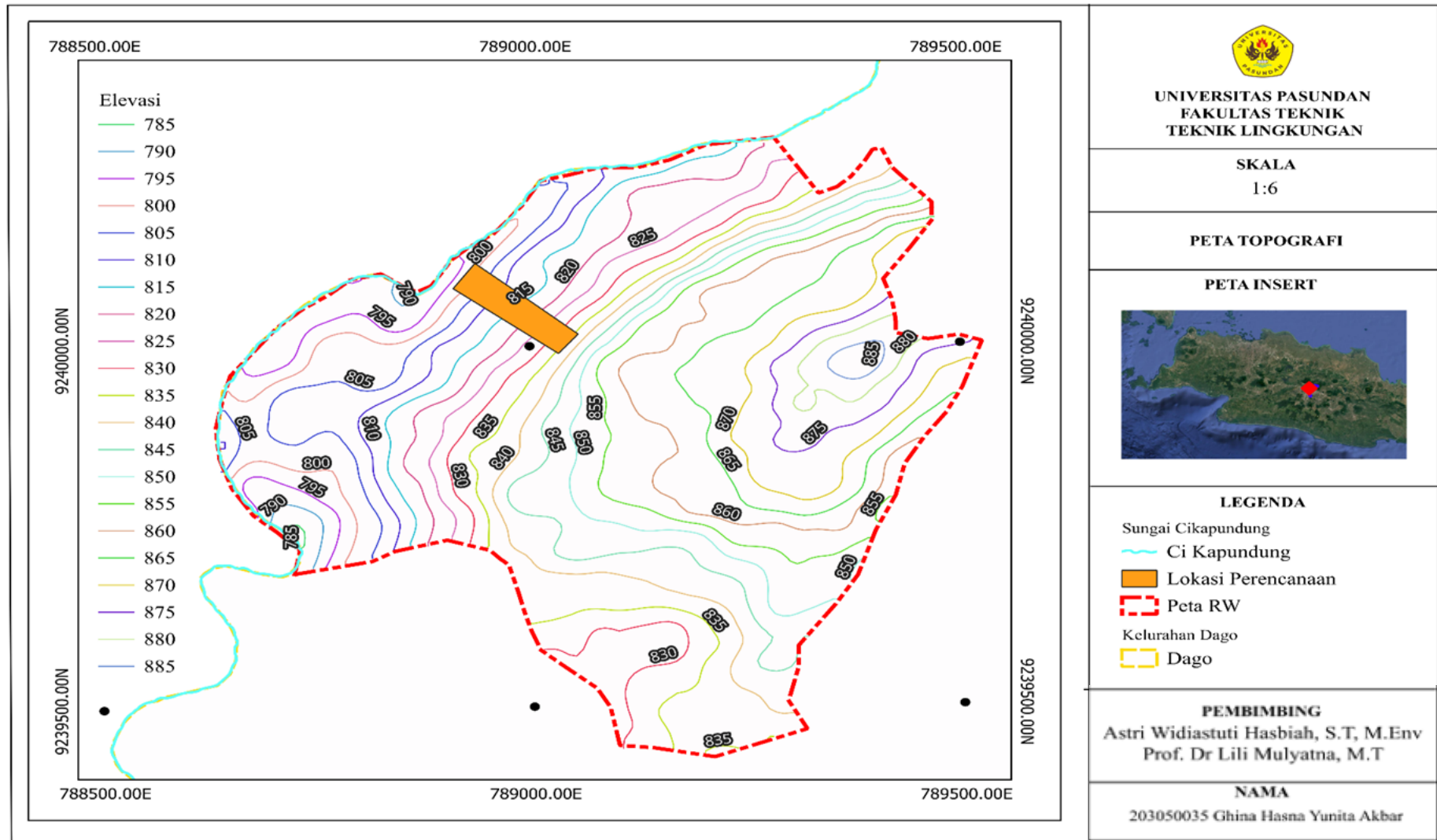
RW	Rumah Pengguna Septic Tank	Septic Tank Komunal	
	Jumlah/Unit	Jumlah/Unit	KK
1	47	0	0
2	320	0	0
3	824	1	30
4	416	0	0
5	220	0	0
6	201	0	0
7	45	0	0
8	60	0	0
9	101	0	0
10	270	0	0
11	258	0	0
12	789	0	0
13	341	25	0
Jumlah	33892	26	30

Sumber: Kelurahan Dago, 2025

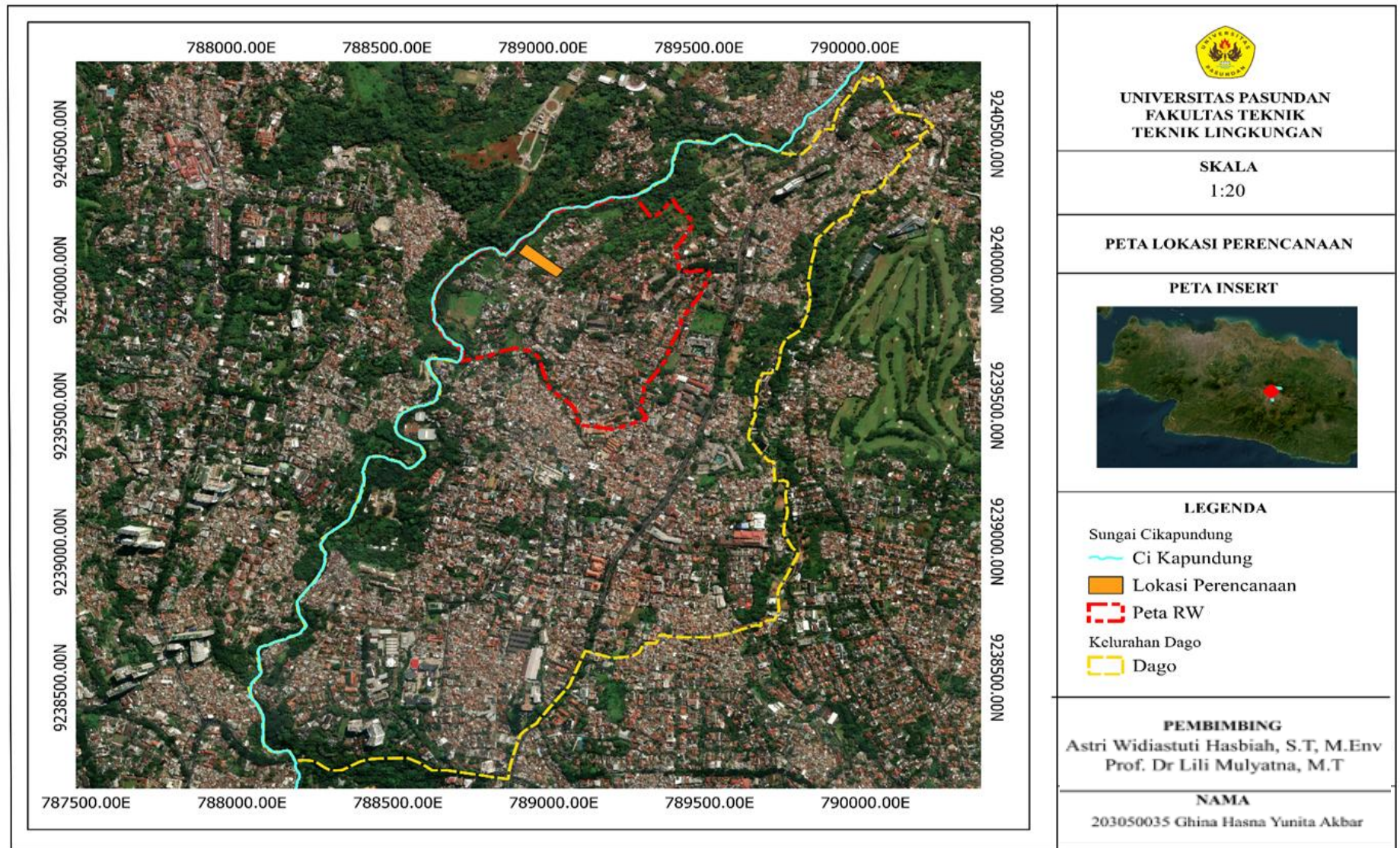
Tabel 2.5 Fasilitas Air Bersih dan TPS Pada RW 03

Fasilitas	Bagian	Jumlah
Penyediaan Air Bersih	Sumur Gali	45
	Sumur Pompa	50
	Hidrant	0
	PDAM	738
	Mata Air	0
Tempat Pembuangan Sampah	TPS Umum	1
	Bank Sampah	0
	Pengolahan lainnya	9

Sumber: Kelurahan Dago, 2025



Gambar 2.1 Peta Topografi RW 03 Kelurahan Dago



Gambar 2.2 Peta Administrasi Kelurahan Dago

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Air Limbah Domestik

3.1.1 Pengertian Air Limbah Domestik dan Non Domestik

Secara umum, air limbah diklasifikasikan menjadi dua kategori utama berdasarkan sumber dan karakteristiknya, yaitu air limbah domestik dan non-domestik. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.68 Tahun 2016, air limbah domestik didefinisikan sebagai air limbah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air, yang meliputi kawasan permukiman, perkantoran, perniagaan, rumah makan, apartemen, hingga fasilitas umum. Limbah domestik ini umumnya terbagi menjadi dua jenis utama, yakni *black water* dan *greywater*.

Sementara itu, air limbah non-domestik merupakan air limbah yang dihasilkan oleh suatu kegiatan usaha dan/atau kegiatan industri, pabrik, fasilitas pelayanan kesehatan, pertanian, maupun pertambangan, yang bersumber dari proses utama atau penunjang di luar aktivitas kehidupan sehari-hari (aktivitas domestik). Berbeda dengan limbah domestik, air limbah non-domestik memiliki karakteristik yang jauh lebih kompleks dan bervariasi, serta sering kali mengandung senyawa kimia sintetis, logam berat, atau limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang memerlukan penanganan serta standar teknologi pengolahan khusus sebelum dibuang ke lingkungan perairan.

3.1.2 Sumber Pencemar Air Limbah

Klasifikasi sumber pencemar air dapat dibedakan menjadi dua sumber, yaitu:

1. Sumber Tertentu (*Point Sources*)

Sumber Tertentu (*Point Sources*) merupakan sumber-sumber pencemar air yang dapat ditentukan lokasinya dengan tepat atau satu titik saluran pembuangan. Sumber pencemar air yang berasal dari

sumber tertentu antara lain seperti kegiatan industri dan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Terpadu (IPALD). Data pencemaran air dari sumber tertentu biasanya diperoleh dari informasi yang dikumpulkan dan dihasilkan pada tingkat kegiatan melalui pengukuran langsung dari *effluen* atau melalui penggunaan metode untuk memperkirakan atau menghitung besar pencemaran air. Data-data yang dibutuhkan untuk di inventarisasi sumber pencemar tertentu, yaitu:

- Klasifikasi jenis penghasil limbah seperti kategori jenis usaha atau kegiatan.
- Data pencemar spesifik yang dibuang seperti jumlah beban pencemar yang terukur atau perkiraan yang dibuang ke air dalam massa per unit waktu.
- Informasi lokasi dan jenis pencemar khusus yang dibuang seperti jenis industri tertentu disuatu daerah yang menghasilkan beberapa jenis pencemar spesifik.

2. Sumber Tak Tentu (*Area/Diffuse Sources*)

Sumber Tak Tentu (*Area/Diffuse Sources*) adalah jenis sumber pencemar air yang tidak memiliki lokasi pelepasan limbah yang spesifik dan tidak dapat ditentukan hanya dari satu titik pembuangan. Karakteristik utamanya adalah bersifat menyebar dan berasal dari berbagai aktivitas yang tersebar luas di suatu wilayah. Contoh utama dari sumber tak tentu meliputi aktivitas pertanian, peternakan, permukiman, industri kecil dan menengah (IKM), serta aliran permukaan dari kawasan perkotaan yang bermuara ke badan air seperti sungai. Limbah dari aktivitas-aktivitas tersebut biasanya masuk ke sistem perairan melalui aliran permukaan (*runoff*), rembesan tanah, atau saluran tidak terstruktur

Davis dan Cornwell (1991) mengklasifikasikan beragam jenis polutan beserta sumber pencemarannya, sebagaimana ditunjukkan dalam **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Diversitas Jenis dan Sumber Pencemaran

No.	Jenis Pencemar	Sumber Tertentu		Sumber Tak Tentu	
		Limbah Domestik	Limbah Industri	Limpasan Daerah Pertanian	Limpasan Daerah Perkotaan
1	Limbah penyebab penurunan kadar oksigen	√	√	√	√
2	Nutrien	√	√	√	√
3	Patogen	√	√	√	√
4	Sedimen	√	√	√	√
5	Garam-garam	-	√	√	√
6	Logam toksik	-	√	-	√
7	Bahan organik yang toksik	-	√	√	-
8	Pencemaran panas	-	√	-	-

Sumber: Davis dan Cornwell, 1991

3.1.3 Karakteristik Air Limbah Domestik

Menurut Gross (2015) dalam Maliga *et al.* (2021) ditulis bahwa air limbah domestik dibedakan menjadi 2 jenis yaitu *greywater* dan *blackwater*. *Greywater* merupakan air limbah yang terdiri atas air bekas mandi, air cucian, dan air yang berasal dari dapur. Polutan kimia baik organik maupun anorganik pada *greywater* berasal dari deterjen, *shampoo*, sabun, lemak, dan bahan-bahan lain. *Greywater* merupakan komponen utama dalam limbah domestik yang dapat menimbulkan permasalahan lingkungan serius karena jumlahnya mencapai sekitar 70% dari total air limbah rumah tangga. Air limbah jenis ini mengandung berbagai zat pencemar, seperti nutrisi (nitrogen, fosfor, dan kalium), logam berat, serta mikroorganisme patogen yang berpotensi membahayakan kesehatan dan lingkungan (Shankhwar *et al.*, 2015).

Blackwater merupakan jenis air limbah domestik yang berasal dari buangan toilet, yang mengandung tinja (*feces*) dan air seni (*urine*). Limbah ini memiliki karakteristik konsentrasi bahan organik yang sangat tinggi serta menjadi

sumber utama keberadaan mikroorganisme patogen dan bakteri koli di dalam air limbah. Karena kandungan polutannya yang kompleks, *blackwater* memerlukan pengolahan primer yang intensif, seperti melalui tangki septik, untuk mendegradasi beban organik sebelum dialirkan ke unit pengolahan lanjutan (Metcalf & Eddy, Inc, et al., 2014).

Pertumbuhan permukiman di Kota Bandung turut meningkatkan beban pencemar, khususnya bahan organik. Kondisi ini diperparah oleh praktik pembuangan air limbah domestik secara langsung ke badan air tanpa pengolahan yang memadai. Meskipun konsentrasi polutan pada masing-masing sumber relatif rendah, akumulasi dari berbagai sumber dapat menyebabkan peningkatan tingkat pencemaran yang signifikan, sehingga berdampak negatif terhadap kualitas tanah dan air permukaan (Kivaisi, 2001)

3.1.4 Parameter Kualitas Air Limbah Domestik

Parameter air limbah domestik dibagi menjadi beberapa kategori yang dapat dibedakan berdasarkan jenisnya, yaitu:

A. Karakteristik Fisika

Karakteristik fisika adalah karakteristik yang dapat diamati secara langsung berdasarkan perubahan sifat fisik pada air limbah. Adapun parameter yang termasuk ke dalam karakteristik fisika yaitu:

- Suhu/Temperatur
Suhu air limbah menunjukkan tingkat panas atau dingin yang terkandung dalam air limbah. Parameter ini berperan penting dalam memengaruhi aktivitas dan kelangsungan hidup organisme yang terdapat di dalamnya. Peningkatan suhu air limbah dapat menyebabkan penurunan konsentrasi oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) sehingga berpotensi memicu proses pembusukan secara lebih cepat.
- *Total Suspended Solid* (TSS)
Total Suspended Solid atau TSS adalah padatan yang tersuspensi dalam air yang berupa bahan-bahan organik maupun anorganik yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal

atau lebih besar dari ukuran partikel keloid. TSS dapat menyebabkan kekeruhan pada air, endapan lumpur, dan kondisi yang anaerobik apabila limbah tidak diolah dan langsung dibuang ke badan air. Pemeriksaan parameter Total Suspended Solids dilaksanakan menurut SNI 6989.3:2019 tentang cara uji padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solids*) secara gravitasi.

- Debit

Debit air limbah merupakan jumlah dari pemakaian air bersih setiap harinya (Rahmawati, Narto, & Mulyaningsih, 2021). Debit air limbah domestik merupakan jumlah volume air limbah yang dihasilkan dari kegiatan domestik seperti mencuci, mandi, memasak dan lain-lainnya.

B. Karakteristik Kimia

- pH

pH merupakan parameter yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Nilai pH dapat ditentukan secara potensiometri menggunakan alat ukur pH meter. Secara teoritis, pH didefinisikan sebagai negatif logaritma dari aktivitas ion hidrogen (H^+) yang terlarut dalam suatu larutan. Oleh karena itu, nilai pH digunakan sebagai indikator untuk menggambarkan konsentrasi ion hidrogen pada lingkungan perairan. Pengukuran parameter pH dilakukan berdasarkan SNI 6989.11:2019 tentang metode pengujian derajat keasaman (pH) menggunakan pH meter, dengan prosedur sebagai berikut:

- *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan jumlah oksigen yang digunakan dalam mendegradasi bahan organik yang terkandung di dalam air melalui proses kimiawi. Besarnya angka BOD tersebut menunjukkan jika keberadaan zat organik yang ada pada air berada dalam jumlah yang besar. Organik-organik tersebut mengubah oksigen menjadi karbondioksida dan air

sehingga perairan akan mengalami kekurangan oksigen (Saputri, *et al.* 2023).

- *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

Biochemical Oxygen Demand (BOD) merupakan gambaran kadar bahan organik yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba aerob untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbondioksida dan air (Davis dan Cornwell, 1991). BOD mengindikasikan tingkat bahan organik yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Semakin tinggi nilai BOD maka mengindikasikan kebutuhan jumlah oksigen yang diperlukan, sehingga menandakan tingkat pencemaran organik yang tinggi, seperti yang berasal dari sisa makanan, kotoran hewan, maupun limbah domestik. (Green Chemicals Indonesia, 2024).

- *Minyak dan Lemak*

Minyak dan lemak merupakan suatu polutan organik *nonbiodegradable* atau polutan yang sulit diuraikan oleh mikroorganisme. Minyak dan lemak memiliki berat jenis yang lebih kecil dari air sehingga apabila berada dalam air minyak dan lemak akan membentuk lapisan tipis di permukaan air. Minyak dan lemak menyebabkan penetrasi sinar matahari dan masuknya oksigen dari udara ke air menjadi terganggu sehingga aktivitas biologis di dalam air terganggu (Faradillah & Pujiastuti, 2022). Pemeriksaan parameter minyak dan lemak dilaksanakan menurut SNI 6989.10:2011 tentang cara uji minyak nabati dan minyak mineral secara gravimetri.

- *Amoniak (NH₃)*

Amoniak adalah senyawa nitrogen yang dapat berubah menjadi NH₄⁺ pada pH rendah yang disebut dengan amonium. Amoniak yang ditemukan pada air permukaan berasal dari tinja dan penguraian zat organik secara mikrobiologis yang berasal dari alam, limbah industri maupun limbah domestik (Area, 2022). Amoniak berupa gas yang memiliki bau tajam dan berbahaya bagi

manusia dan makhluk hidup yang ada di sekitarnya karena bersifat racun apabila melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Pemeriksaan parameter amonia dilaksanakan menurut SNI 066989.30:2005 tentang cara uji kadar amonia dengan *spektrofotometer* secara fenat.

C. Karakteristik Biologi

Bakteri *coliform* merupakan salah satu bakteri patogenik sehingga keberadaannya lazim ditemukan di air, keberadaan bakteri tersebut menentukan bahwa air atau sampel terkontaminasi oleh bakteri patogen atau tidak. Keberadaan bakteri tersebut biasanya disebabkan oleh cemaran dan kebanyakan bakteri coliform berada di dalam usus manusia dan hewan. Kelompok bakteri ini berbentuk batang, bergram negative, tidak memiliki spora dan dapat memfermentasi laktosa sehingga menghasilkan asam dan gas pada suhu 37° celcius dengan waktu tidak lebih dari 48 jam. Bakteri *coliform* ada dua macam yaitu *fecal* dan *non fecal*. *Coliform fecal* merupakan bakteri yang berasal dari kotoran manusia, seperti *Eschericia Coli* yang dapat menyebabkan gangguan saluran cerna seperti diare. (Kurahman, *et al.* 2022).

3.1.5 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2025 tentang Baku Mutu Air Limbah Dan Standar Teknologi Pengolahan Air Limbah Untuk Air Limbah Domestik. Baku mutu air limbah merupakan ukuran batas atau kadar dari suatu unsur pencemar atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya pada air limbah yang akan dilepas ke sumber air dari suatu usaha atau kegiatan. Apabila jumlah pencemar yang terdapat pada air limbah domestik melebihi batas maksimum baku mutu yang telah ditetapkan, maka perlu untuk dilakukan pengolahan terhadap air limbah domestik sebelum dilepaskan ke lingkungan (Dewi dkk., 2019). Baku mutu air limbah domestik dapat dilihat pada **Tabel 3.2** berikut ini:

Tabel 3.2 Air Limbah Nonkakus, Atau Gabungan Air Limbah Kakus Dengan Air Limbah Nonkakus dan Dibuang Ke Media Air

Parameter	Satuan	Kadar Paling Tinggi		
		Klasifikasi (berdasarkan volume Air Limbah Domestik yang dihasilkan dalam m ³ /hari)		
		x > 50	3 < x ≤ 50	≤ 3
Tingkat Keasaman (pH*)	-	6 - 9	6 - 9	6 - 9
BOD	mg/l	30	50	75
COD	mg/l	100	100	
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/l	30	50	
Amonia (NH ₃ N)	mg/l	10	20	
Deterjen Total***	mg/l	5	10	
Minyak dan Lemak	mg/l	5	10	10
Sisa khlorin		1	1**	1**
Salmonela	-	Negatif	Negatif	
Shigela	-	Negatif	Negatif	
Vibrio cholera	-	Negatif	Negatif	
Streptococcus	-	Negatif	Negatif	
Fecal coliform	MPN/100ml	1.000	1.000	1.000

Sumber: PerMenLH/BPL No. 11 Tahun 2025

Keterangan:

x = volume Air Limbah Domestik yang dihasilkan.

*) = diukur langsung pada titik penataan.

**) = khusus Pengolahan Air Limbah Domestik pada Fasilitas Pelayanan Kesehatan yang tidak mengolah limbah bahan berbahaya dan beracun dan telah melakukan standar operasional prosedur pengelolaan Air Limbah sesuai peraturan perundang-undangan.

***) = sebagai surfactant anionic (MBAS), khusus untuk kegiatan yang melakukan kegiatan pencucian atau laundry.

3.2 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 04/PRT/M/2017 Tentang Penyelenggaraan

Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik menyebutkan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik yang selanjutnya disingkat SPALD adalah serangkaian kegiatan pengelolaan air limbah domestik dalam satu kesatuan dengan prasarana dan sarana pengelolaan air limbah domestik. Penyelenggaraan SPALD bertujuan untuk melindungi kesehatan masyarakat, mencegah pencemaran lingkungan, serta meningkatkan kualitas sumber daya air melalui pengelolaan air limbah domestik yang memenuhi persyaratan teknis, lingkungan, dan kelembagaan.

Dalam penyelenggaraannya, SPALD tidak hanya mencakup bangunan pengolahan air limbah, tetapi juga meliputi sistem pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, pembuangan efluen, serta pengelolaan lumpur hasil pengolahan. Oleh karena itu, SPALD merupakan suatu sistem yang terintegrasi, di mana setiap komponen saling mendukung untuk menghasilkan pengelolaan air limbah domestik yang efektif dan berkelanjutan

3.2.1 Konsep Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik

Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik (SPALD) merupakan suatu rangkaian kegiatan terpadu yang mencakup prasarana dan sarana penampungan, pengumpulan, pengangkutan, hingga pengolahan air buangan yang berasal dari aktivitas harian manusia, baik dari sektor permukiman, perkantoran, fasilitas komersial, maupun fasilitas umum (Kementerian PUPR, 2017). Berdasarkan arah kebijakan teknisnya, konsep SPALD diklasifikasikan ke dalam dua pendekatan utama, yakni SPALD Setempat (SPALD-S) yang mengandalkan pengolahan di lokasi sumber melalui tangki septik dan penyedotan lumpur tinja berkala, serta SPALD Terpusat (SPALD-T) yang mengalirkan air limbah secara kolektif menggunakan jaringan perpipaan terpadu menuju Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) sebelum dilepaskan kembali ke lingkungan (Destirani, 2018). Integrasi komponen-komponen ini bertujuan untuk menjamin efektivitas reduksi beban pencemaran organik demi tercapainya kualitas lingkungan perairan yang aman, sehat, dan berkelanjutan.

3.2.2 Klasifikasi Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik

Berdasarkan karakteristik wilayah, kepadatan penduduk, serta aspek teknis penanganannya, Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik (SPALD) diklasifikasikan ke dalam dua pendekatan utama. Klasifikasi ini dirancang untuk memberikan fleksibilitas dalam pemilihan teknologi pengolahan air buangan, baik yang dilakukan langsung di sumbernya maupun yang dikumpulkan secara kolektif melalui jaringan perpipaan skala kawasan atau perkotaan (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017).

3.2.2.1 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Setempat (SPALD-S)

Sistem pengolahan *on-site* atau sistem setempat merupakan konsep pengolahan air limbah di mana lokasi unit pengolahan berada di dalam persil tanah atau pekarangan yang sama dengan sumber penghasil air limbah tersebut. Penerapan sistem ini paling banyak dijumpai pada skala rumah tangga tunggal atau bangunan komersial mandiri melalui penggunaan tangki septik konvensional (US EPA, 2002). Menurut Peraturan Daerah Kota Bandung Nomor 2 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik disebutkan bahwa, “Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Setempat (SPALD-S) adalah sistem pengelolaan yang dilakukan dengan mengolah air limbah domestik di lokasi sumber, yang selanjutnya lumpur hasil olahan diangkut dengan sarana pengangkut ke sub-sistem pengolahan lumpur tinja.” SPALD-S dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

- a. SPALD-S skala komunal, diperuntukkan dua sampai sepuluh unit rumah tinggal dan/atau bangunan; dan/atau Mandi Cuci Kakus (MCK).
- b. SPALD-S skala individual yang diperuntukkan satu unit rumah tinggal.

3.2.2.2 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T)

Sistem pengolahan terpusat merupakan konsep pengelolaan air limbah di mana seluruh air limbah yang dihasilkan dari wilayah perkotaan dikumpulkan melalui jaringan perpipaan interseptor bawah tanah skala besar untuk dialirkan menuju satu lokasi Instalasi Pengolahan Air Limbah atau IPAL induk Menurut

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia 7 tahun 2017, sistem pengelolaan air limbah domestik adalah serangkaian kegiatan pengelolaan air limbah domestik dalam satu kesatuan dengan prasarana dan sarana pengelolaan air limbah domestik. Pengelolaan air limbah domestik terbagi menjadi 2 yaitu Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Setempat (SPALD-S) dan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T). Cakupan pelayanan SPALD-T terdiri atas:

- a. Skala perkotaan, untuk lingkup perkotaan dan/atau regional dengan dengan minimal layanan 20.000 jiwa.
- b. Skala permukiman, untuk lingkup permukiman dengan layanan 50 – 20.000 jiwa.
- c. Skala kawasan tertentu, untuk kawasan komersial dan kawasan rumah susun.

Adapun kelebihan sistem pengolahan terpusat yaitu:

- Pelayanan yang lebih nyaman
- Menampung semua air limbah domestik
- Pencemaran pada tanah dan lingkungan dapat dihindari
- Cocok pada daerah dengan kepadatan tinggi
- Masa umur pemakaian dapat lebih lama

Kekurangan sistem pengolahan terpusat:

- Memerlukan pembiayaan yang tinggi
- Memerlukan tenaga yang terampil untuk operasional dan pemeliharaan
- Memerlukan perencanaan dan pelaksanaan untuk jangka panjang.

3.2.3 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) merupakan metode yang digunakan dalam peralatan dan perlengkapan yang dibuat khusus dalam mengolah air limbah sisa pemakaian, sehingga air yang diolah dalam IPAL dapat kembali layak sebelum dibuang ke lingkungan. Tujuan dari pembuatan IPAL adalah menampung air limbah untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut yang berupa menyaring, menurunkan kontaminasi zat yang memiliki potensi dalam mencemari,

agar air limbah aman dan sesuai dengan baku mutu untuk dibuang ke badan air (Belladona, Nasir, & Agustomi, 2019).

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 04 Tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, “Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik yang selanjutnya disingkat IPAL-D adalah bangunan air yang berfungsi untuk mengolah air limbah domestik.” IPAL memiliki manfaat yaitu untuk mengelola limbah yang mengandung bahan kimia yang dapat mencemari lingkungan. Sedangkan instalasi untuk pengolahan air limbah itu sendiri, memiliki tiga tahapan pengolahan yaitu *primary treatment*, *secondary treatment*, dan pengolahan lumpur.

3.3 Teknologi Pengolahan Air Limbah Domestik

Teknologi pengolahan air limbah domestik pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) umumnya dirancang melalui serangkaian tahapan proses yang beruntun dan terintegrasi. Tujuan utama dari penerapan tahapan teknologi ini adalah untuk menurunkan konsentrasi polutan, baik fisik, kimia, maupun biologis, secara bertahap hingga air olahan (*effluen*) memenuhi standar baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan sebelum dibuang ke badan air penerima. Secara umum, tahapan pengolahan air limbah diklasifikasikan ke dalam empat tingkatan utama sebagai berikut:

3.3.1 Sistem Pengolahan Pendahuluan (*Preliminary Treatment*)

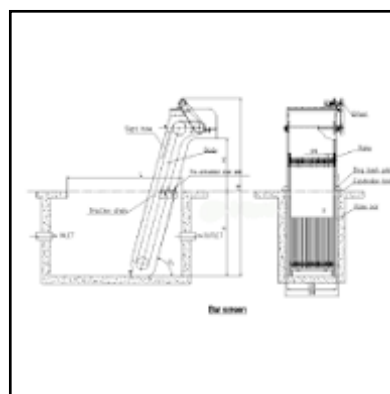
Sistem pengolahan pendahuluan (*preliminary treatment*) merupakan tahap awal dalam rangkaian proses pengolahan air limbah yang bertujuan untuk mempersiapkan air limbah sebelum memasuki unit pengolahan utama. Pada tahap ini dilakukan penyisihan berbagai material yang berpotensi mengganggu proses pengolahan berikutnya, seperti sampah kasar, padatan anorganik, minyak dan lemak, serta fluktuasi debit yang dapat memengaruhi kinerja unit pengolahan. Dengan demikian, pengolahan pendahuluan berfungsi sebagai perlindungan awal terhadap unit-unit pengolahan selanjutnya agar dapat beroperasi secara optimal.

Secara konseptual, sistem pengolahan pendahuluan tidak ditujukan untuk menurunkan konsentrasi bahan pencemar organik secara signifikan, melainkan

berfokus pada pengondisian karakteristik influen sehingga proses pengolahan primer, sekunder, maupun lanjutan dapat berlangsung secara lebih stabil dan efisien. Tahap ini juga berperan dalam mengurangi potensi penyumbatan pada jaringan perpipaan, meminimalkan kerusakan peralatan, serta menekan kebutuhan operasi dan pemeliharaan instalasi pengolahan air limbah. Berikut merupakan unit-unit yang termasuk dalam sistem pengolahan pendahuluan (*preliminary treatment*) pada instalasi pengolahan air limbah domestik:

3.3.1.1 *Bar Screen*

Sebagai langkah awal dalam pengolahan fisik (*primary treatment*), unit *screening* digunakan untuk menahan padatan kasar yang terbawa dalam aliran air limbah. Jika tidak dipisahkan, material tersebut berpotensi merusak infrastruktur pengolahan lanjutan, menurunkan efektivitas sistem, hingga mengotori saluran pembuangan. Jenis saringan yang kerap diimplementasikan pada IPAL meliputi saringan kasar dan saringan halus. Opsi dimensi bukaan kisi pada unit ini sendiri terbagi menjadi tiga, antara lain saringan kasar dengan ukuran selebar 6–150 mm, saringan kecil dengan ukuran kurang dari 0,5 mm, serta saringan halus yang berukuran di bawah 6 mm. Iustrasi unit penyaringan disajikan dalam **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 *Bar Screen*

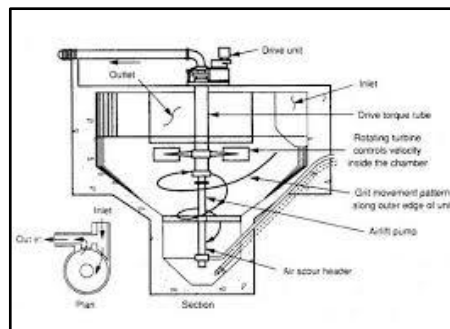
Sumber: <https://sl1nk.com/dc8zw5h>

3.3.1.2 *Grit Chamber*

Grit Chamber atau bak perangkap pasir, merupakan pemisah padatan secara sentrifugal. *Grit chamber* dirancang untuk menghilangkan padatan partikel

seperti pasir, kerikil, abu atau bahan padat besar lainnya yang memiliki kecepatan atau gravitasi spesifik yang jauh lebih besar dibandingkan dengan padatan organik yang dapat membusuk pada air limbah. *Grit chamber* umumnya terletak setelah *bar screen* dan sebelum *primary sedimentation tanks*. Pada beberapa instalasi, *grit chamber* terletak pada fasilitas screening/penyaringan. *Grit chamber* dibagi menjadi tiga tipe yaitu aliran horizontal dengan bentuk aliran persegi panjang atau persegi, aliran aerasi dan tipe pusaran.

Pada tipe aliran horizontal aliran melewati *chamber* pada arah horizontal dan kecepatan aliran lurus yang dikendalikan oleh dimensi unit, gerbang influen dan bendungan di ujung limbah. Pada tipe aerasi terdiri dari tangki aerasi aliran spiral dimana kecepatan induksi dan dikontrol oleh dimensi tangki dan kuantitas udara yang disuplai ke unit. Pada tipe aliran pusaran terdiri dari tangki silinder dimana aliran masuk secara berputar-putar menciptakan pola aliran yang spiral, dimana gaya sentrifugal dan gravitasi akan menyebabkan pasir terpisah. Adapun gambar *grit chamber* dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



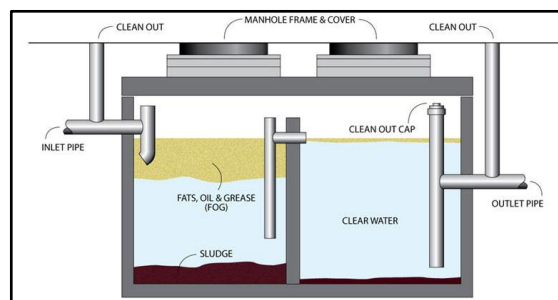
Gambar 3.2 Grit Chamber

Sumber: <https://prosiding.unimus.ac.id/index.php/semnas/article/download/1795/1800>

3.3.1.3 Grease Trap

Dalam sistem pengelolaan air limbah domestik, khususnya yang bersumber dari aktivitas dapur, kantin, restoran, maupun fasilitas komersial, penerapan unit pengolahan awal seperti *grease trap* (perangkap minyak dan lemak) memiliki peranan yang penting. *Grease trap* merupakan wadah atau bak pemisah mekanis yang dirancang khusus untuk menahan serta menjebak minyak, lemak, dan sampah padat ringan agar tidak ikut terbawa masuk ke dalam jaringan perpipaan pengumpul atau tangki septik. Berdasarkan standar teknis pengelolaan air limbah, pemasangan

grease trap bertujuan untuk mencegah terjadinya penyumbatan (*clogging*) pada pipa akibat pembekuan lemak, menghindari gangguan pada proses biologis di unit pengolahan lanjutan akibat lapisan minyak yang menghambat transfer oksigen, serta melindungi infrastruktur sanitasi dari kerusakan dini. Prinsip kerja alat ini memanfaatkan perbedaan massa jenis, di mana minyak dan lemak yang memiliki berat jenis lebih ringan daripada air akan mengapung di permukaan bak sekat, sementara air limbah yang relatif bersih di bagian bawah dapat mengalir secara kontinu ke saluran pembuangan berikutnya.

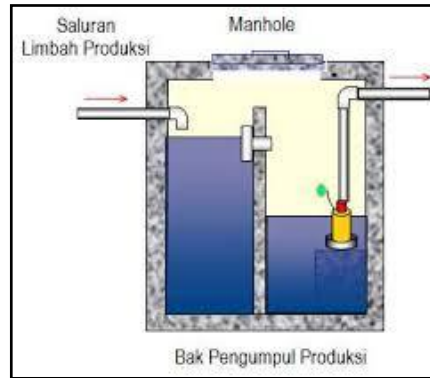


Gambar 3.3 Grease Trap

Sumber: <https://mahoneyes.com/services/grease-traps/how-grease-traps-work/>

3.3.1.4 Bak Pengumpul

Dalam sistem pengelolaan air limbah domestik terpusat (SPALD-T), bak pengumpul atau yang sering disebut sebagai *collection tank* maupun stasiun pompa (*lift station*) merupakan infrastruktur yang berfungsi untuk menampung sementara air limbah yang mengalir dari jaringan perpipaan pengumpul sebelum dialirkan lebih lanjut menuju Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Berdasarkan standar perancangan prasarana sanitasi, bak pengumpul umumnya ditempatkan pada titik-titik di mana elevasi saluran gravitasi sudah terlalu rendah atau untuk meratakan fluktuasi debit air limbah yang masuk akibat variasi aktivitas harian masyarakat. Unit ini biasanya dilengkapi dengan *bar screen* mekanis serta sistem pemompaan (*pumping system*) untuk mengangkat air limbah ke elevasi yang lebih tinggi sekaligus mencegah masuknya material kasar atau padatan besar yang dapat merusak peralatan di unit pengolahan berikutnya.

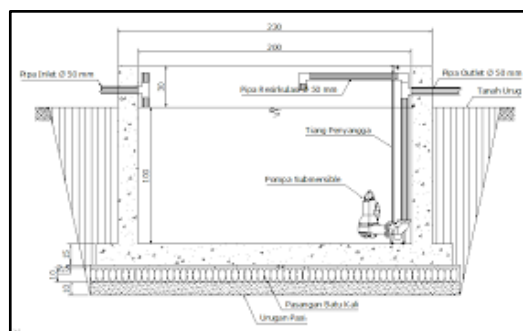


Gambar 3.4 Bak Pengumpul

Sumber: <https://sl1nk.com/65vt8ps>

3.3.1.5 Bak Ekualisasi

Bak Ekualisasi merupakan bak penampungan yang berfungsi sebagai bak pengumpul untuk meminimalkan dan mengendalikan fluktuasi aliran dari inlet. Pada bak ekualisasi, air limbah yang semula heterogen dikumpulkan hingga menjadi homogen. Dari bak pengumpul, setelahnya air limbah homogen akan dialirkan menuju bak pengendap 1 atau bak *primary* sedimentasi (Mubin, Binilang, & Halim, 2016). Adapun gambar bak ekualisasi dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.



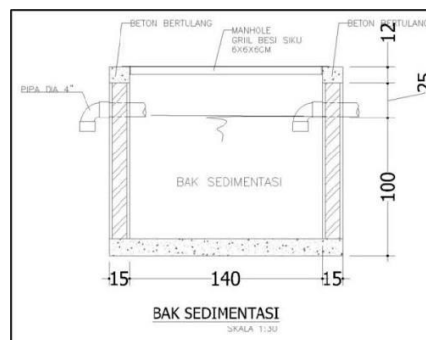
Gambar 3.5 Bak Ekualisasi

Sumber: <https://klik.now/vjjR>

3.3.2 Sistem Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)

Pengolahan primer (*primary treatment*) merupakan tahap awal pengolahan air limbah yang bertujuan untuk memisahkan komponen padatan dari fase cair melalui proses penyaringan dan pengendapan. Penyisihan padatan dapat dilakukan dengan metode sedimentasi maupun flotasi. Pada proses sedimentasi, kecepatan aliran air limbah diperlambat sehingga partikel-partikel padat, seperti pasir dan

bahan organik yang memiliki berat jenis lebih besar dari air, dapat mengendap di dasar bak. Endapan yang terbentuk perlu dikeluarkan secara berkala untuk menjaga efektivitas dan kapasitas unit pengolahan. Sementara itu, proses flotasi dilakukan dengan memanfaatkan gelembung gas yang meningkatkan gaya apung partikel padat sehingga partikel tersebut naik ke permukaan dan dapat dipisahkan dari air limbah. Tahap pengolahan primer berperan dalam menurunkan konsentrasi padatan tersuspensi (*Total Suspended Solids/TSS*) dan kebutuhan oksigen biologis (*Biochemical Oxygen Demand/BOD*), sehingga beban pencemar yang masuk ke unit pengolahan berikutnya dapat berkurang. Gambar proses *primary treatment* dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.

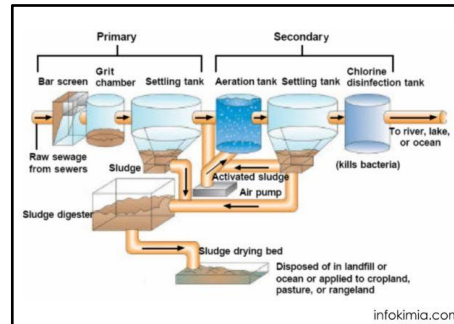


Gambar 3.6 Bak Pengendap (Persegi Panjang)

Sumber: <https://e-journal.ukri.ac.id/index.php/arcade/article/download/3873/1012>

3.3.3 Sistem Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

Pengolahan sekunder (*secondary treatment*) merupakan tahapan biologis yang bertujuan untuk mereduksi konsentrasi beban organik serta nutrisi seperti nitrogen dan fosfor di dalam air limbah. Proses ini mengandalkan aktivitas mikroorganisme untuk mendegradasi dan menstabilkan zat organik serta menyisihkan padatan koloid. Bergantung pada ketersediaan oksigen, metabolisme mikroorganisme dalam menguraikan polutan tersebut dapat berlangsung dalam kondisi aerobik, anaerobik, maupun fakultatif (Al Kholif, 2020). Melalui tahapan sekunder ini, efisiensi penyisihan parameter *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dapat mencapai 90–95% sekaligus mereduksi sebagian besar keberadaan bakteri patogen.



Gambar 3.7 Secondary Treatment

Sumber: <https://cikoneng-ciamis.desa.id/Indonesia/pengolahan-limbah-cair-industri>

Pengolahan sekunder yang berbasis pada proses biologis dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis reaktor utama, yaitu:

1. Reaktor Pertumbuhan Tersuspensi (*Suspended Growth Reactor*)

Merupakan sistem pengolahan yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme tersuspensi di dalam cairan reaktor untuk mendegradasi polutan air limbah (Pradana, 2023). Agar proses pengolahan berjalan efektif, mikroorganisme dipelihara dalam media cair dengan pengadukan atau pencampuran yang konstan, serta dapat dioperasikan pada lingkungan yang membutuhkan oksigen terlarut (aerobik) ataupun bebas oksigen (anaerobik)..

2. Reaktor Pertumbuhan Melekat (*Attached Growth Reactor*)

Merupakan sistem pengolahan dimana mikroorganisme yang digunakan dibiakan pada suatu media. Pada sistem ini mikroorganisme yang berperan dalam konversi materi organik atau nutrisi melekat pada materi *packing inert* yang berupa batuan, pasir, macam-macam plastik dan materi sintesis lainnya. Materi packing dalam sistem ini disebut dengan *biofilm*. *Attached Growth* dapat dioperasikan secara aerob, anaerob, maupun anoksik, tergantung pada tujuan pengolahan dan kondisi operasional yang diterapkan.

Proses pengolahan limbah menurut kondisinya dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

A. Proses Pengolahan Limbah Secara Aerobik

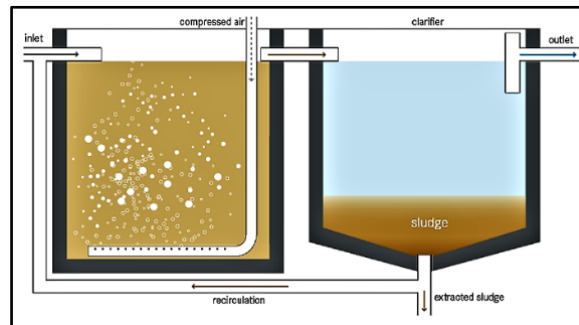
Pengolahan secara aerobik terjadi dengan proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme yang terdapat pada lumpur aktif

dengan kandungan bakteri pengurai yang tinggi dengan bantuan oksigen yang terdapat dalam udara sebagai elektron aseptor dalam air limbah. Hasil proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme yaitu energi, air, karbon dioksida, ammonia dan produk lain. Beberapa alternatif pemilihan teknologi untuk Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpadu atau SPALD-T yang dapat digunakan, yaitu:

1. Lumpur aktif (*activated sludge*)

Lumpur aktif merupakan metode pengolahan air limbah secara aerobik yang memanfaatkan pertumbuhan mikroorganisme tersuspensi. Dalam proses ini, material organik dioksidasi oleh mikroba menjadi CO_2 , H_2O , NH_4 , serta biomassa sel baru dengan bantuan suplai udara dari pompa blower maupun aerator mekanis. Selanjutnya, kumpulan sel mikroba tersebut akan membentuk flok yang mengendap secara alami di dalam tangki sedimentasi (Dwiyono & Dewi, 2020). Sistem lumpur aktif (*activated sludge*) mampu menyisihkan BOD dengan efisiensi sekitar 89–95%. Proses pengolahannya umumnya terdiri atas bak pengendap awal, bak aerasi, bak pengendap akhir, serta unit desinfeksi seperti bak klorinasi yang berfungsi mengurangi keberadaan mikroorganisme patogen. Metode ini memiliki beberapa keunggulan, antara lain mampu mengolah air limbah dengan konsentrasi dan debit BOD yang tinggi, menyediakan kondisi transfer oksigen yang lebih baik dibandingkan kolam aerasi, serta memungkinkan pemantauan operasional secara langsung. Selain itu, penggunaan campuran berbagai mikroorganisme dalam proses biologis menjadikan sistem ini relatif mudah diterapkan pada berbagai karakteristik air limbah. Namun demikian, sistem lumpur aktif juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti potensi terjadinya *bulking sludge*, kebutuhan energi yang cukup tinggi untuk proses aerasi, perlunya pengawasan operator dalam mengendalikan konsentrasi biomassa, kemungkinan

terbentuknya buih selama operasi, produksi lumpur yang relatif besar, serta kebutuhan lahan yang cukup luas. Diagram sistem lumpur aktif ditunjukkan pada **Gambar 3.8**.

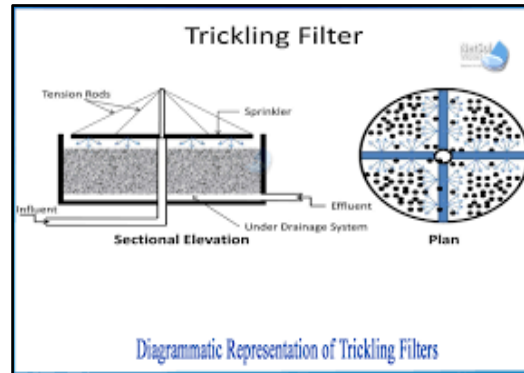


Gambar 3.8 Lumpur Aktif

Sumber: <https://sswm.info/taxonomy/term/3808/activated-sludge>

2. Trickling Filter

Merupakan salah satu teknologi pengolahan air limbah berbasis biofilm yang telah diterapkan sejak awal abad ke-20. Sistem ini bekerja dengan mengalirkan atau mendistribusikan air limbah secara merata di atas media berpori yang berfungsi sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya mikroorganisme. Berdasarkan laju pembebanannya, *trickling filter* umumnya dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *low-rate filter* dan *high-rate filter*. Teknologi ini efektif dalam menurunkan kandungan bahan pencemar organik maupun anorganik, serta memiliki kebutuhan energi dan biaya pemeliharaan yang relatif rendah dibandingkan beberapa sistem pengolahan biologis lainnya (Saputra, 2025)



Gambar 3.9 Trickling Filter

Sumber: <https://www.netsolwater.com/diagrammatic-representation-of-trickling-filters>

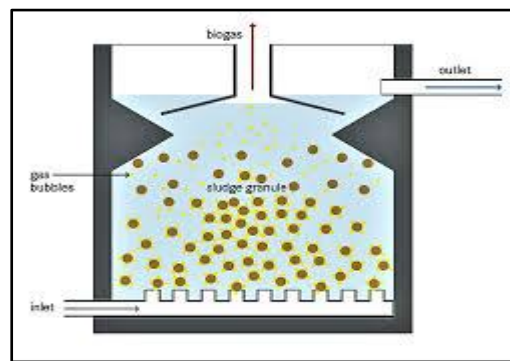
B. Proses Pengolahan Limbah Secara Anaerobik

Merupakan proses biologis yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam kondisi tanpa oksigen atau dengan kandungan oksigen terlarut yang sangat rendah. Teknologi ini memiliki beberapa keunggulan, antara lain mampu menghasilkan energi dalam bentuk biogas, menghasilkan lumpur dalam jumlah yang relatif sedikit, membutuhkan lahan yang lebih kecil, serta tidak memerlukan suplai energi untuk proses aerasi. Namun demikian, salah satu kelemahan utama sistem anaerobik adalah laju pertumbuhan mikroorganismenya yang relatif lambat dibandingkan dengan proses aerobik. Akibatnya, waktu yang diperlukan untuk pembentukan dan stabilisasi biomassa anaerob umumnya lebih panjang hingga dapat mencapai beberapa hari (Rittman & MC Carty, 2001).

1. *Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)*

Merupakan teknologi pengolahan air limbah anaerobik yang bekerja dengan mengalirkan air limbah dari bagian bawah reaktor menuju ke atas melalui lapisan lumpur aktif (*sludge blanket*) yang mengandung mikroorganisme anaerob. Selama proses tersebut, bahan organik diuraikan oleh mikroorganisme sehingga menghasilkan biogas sebagai produk samping. Sistem UASB memiliki keunggulan berupa efisiensi penyisihan bahan organik

yang tinggi serta potensi pemanfaatan energi dari biogas yang dihasilkan. Namun, teknologi ini juga memiliki beberapa keterbatasan, antara lain memerlukan waktu awal operasi (*start-up*) yang relatif lama untuk pembentukan biomassa dan membutuhkan pengendalian operasional yang baik agar aliran dalam reaktor tetap berjalan secara optimal. Adapun skema UASB dapat dilihat pada **Gambar 3.10**.



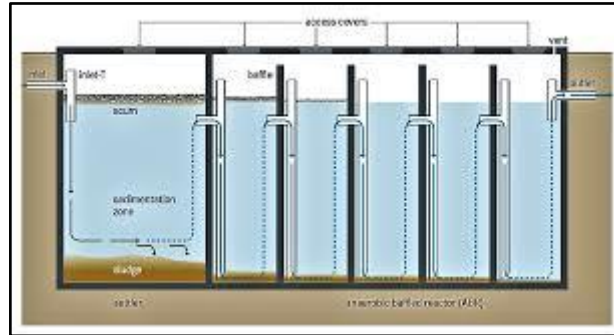
Gambar 3.10 Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

Sumber: <https://share.google/6Bmfq7KkujZF0pWag>

2. Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

Merupakan teknologi pengolahan air limbah domestik maupun industri yang berbentuk tangki septik modifikasi dengan sekat-sekat vertikal (*baffles*) di dalamnya untuk memaksa aliran air bergerak naik-turun secara bergantian. Pola aliran ini memastikan terjadinya kontak maksimal antara zat pencemar dalam air limbah dengan mikroorganisme pengurai yang mengendap di dasar reaktor, sehingga bakteri anaerob (tanpa oksigen) tersebut dapat mendegradasi polutan organik seperti BOD, COD, dan TSS secara efektif tanpa memerlukan pasokan energi listrik atau ruang yang luas. Dalam hierarki instalasi pengolahan, ABR diposisikan sebagai unit pengolahan sekunder (*secondary treatment*) yang dipasang tepat setelah bak pengendap pertama (*primary treatment*). Karena kemampuannya menahan lumpur bakteri di dalam reaktor dalam waktu lama, ABR bertindak sebagai benteng

utama yang mampu menurunkan beban organik hingga 70–90%, sehingga air efluen yang keluar dari kompartemen akhir menjadi jauh lebih stabil dan siap meringankan kerja unit pengolahan lanjutan (*tertiary treatment*).



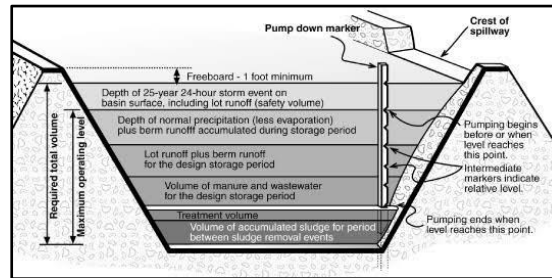
Gambar 3.11 Anaerobic Baffled Reactor

Sumber: <https://share.google/bLHWUfy1jnzaDU8FQ>

3. *Anaerobic Lagoon*

Merupakan teknologi pengolahan air limbah biologis berskala besar yang memanfaatkan kolam galian tanah terbuka dengan kedalaman yang sengaja dibuat masif, biasanya berkisar antara 3 hingga 5 meter. Kedalaman yang ekstrem ini bertujuan untuk mencegah oksigen dan sinar matahari menembus hingga ke dasar kolam, sehingga menciptakan kondisi murni anaerobik di zona bawah secara alami. Mikroorganisme anaerob yang hidup di dalam lapisan lumpur dasar kolam kemudian akan mendegradasi polutan organik konsentrasi tinggi dari air limbah yang mengalir lambat melewati kolam tersebut. Sistem ini umumnya digunakan sebagai tahap pengolahan sekunder pertama untuk mereduksi beban organik makro seperti BOD dan COD dalam jumlah besar sebelum air dialirkan ke kolam stabilisasi berikutnya. Untuk meningkatkan efisiensi dan mencegah pencemaran udara, permukaan kolam anaerobik modern kerap dilapisi dengan membran kedap (*floating cover*) berbasis *High-Density Polyethylene* (HDPE) yang berfungsi untuk menangkap gas

metana hasil dekomposisi bakteri sekaligus meminimalisir penyebaran bau menyengat ke lingkungan sekitar.

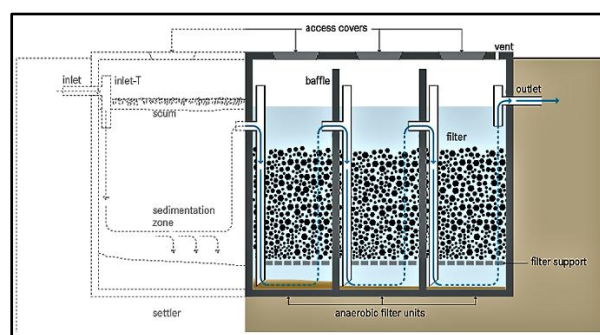


Gambar 3.12 Anaerobic Lagoon

Sumber: <https://extension.missouri.edu/publications/eq387>

4. Anaerobic Filter

Anaerobic Filter adalah sistem pengolahan limbah yang menggunakan media yang berfungsi sebagai filter sekaligus tempat menempelnya bakteri. Prinsip kerjanya menguraikan bahan yang tidak terendapkan dan bahan padat terlarut dengan cara memanfaatkan aktivitas biologis mikroorganisme (bakteri) untuk mendegradasi, mengonsumsi, dan mengubah zat-zat organik terlarut serta koloidal tersebut menjadi produk yang lebih stabil dan sederhana.



Gambar 3.13 Anaerobic Filter

Sumber: <https://sswm.info/ar/factsheet/anaerobic-filter>

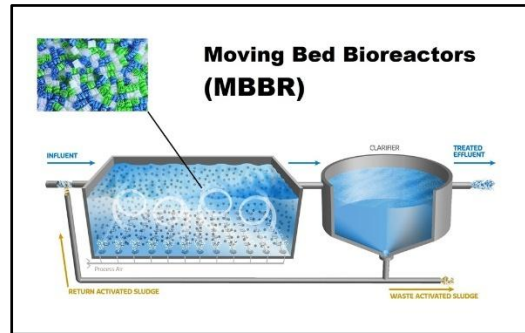
C. Proses Pengolahan Limbah Gabungan (Aerobik dan Anaerobik)

Pengolahan gabungan dilakukan dengan menggunakan dua jenis mikroorganisme yaitu aerobik dan anaerobik, dengan posisi pada

bagian atas tangki merupakan kolam bersifat aerobik (pada prosesnya menggunakan oksigen), dan pada bagian bawah merupakan proses anaerobik (tidak memerlukan oksigen) (Toya Arta Sejahtera, 2024). Beberapa pengolahan yang termasuk ke dalam pengolahan gabungan yaitu:

1. *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR)

Sistem *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) ialah unit pengolahan biologis yang menggunakan media plastik terapung sebagai tempat melekat dan tumbuh bagi mikroorganisme pengurai dalam bentuk lapisan biologis atau biofilm (Aljumrianai, 2015). Dalam operasionalnya, reaktor MBBR dapat dikondisikan secara aerobik untuk mereduksi polutan organik dan melangsungkan proses nitrifikasi, maupun dikondisikan secara anoksik demi mendukung proses denitrifikasi. Keunikan dari sistem ini terletak pada pemanfaatan seluruh volume bak reaktor untuk pertumbuhan biomassa secara optimal tanpa memerlukan adanya aliran balik (*recycle*) lumpur aktif. Menurut Nugroho dan Soedjono (2022), MBBR memiliki sejumlah keunggulan teknis, antara lain mampu menaikkan kapasitas pengolahan limbah, membutuhkan ruang atau lahan reaktor yang relatif kecil, meminimalkan kuantitas produksi lumpur harian, serta memperbaiki karakteristik pengendapan padatan tersuspensi. Kendati demikian, kelemahan utama dari teknologi MBBR ini adalah proses pemantauan dan kontrol populasi bakteri di dalam reaktor yang masih harus dilakukan secara manual.



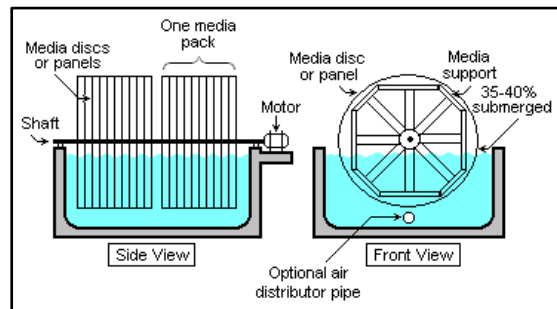
Gambar 3.14 Moving Bed Bioreactors (MBBR)

Sumber: <https://www.gustawater.com/blog/mbbr.html>

2. Rotating Biological Contactor (RBC)

Berdasarkan literatur dari Rustam (2022), *Rotating Biological Contactor* (RBC) didefinisikan sebagai metode pengolahan air limbah berbasis piringan (disk) berdiameter 10-15 cm yang disusun berderet pada sebuah poros, baik lewat susunan seri ataupun paralel sesuai kebutuhan desain. Piringan tersebut bertindak sebagai media bagi pertumbuhan mikroorganisme yang menempel membentuk biofilm untuk mendegradasi polutan organik air limbah. Keunggulan utama dari reaktor biofilm putar ini adalah tidak diperlukannya blower aerator serta rendahnya produksi lumpur sekunder, dengan kemampuan menyisihkan kadar BOD mencapai rentang 80-95%. Rangkaian unit pengolahan pada sistem ini umumnya terdiri atas bak penangkap pasir, pengendap awal, bak pengontrol debit, reaktor RBC, pengendap akhir, unit disinfeksi klorin, dan unit pengental lumpur. Di samping itu, Nurma (2018) menjelaskan bahwa reaktor RBC sangat diminati untuk pengolahan limbah skala kecil karena perawatannya mudah, hemat energi, rendah lumpur, dan tidak membutuhkan area lahan yang luas. Meski demikian, terdapat beberapa kelemahan sistem RBC yang perlu diantisipasi antara lain sifatnya yang sensitif terhadap fluktuasi suhu udara, tingkat kerapatan biomassa yang sulit dikendalikan secara manual, serta potensi nilai BOD akhir yang sewaktu-waktu masih

tinggi. Ilustrasi mengenai mekanisme kerja RBC ini disajikan pada **Gambar 3.15**.



Gambar 3.15 Rotating Biological Contactor

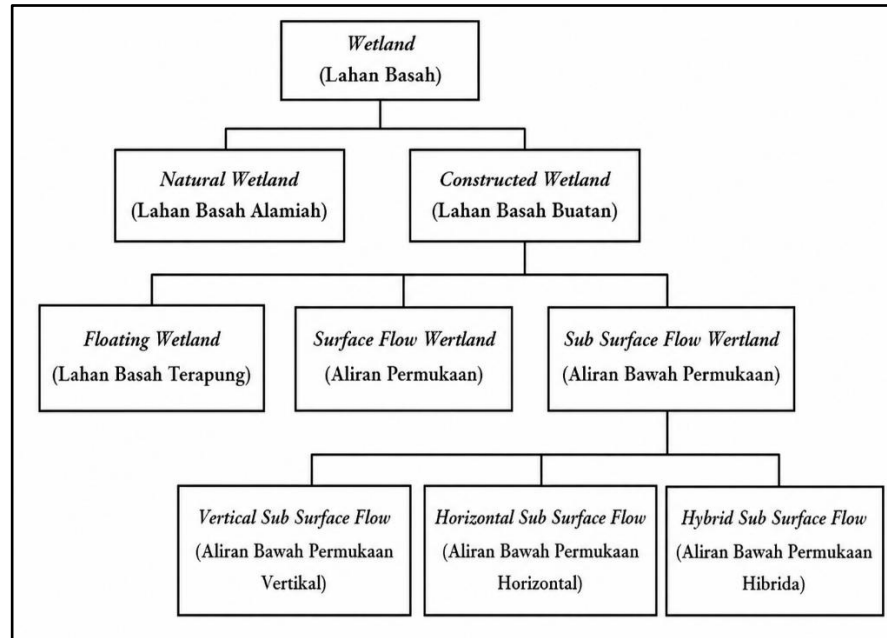
Sumber: <https://share.google/0Sk3gdLJi6YgoNym9>

3.3.4 Sistem Pengolahan Lanjutan (*Tertiary Treatment*)

Pengolahan lanjutan merupakan tahap pengolahan yang dilakukan untuk menghilangkan sisa bahan pencemar terlarut maupun terapung yang masih terdapat dalam air limbah setelah proses pengolahan biologis. Tahap ini umumnya diterapkan apabila diperlukan kualitas effluen yang lebih tinggi untuk keperluan pemanfaatan kembali air (*water reuse*) atau untuk mencegah terjadinya eutrofikasi pada badan air penerima (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003). Pengolahan lanjutan yang berbasis pada proses biologis dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa teknologi sebagai berikut:

A. *Wetland*

Wetland atau lahan basah merupakan ekosistem yang dicirikan oleh kondisi tanah jenuh air secara permanen maupun periodik sehingga memungkinkan tumbuhnya vegetasi khas serta terjadinya interaksi kompleks antara air, tanah, dan organisme hidup. Pada prinsipnya sistem *wetland* dapat dibedakan menjadi dua kategori dan secara skematis dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3.16 Sistem Wetland

Sumber: Hasil Analisa

Sistem pengolahan air limbah *constructed wetland* diklasifikasikan ke dalam beberapa tipe berdasarkan pola dan mekanisme alirannya, yaitu:

1. *Surface Flow Wetland*

Rawa buatan dengan sistem aliran permukaan terdiri dari kolam atau saluran dengan media (tanah) atau buatan (pasir/kerikil) untuk menyokong pertumbuhan tanaman air. Tanaman air mencuat tumbuh diatas media dan air limbah diolah pada saat mengalir diatas permukaan media melalui rumpun tanaman dan serasah. Rawa tipe ini mirip dengan rawa alami, dimana air limbah mengalir di sela-sela tumbuhan air, diatas permukaan air yang tergenang. Pada rawa buatan tipe ini, aliran limbah diolah oleh bakteri yang menempel di batang, daun, rhizoma tanaman air.

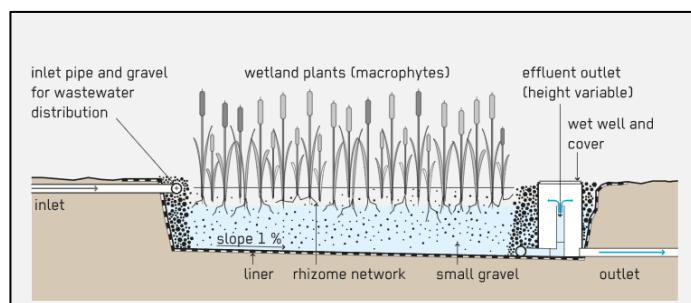
2. *Sub-Surface Flow Wetland*

Sub-Surface Flow adalah sistem air berada di bawah permukaan tanah. Air limbah akan mengalir pada lapisan tanah atau kerikil, dan akar tanaman menembus hingga di bawah lapisan tanah.

Sistem Subsurface Flow Wetland sangat cocok untuk area pemukiman padat atau lahan terbatas karena tidak menimbulkan bau, meminimalisir Indonesia kontak langsung dengan patogen dan tidak menjadi tempat berkembang biak nyamuk. (Stefanakis, 2019). Subsurface Flow Wetland efektif menyisihkan BOD, COD, dan nitrogen melalui proses biologis aerobik-anaerobik di biofilm akar tanaman dan media (Haryani, Fachrul, and Hadisoebroto, 2020). Sistem ini dibagi ke dalam 3 kategori yaitu:

- *Horizontal Sub-Surface Flow*

Horizontal Sub-Surface Flow (HSSF) merupakan salah satu jenis *constructed wetland* yang mengalirkan air limbah di bawah permukaan media sehingga tidak terdapat genangan air terbuka. Air limbah bergerak secara horizontal melalui media berpori yang berfungsi sebagai tempat tumbuh tanaman dan mikroorganisme. Proses penyisihan pencemar terjadi melalui filtrasi, adsorpsi, sedimentasi, serta aktivitas biologis yang berlangsung pada media dan zona perakaran tanaman.



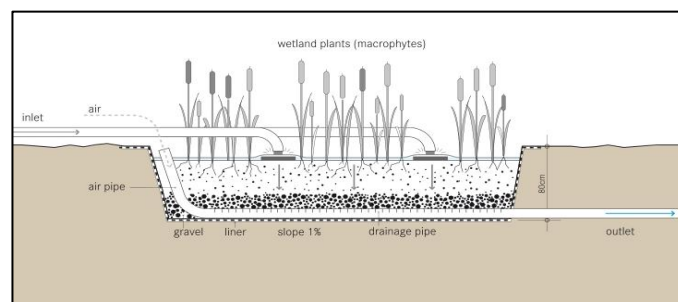
Gambar 3.17 Horizontal Sub-Surface Flow

Sumber: <https://url-shortener.me/FE15>

- *Vertical Sub-Surface Flow*

Vertical Sub-Surface Flow (VSSF) merupakan sistem *constructed wetland* yang menggunakan media berupa pasir, kerikil, atau campuran keduanya yang ditanami vegetasi air. Air limbah dialirkan secara berkala (intermittent) ke

permukaan media, kemudian meresap secara menuju saluran keluar yang terletak di bagian bawah. Pola pengaliran yang berselang antara periode pengisian dan istirahat membantu meningkatkan suplai oksigen ke dalam media sehingga proses pengolahan berlangsung lebih efektif. Tanaman yang umum digunakan pada sistem ini adalah *Phragmites australis* karena memiliki sistem perakaran dan rimpang yang berkembang dengan baik di dalam media.

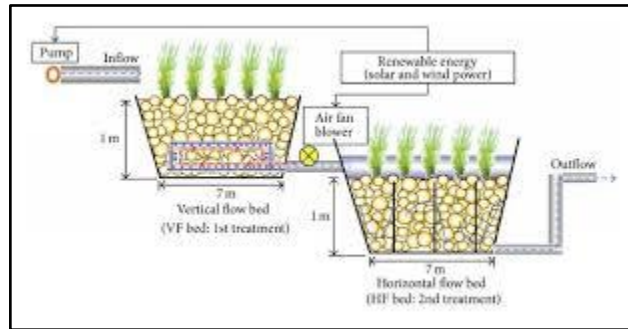


Gambar 3.18 Vertical Sub-Surface Flow

Sumber: <https://url-shortener.me/FE19>

- *Hybrid Sub-Surface Flow*

Dalam mengatasi kelemahan pada kedua sistem sebelumnya, sistem Hybrid merupakan solusi yang baik, yaitu dengan menggabungkan kedua metode sebelumnya secara berurutan yaitu VSSF diikuti dengan sistem HSSF. Kombinasi ini memungkinkan penyisihan bahan organik, padatan tersuspensi, serta nitrogen total menjadi lebih optimal dibandingkan penggunaan satu tipe *wetland* saja. Selain itu, sistem *hybrid* juga dapat meningkatkan stabilitas proses pengolahan dan efisiensi penghilangan polutan secara keseluruhan (Stefanakis, 2019)

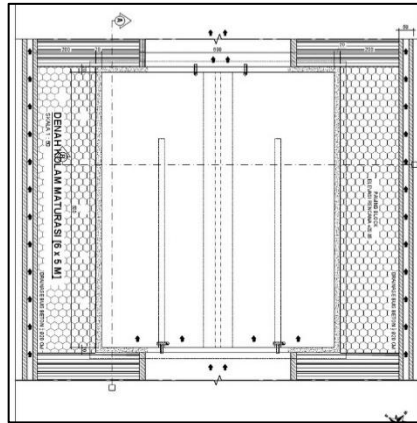


Gambar 3.19 Hybrid Constructed Wetland

.Sumber: <https://klik.now/WMYJ>

B. Kolam Maturasi (*Maturation Pond*)

Kolam maturasi merupakan unit pengolahan lanjutan berkondisi aerobik yang didesain dangkal dengan kedalaman berkisar antara 0,5 hingga 1,5 meter serta beroperasi secara alami tanpa bantuan aerator mekanis. Unit ini berfungsi sebagai tahapan pemolesan akhir (*polishing*) untuk memberikan waktu tinggal tambahan bagi air limbah, sehingga partikel tersuspensi dan mikroorganisme sisa dapat mengendap serta terurai secara biologis. Prinsip kerja utama kolam ini mengandalkan kondisi aliran yang tenang guna mendukung proses sedimentasi alami, di mana padatan akan turun ke dasar membentuk lapisan lumpur karena gaya beratnya sendiri (Heryadi, Rauf, & Andini, 2024). Selain penyisihan secara fisik, kolam maturasi memberikan kesempatan bagi mikroorganisme untuk menstabilkan sisa senyawa organik menjadi bentuk yang lebih aman dan minim polutan sebelum dialirkan ke badan air penerima. Durasi waktu retensi pada unit ini bervariasi, tergantung pada karakteristik limbah serta kualitas efluen yang ditargetkan. Meskipun umumnya bekerja secara pasif memanfaatkan pemulihan alami, beberapa variasi desain kolam maturasi dapat dilengkapi dengan sistem aerasi mekanis buatan untuk mengoptimalkan aktivitas biodegradasi lebih lanjut.



Gambar 3.20 Kolam Maturasi

Sumber: <https://id.scribd.com/document/450404637/maturasi-6x5>

3.4 Peraturan Air Limbah Domestik

Perencanaan dan pengelolaan instalasi pengolahan air limbah domestik mengacu pada berbagai peraturan perundang-undangan yang berlaku. Beberapa peraturan yang digunakan sebagai acuan dalam perencanaan IPAL domestik antara lain:

1. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia nomor P.68/MENLHK/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, yang mengatur baku mutu efluen air limbah domestik.
2. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2024 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik, yang mengatur penyelenggaraan sistem pengelolaan air limbah domestik, baik sistem setempat maupun terpusat.
3. SNI 8455:2017 tentang Perencanaan Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga Dengan Sistem Reaktor Anaerobic Bersekat (SRAB).
4. SNI 2398:2017 tentang Tata Cara Perencanaan Tangki Septik Dengan Pengolahan Lanjutan.
5. Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat Nomor 1 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup.

6. Peraturan Daerah Kota Bandung Nomor 12 Tahun 2018 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik

3.5 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Skala Permukiman

IPAL domestik skala permukiman telah diterapkan pada berbagai wilayah di Indonesia melalui program sanitasi berbasis masyarakat maupun program penyediaan infrastruktur sanitasi lainnya. Karakteristik setiap IPAL berbeda-beda berdasarkan jumlah penduduk yang dilayani, kapasitas pengolahan, ketersediaan lahan, serta teknologi yang digunakan. Beberapa IPAL terbangun yang memiliki informasi teknis dan pelayanan yang dapat digunakan sebagai pembanding dalam perencanaan disajikan sebagai berikut.

A. IPAL Komunal Ngudi Mulyo, Kabupaten Sleman

IPAL Komunal Ngudi Mulyo berlokasi di Padukuhan Mendiro, Desa Sukoharjo, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. IPAL ini dibangun pada tahun 2015 melalui program SANIMAS dengan dukungan swadaya masyarakat dan mulai beroperasi pada tahun 2016. Fasilitas tersebut dikelola oleh Kelompok Pengguna dan Pemelihara (KPP) KSM Ngudi Mulyo. Pada saat evaluasi, IPAL melayani 68 KK atau 256 jiwa dengan 61 SR, sedangkan kapasitas pelayanan yang tersedia mencapai 500 jiwa. Sistem pengolahan yang digunakan terdiri atas *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), *Anaerobic Filter* (AF), dan *Gravel Filter*. Kombinasi tersebut menunjukkan penerapan rangkaian pengolahan anaerobik dan filtrasi pada IPAL komunal skala permukiman. Data penelitian juga menunjukkan bahwa jumlah pengguna dapat mengalami perubahan setelah IPAL dibangun. Oleh karena itu, perbedaan antara kapasitas desain dan jumlah pengguna aktual menjadi salah satu aspek penting dalam mengevaluasi kinerja IPAL komunal. Berikut data teknis dan pelayanan IPAL Komunal Ngudi Mulyo:

- Lokasi: Padukuhan Mendiro, Desa Sukoharjo, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, Yogyakarta.
- Kapasitas Pelayanan: 500 jiwa

- Jumlah SR: 61 SR
- Luas Lahan IPAL: $\pm 300 \text{ m}^2$
- Teknologi: Bak Ekualisasi $\rightarrow$ Bak Settler $\rightarrow$ *Anaerobic Baffled Reaktor* $\rightarrow$ *Rotating Biological Contactor* $\rightarrow$ Filtrasi

B. IPAL Komunal Wallagri, Kelurahan Pasanggrahan, Kota Bandung

IPAL Komunal Wallagri berada di Taman Wallagri, RT 01/RW 09, Kelurahan Pasanggrahan, Kecamatan Ujungberung, Kota Bandung. IPAL ini merupakan bagian dari pengembangan sanitasi berbasis masyarakat di RW 09 dan telah diresmikan pada Januari 2021. Berdasarkan informasi pada saat peresmian, fasilitas tersebut melayani masyarakat melalui 67 sambungan rumah (SR) dan memiliki kapasitas pelayanan sekitar 77 KK dan dapat melayani hingga 100KK. Fasilitas sanitasi yang dibangun ditujukan untuk mengurangi pembuangan limbah domestik ke saluran dan badan air. Berikut data teknis dan pelayanan IPAL Wallagri, Kelurahan Pasanggrahan, Kota Bandung:

- Lokasi: Taman Wallagri, RT 01/RW 09, Kelurahan Pasanggrahan, Kecamatan Ujungberung, Kota Bandung.
- Kapasitas Pelayanan: 100 KK
- Jumlah SR: 67 SR
- Luas Lahan IPAL: - m^2
- Teknologi: Bak Settler $\rightarrow$ *Anaerobic Filter*

C. IPAL Komunal Tirtomili, Yogyakarta

IPAL Komunal Tirtomili berada di Dusun Jongkang, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. IPAL ini melayani air limbah domestik dari kawasan permukiman dan dirancang untuk melayani 400 KK atau sambungan rumah, dengan asumsi empat orang per KK. Pada kondisi penelitian, IPAL melayani sekitar 384 KK yang tersebar pada enam dusun di RW 35 dan RW 36. IPAL tersebut telah beroperasi sejak tahun 2014 dan mengalami pengembangan sistem pengolahan pada tahun 2017 melalui penambahan unit *Rotating Biological Contactor* (RBC). Berikut data teknis dan pelayanan IPAL Komunal Tirtomili, Yogyakarta.

- Lokasi: Dusun Jongkang, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, DIY.
- Kapasitas Pelayanan: 400 KK
- Jumlah SR: 67 SR
- Luas Lahan IPAL: - m²
- Teknologi: Bak Ekualisasi → *Anaerobic Baffled Reaktor* → *Anaerobic Filter* → *Rotating Biological Contactor* → Bak Sedimentasi

3.6 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

3.6.1 Pengertian Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2023 Tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat mengatakan perkiraan biaya pekerjaan adalah perhitungan biaya komponen tenaga kerja, bahan, dan alat yang dibutuhkan serta telah ditambah biaya penerapan sistem manajemen keselamatan konstruksi dalam melaksanakan pekerjaan konstruksi bidang pekerjaan umum dan perumahan rakyat. Adapun menurut Radina, *et al.* (2022) Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah perhitungan biaya bangunan berdasarkan gambar bangunan dan spesifikasi pekerjaan konstruksi yang akan di bangun, sehingga dengan adanya RAB dapat dijadikan sebagai acuan pelaksanaan pekerjaan. Kabupaten Merangin merupakan wilayah pariwisata yang cukup banyak menyediakan wisata alam, terdapat 37 objek wisata alam yang terdata.

Perkiraan biaya konstruksi dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu estimasi kasar (*approximate estimates* atau *preliminary estimates*) dan estimasi teliti (*detailed estimates*). Estimasi kasar (*approximate estimates*) biasanya digunakan pada tahap awal perencanaan proyek atau saat pengajuan anggaran kepada instansi terkait (misalnya pada proyek-proyek pemerintah maupun proyek besar lainnya). Tujuan dari estimasi ini adalah memberikan gambaran umum mengenai besarnya biaya yang diperlukan sebelum dilakukan perhitungan yang lebih rinci. Sementara itu, estimasi teliti atau *definitive estimates* mencakup perincian anggaran biaya secara lengkap yang digunakan sebagai dasar acuan

pelaksanaan konstruksi. Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang disusun secara terperinci memuat seluruh komponen biaya, termasuk keuntungan kontraktor dan pajak, yang dihitung berdasarkan persentase tertentu dari total biaya proyek.

3.6.2 Tujuan dan Fungsi Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya disusun untuk memberikan gambaran mengenai kebutuhan biaya yang diperlukan dalam pelaksanaan suatu pekerjaan konstruksi. RAB dapat digunakan sebagai dasar dalam memperkirakan kebutuhan pembiayaan, mengevaluasi besarnya biaya berdasarkan lingkup pekerjaan, serta mendukung proses pengendalian biaya selama pelaksanaan pekerjaan. Penyusunan perkiraan biaya yang sistematis dan akurat juga diperlukan untuk mendukung kelancaran pelaksanaan program dan kegiatan konstruksi. Dalam penyusunan RAB, perhitungan biaya pada dasarnya dilakukan dengan mengidentifikasi volume setiap pekerjaan dan mengalikannya dengan harga satuan pekerjaan yang sesuai. Oleh karena itu, ketepatan RAB sangat dipengaruhi oleh ketepatan identifikasi jenis pekerjaan, perhitungan volume, serta penentuan harga satuan yang digunakan (Yunus, Muhlisah, Patanduk, & Lomo, 2023).

3.6.3 Dasar Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Penyusunan RAB yang akurat, rasional, dan dapat dipertanggungjawabkan menjadi penting dalam tahap perencanaan proyek untuk mengendalikan alokasi pendanaan serta mencegah terjadinya pembengkakan biaya (*cost overrun*) selama masa pelaksanaan di lapangan (Dipohusodo, 1996). Untuk mencapai tingkat akurasi estimasi biaya yang baik, perhitungan matematis yang dilakukan oleh estimator tidak boleh berdasarkan asumsi semata, melainkan harus bersumber dari dokumen-dokumen perencanaan teknis yang sah dan saling terintegrasi (Ibrahim, 2001). Oleh karena itu, proses perhitungan volume pekerjaan dan penentuan harga dalam penyusunan RAB ini secara komprehensif didasarkan pada komponen-komponen landasan utama yang saling melengkapi, yaitu sebagai berikut:

3.6.2.1 Gambar Teknik

Gambar teknik berfungsi sebagai wujud visual terukur dari suatu desain konstruksi sekaligus menjadi sarana komunikasi antara perencana dan tim pelaksana proyek di lapangan. Dalam proses penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB), dokumen gambar kerja atau *Detail Engineering Design* (DED) menjadi acuan paling mendasar dan langkah awal untuk menghitung volume setiap item pekerjaan secara matematis. Semakin lengkap informasi yang disajikan pada gambar seperti detail dimensi, ukuran, elevasi, dan potongan bangunan, maka semakin akurat pula perhitungan kuantitas kebutuhan materialnya. Tingkat keakuratan perhitungan inilah yang pada akhirnya akan sangat memengaruhi estimasi total biaya dari proyek konstruksi tersebut.

3.6.2.2 Spesifikasi Teknis

Spesifikasi teknis adalah dokumen tertulis yang menguraikan secara rinci mengenai persyaratan mutu material, standar pengerjaan, pedoman peralatan, dan metode pelaksanaan yang harus dipenuhi dalam suatu proyek konstruksi (Dipohusodo, 1996). Dokumen ini berfungsi sebagai pedoman mutlak yang melengkapi gambar teknik, karena informasi mengenai kualitas bahan dan syarat pelaksanaan proyek yang tidak dapat digambarkan secara visual akan diatur secara tegas di dalam spesifikasi teknis (Ervianto, 2005). Pada tahapan estimasi biaya, dokumen spesifikasi teknis menjadi landasan utama bagi estimator untuk menentukan kelas atau kualitas material yang akan dibeli, sehingga estimator dapat mensurvei dan memasukkan Harga Satuan Dasar (HSD) yang paling tepat dan relevan ke dalam analisis perhitungan (Ibrahim, 2001).

3.6.2.3 Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) merupakan suatu metode perhitungan harga satuan untuk satu satuan volume pekerjaan konstruksi yang dijabarkan berdasarkan koefisien indeks kebutuhan bahan material, tenaga kerja, dan peralatan (Kementerian PUPR, 2023). Nilai atau besaran harga dalam AHSP diperoleh dengan cara mengalikan angka koefisien indeks masing-masing komponen pengerjaan tersebut dengan Harga Satuan Dasar (HSD) upah, bahan, dan

alat yang berlaku secara lokal di lokasi proyek pada rentang waktu tertentu. Penggunaan pedoman standar AHSP ini sangat krusial karena bertujuan untuk mewujudkan standardisasi, transparansi, efisiensi, dan akurasi dalam menyusun Rencana Anggaran Biaya (RAB) sehingga proyek terhindar dari risiko pemborosan (*overbudget*) maupun kekurangan pendanaan (Ervianto, 2023).

3.6.2.4 Harga Satuan Daerah Kota Bandung

Harga Satuan Daerah merupakan penetapan harga dasar resmi yang secara periodik diterbitkan oleh pemerintah daerah setempat sebagai acuan baku atas nilai upah tenaga kerja, harga material bahan bangunan, dan tarif sewa peralatan konstruksi. Penggunaan referensi harga spesifik dari Pemerintah Kota Bandung mutlak diperlukan dalam penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk proyek di wilayah ini, mengingat adanya perbedaan dan fluktuasi harga logistik yang dipengaruhi oleh letak geografis serta rantai pasok perekonomian lokal. Dalam praktiknya, estimator akan merujuk pada Surat Keputusan (SK) Walikota atau Jurnal Harga Satuan Bahan Bangunan (JHSBB) yang dirilis oleh dinas terkait di Kota Bandung untuk memastikan estimasi biaya yang diatur dalam Keputusan Wali Kota Bandung Nomor 027/Kep.2061 BKAD/2025 Tentang Standar Harga Satuan dan Standar Biaya Umum Tahun Anggaran 2026. Nilai Harga Satuan Dasar (HSD) lokal inilah yang kemudian dikalikan secara matematis dengan indeks koefisien pada Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) untuk menghasilkan rincian biaya yang valid dan terhindar dari risiko salah perhitungan (*underestimate* maupun *overestimate*).

3.6.2.5 Pajak

Perpajakan merupakan salah satu komponen yang perlu diperhatikan dalam penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan konstruksi. Pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang dilaksanakan melalui penyedia jasa konstruksi termasuk dalam kegiatan pekerjaan konstruksi, sehingga penghasilan yang diterima penyedia jasa atas pelaksanaan pekerjaan tersebut dikenai Pajak Penghasilan (PPh) Final Pasal 4 ayat (2) atas jasa konstruksi. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 9 Tahun 2022, tarif PPh Final jasa konstruksi untuk pekerjaan

konstruksi ditentukan berdasarkan kualifikasi dan sertifikasi penyedia jasa, yaitu sebesar 1,75% bagi penyedia jasa dengan kualifikasi kecil atau sertifikat kompetensi kerja untuk usaha orang perseorangan, 2,65% bagi penyedia jasa selain kategori tersebut, dan 4% bagi penyedia jasa yang tidak memiliki sertifikat badan usaha atau sertifikat kompetensi kerja. Oleh karena itu, dalam penyusunan RAB untuk perencanaan IPALD, komponen perpajakan perlu diperhitungkan sesuai dengan jenis pekerjaan dan kualifikasi penyedia jasa yang diasumsikan dalam perencanaan, serta dibedakan dari Pajak Pertambahan Nilai (PPN) yang memiliki dasar pengenaan dan mekanisme perpajakan tersendiri.

3.6.2.6 Inflasi

Inflasi merupakan fenomena ekonomi makro yang ditandai dengan kenaikan harga barang dan jasa secara umum dan terus-menerus, sehingga berdampak langsung pada pelemahan daya beli atas suatu nilai mata uang (Mankiw, 2006). Dalam konteks penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) konstruksi, faktor inflasi mutlak harus diperhitungkan secara cermat, terutama pada proyek berdurasi jangka panjang atau pada proyek yang memiliki jeda waktu signifikan antara fase penyusunan rencana teknis dengan waktu mulainya pelaksanaan fisik (Dipohusodo, 1996). Untuk mengantisipasi risiko eskalasi atau lonjakan harga material, sewa alat, dan upah tenaga kerja akibat dinamika ekonomi tersebut, estimator umumnya akan mengalokasikan nilai cadangan biaya atau biaya tak terduga (*contingency cost*). Pengintegrasian proyeksi inflasi ke dalam estimasi anggaran ini pada akhirnya bertujuan untuk menjaga stabilitas dan kelayakan finansial proyek, sehingga pelaksanaan di lapangan tidak mengalami kegagalan akibat defisit anggaran biaya di masa mendatang.

3.6.2.7 Metode Pelaksanaan dan Waktu Penyelesaian

Metode pelaksanaan pekerjaan dalam penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dilakukan dengan mengidentifikasi setiap tahapan pekerjaan pembangunan IPAL, mulai dari pekerjaan persiapan, pekerjaan tanah, pekerjaan struktur dan konstruksi unit pengolahan, hingga pekerjaan penyelesaian. Waktu penyelesaian ditentukan berdasarkan jenis dan volume pekerjaan serta urutan

pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Penentuan durasi pekerjaan digunakan sebagai dasar dalam menyusun jadwal pelaksanaan pembangunan IPAL sehingga setiap tahapan dapat dilaksanakan secara sistematis dan efisien.

3.6.3 Komponen Penyusun Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada proyek konstruksi, khususnya untuk infrastruktur Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), dikelompokkan ke dalam beberapa komponen pekerjaan berdasarkan urutan dan jenis pelaksanaannya di lapangan. Pengelompokan ini bertujuan untuk memudahkan proses perhitungan volume, pengendalian biaya material, dan manajemen jadwal pelaksanaan proyek. Secara umum, komponen-komponen penyusun RAB tersebut meliputi:

- Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan merupakan serangkaian kegiatan awal yang mutlak dilakukan sebelum konstruksi fisik utama dimulai guna memastikan kesiapan dan keamanan lokasi proyek. Komponen biaya dalam tahap ini umumnya mencakup pembersihan lahan, pembuatan direksi keet, pemasangan pagar pengaman, pengadaan air kerja, serta pengukuran dan pematokan elevasi atau *uitzet*. Perhitungan anggaran pada tahap persiapan sangat penting agar seluruh kebutuhan logistik dan operasional awal proyek dapat terfasilitasi dengan baik tanpa mengganggu aliran dana pada pekerjaan utama.

- Pekerjaan Tanah

Pekerjaan tanah mencakup segala bentuk aktivitas rekayasa dan modifikasi kondisi elevasi lahan alami, seperti penggalian, pengurugan, dan pemadatan tanah. Dalam penyusunan RAB, volume pekerjaan tanah dihitung berdasarkan profil memanjang dan melintang dari gambar rencana untuk menentukan seberapa besar kubikasi tanah yang harus digali atau ditimbun. Biaya pada komponen ini juga harus memperhitungkan penyewaan alat berat serta biaya mobilisasi pembuangan tanah sisa galian ke luar lokasi proyek agar tidak mengganggu manuver kerja di area konstruksi.

- Pekerjaan Struktur

Pekerjaan struktur merupakan tahapan inti dalam pembangunan yang berfungsi untuk memikul beban bangunan dan menjaga stabilitas konstruksi secara keseluruhan dari risiko kegagalan. Estimasi biaya pada pekerjaan ini umumnya didominasi oleh perhitungan kebutuhan material beton, pembersian (tulangan), serta bekisting untuk elemen-elemen seperti pondasi, sloof, kolom, pelat, maupun dinding penahan tanah. Ketelitian dalam menghitung Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) pada elemen struktur sangat diperlukan mengingat komponen material dan upah pada bagian ini umumnya menyerap proporsi anggaran yang paling besar dalam suatu proyek.

- Pekerjaan Perpipaan

Pekerjaan perpipaan meliputi instalasi jaringan transmisi dan distribusi fluida, yang sangat krusial dalam sistem drainase, sanitasi, maupun pada instalasi pengolahan air limbah. Perhitungan anggaran jaringan perpipaan tidak hanya mengukur panjang total bentang pipa utama, tetapi juga harus mengakomodasi kebutuhan aksesoris pendukung seperti sambungan (*fitting*), katup (*valve*), bak kontrol, hingga galian parit pipa. Kualitas material pipa yang disyaratkan dalam spesifikasi teknis, seperti penggunaan pipa PVC, HDPE, atau galvanis, akan menjadi penentu utama besaran Harga Satuan Dasar (HSD) pada komponen Rencana Anggaran Biaya.

- Pekerjaan Mekanikal dan Elektrikal

Pekerjaan mekanikal dan elektrikal merupakan komponen instalasi yang memastikan berfungsinya sistem kelistrikan, pencahayaan, serta permesinan yang mendukung operasional bangunan. Dalam konteks infrastruktur pengolahan air, biaya pekerjaan ini mencakup pengadaan dan pemasangan panel listrik, pompa air atau *submersible pump*, kabel instalasi, dan sistem kontrol otomatis. Mengingat harga satuan untuk peralatan mekanikal dan elektrikal seringkali berfluktuasi secara cepat di pasaran, estimator dituntut untuk merujuk pada penawaran harga

(*quotation*) terbaru dari pemasok resmi atau brosur pabrikan saat menyusun harganya.

- **Pekerjaan Penunjang**

Pekerjaan penunjang adalah serangkaian pekerjaan penyelesaian (*finishing*) dan elemen tambahan yang bertujuan untuk menyempurnakan fungsi serta estetika dari fasilitas yang telah dibangun. Komponen biaya yang masuk dalam kategori ini dapat berupa pekerjaan perapihan area, pengembalian kondisi jalan akses, pembuatan lansekap atau taman, serta fasilitas pelengkap lainnya di sekitar area proyek. alaupun dikategorikan sebagai pelengkap, anggaran untuk pekerjaan penunjang harus dihitung secara cermat dan memadai agar fasilitas dapat diserahterimakan kepada pemilik (*owner*) dalam kondisi yang rapi, siap pakai, dan fungsional.

3.6.4 Langkah-Langkah Perispan Perhtungan RAB

Langkah awal yang perlu dilakukan pada perhitungan RAB ialah usaha persiapan yang bertujuan untuk mendapatkan angka yang tepat. Langkah-langkah persiapan yang dilakukan untuk menghitung RAB, yaitu:

1. Peninjauan ruang lingkup proyek : Keadaan lingkungan lokasi perencanaan menjadi pertimbangan dalam beberapa aspek seperti aspek keamanan, tenaga kerja, lalu lintas, ruang untuk gudang, dan lain-lain terhadap biaya.
2. Penentuan kuantitas atau volume pekerjaan dan konstuksi bangunan atau proyek.
3. Harga material yang digunakan.
4. Harga pekerja
5. Harga peralatan kerja
6. Biaya tidak terduga dan biaya pembuatan

BAB IV

DASAR PERENCANAAN

4.1 Tahapan Pengelolaan Air Limbah Domestik

Pengelolaan air limbah domestik merupakan serangkaian kegiatan yang dilaksanakan secara terencana dan sistematis untuk memastikan air limbah yang dihasilkan dari aktivitas rumah tangga dapat dikumpulkan, diolah, serta dialirkan ke badan air penerima dengan memenuhi ketentuan dan baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2025 tentang Baku Mutu Air Limbah dan Standar Teknologi Pengolahan Air Limbah Domestik. Pada kawasan permukiman, pengelolaan air limbah domestik tidak terbatas pada proses pengolahan saja, tetapi mencakup seluruh rangkaian kegiatan mulai dari persiapan, perencanaan, pembangunan, pengoperasian, pemeliharaan, hingga evaluasi terhadap sistem yang telah diterapkan.

Secara umum, pelaksanaan pengelolaan air limbah domestik pada kawasan permukiman dapat dibagi ke dalam beberapa tahapan, yaitu tahapan persiapan, perencanaan, pembangunan, operasi dan pemeliharaan, serta evaluasi dan pengembangan. Masing-masing tahapan memiliki fungsi dan sasaran yang berbeda, namun saling terintegrasi untuk mendukung terbentuknya sistem pengelolaan air limbah domestik yang efektif, berkelanjutan, dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Uraian mengenai masing-masing tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan merupakan tahapan awal dalam penyelenggaraan pengelolaan air limbah domestik yang dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai kondisi eksisting wilayah, permasalahan sanitasi, kebutuhan pelayanan, serta potensi pengembangan sistem pengelolaan air limbah. Informasi yang diperoleh pada tahap ini menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan dan arah pengembangan sistem pada tahap

selanjutnya. Secara umum, kegiatan yang dilakukan pada tahap persiapan meliputi:

- A. Identifikasi wilayah pelayanan;
- B. Identifikasi kondisi sanitasi eksisting;
- C. Identifikasi sumber air limbah domestik;
- D. Identifikasi sistem pengelolaan air limbah yang telah tersedia;
- E. Identifikasi kondisi sosial dan ekonomi masyarakat;
- F. Identifikasi kondisi topografi dan lingkungan;
- G. Identifikasi ketersediaan lahan untuk fasilitas pengolahan;
- H. Identifikasi permasalahan dan kebutuhan pengelolaan air limbah.

Hasil dari tahap persiapan digunakan sebagai dasar untuk menentukan kebutuhan dan pendekatan pengelolaan air limbah domestik yang sesuai dengan karakteristik kawasan.

2. Tahap Perencanaan

Tahap perencanaan merupakan tahapan yang dilakukan untuk menetapkan bentuk dan konsep sistem pengelolaan air limbah domestik berdasarkan hasil identifikasi kondisi eksisting dan kebutuhan pelayanan. Dalam penyusunannya, perencanaan perlu mempertimbangkan berbagai aspek, meliputi perkembangan wilayah, proyeksi jumlah penduduk, karakteristik air limbah, kondisi lingkungan, aspek teknis dan ekonomi, serta kemudahan dalam pengoperasian dan pemeliharaan sistem. Secara umum, kegiatan pada tahap perencanaan meliputi:

- A. Penetapan periode perencanaan;
- B. Penentuan wilayah dan cakupan pelayanan;
- C. Penentuan jumlah penduduk rencana;
- D. Perhitungan kebutuhan air dan debit air limbah;
- E. Penentuan karakteristik dan beban pencemar;
- F. Penentuan sistem pengelolaan air limbah;
- G. Pemilihan teknologi pengolahan;
- H. Penentuan kriteria desain;
- I. Perhitungan dimensi unit pengolahan;

- J. Penyusunan tata letak fasilitas;
- K. Penyusunan spesifikasi teknis dan rencana anggaran biaya.

3. Tahap Pembangunan

Tahap pembangunan merupakan tahapan pelaksanaan perencanaan yang diwujudkan melalui pembangunan sarana dan prasarana pengelolaan air limbah domestik. Pelaksanaan pembangunan dilakukan dengan mengacu pada desain dan perencanaan yang telah ditetapkan serta memperhatikan spesifikasi teknis, standar, dan ketentuan yang berlaku. Secara umum, kegiatan pada tahap pembangunan meliputi:

- A. Persiapan lokasi;
- B. Pekerjaan konstruksi jaringan pengumpulan air limbah;
- C. Pembangunan unit pengolahan;
- D. Pembangunan bangunan pelengkap;
- E. Pemasangan peralatan dan komponen sistem;
- F. Pengujian fungsi masing-masing unit;
- G. Pengujian sistem secara keseluruhan sebelum dioperasikan.

4. Tahap Operasi dan Pemeliharaan

Tahap operasi dan pemeliharaan merupakan tahapan yang dilaksanakan setelah sarana dan prasarana pengelolaan air limbah domestik selesai dibangun dan siap dioperasikan. Tahap ini bertujuan untuk memastikan seluruh komponen sistem dapat berfungsi secara optimal serta mempertahankan kinerja pengolahan sesuai dengan kapasitas dan target yang telah direncanakan. Secara umum, kegiatan operasi dan pemeliharaan meliputi:

- A. Pengoperasian jaringan pengumpulan air limbah;
- B. Pengoperasian unit-unit pengolahan;
- C. Pemantauan debit dan kualitas air limbah;
- D. Pemeriksaan kondisi bangunan dan peralatan;
- E. Pembersihan dan pemeliharaan unit pengolahan;
- F. Pengelolaan lumpur hasil pengolahan;
- G. Pencatatan kegiatan operasional;
- H. Penanganan gangguan atau kerusakan sistem.

Operasi dan pemeliharaan yang dilakukan secara rutin diperlukan untuk mempertahankan kinerja sistem dan memperpanjang umur pelayanan fasilitas.

5. Tahap Pemantauan dan Evaluasi

Tahap pemantauan dan evaluasi merupakan tahapan yang dilakukan untuk menilai kinerja sistem pengelolaan air limbah domestik serta mengetahui tingkat pencapaiannya terhadap tujuan yang telah ditetapkan. Pemantauan dan evaluasi mencakup penilaian terhadap aspek teknis, kualitas efluen, kondisi sarana dan prasarana, pelaksanaan operasional, serta kebutuhan perbaikan dan pengembangan sistem. Secara umum, kegiatan pada tahap ini meliputi:

- A. Pemantauan kualitas influen dan efluen;
- B. Evaluasi efisiensi penyisihan pencemar;
- C. Evaluasi kapasitas sistem terhadap beban aktual;
- D. Evaluasi kondisi jaringan dan unit pengolahan;
- E. Evaluasi kegiatan operasi dan pemeliharaan;
- F. Identifikasi permasalahan sistem;
- G. Penentuan tindakan perbaikan;
- H. Evaluasi kebutuhan peningkatan atau pengembangan kapasitas.

Hasil pemantauan dan evaluasi digunakan sebagai dasar untuk melakukan perbaikan maupun pengembangan sistem apabila terjadi perubahan beban pelayanan, penurunan kinerja, atau peningkatan kebutuhan pengolahan.

6. Tahap Pengembangan Sistem

Pengembangan sistem pengelolaan air limbah domestik dapat dilakukan apabila terdapat perubahan pada kondisi pelayanan, seperti pertumbuhan jumlah penduduk, perubahan karakteristik air limbah, peningkatan beban pencemar, maupun perubahan kebutuhan pelayanan. Upaya pengembangan dapat dilakukan melalui peningkatan kapasitas jaringan dan fasilitas pengolahan, penambahan unit pengolahan, optimalisasi kinerja unit yang telah tersedia, maupun penerapan teknologi pengolahan yang lebih sesuai dengan kondisi terkini.

Pengembangan tersebut dilakukan untuk mempertahankan kinerja sistem dan memastikan pelayanan pengelolaan air limbah domestik tetap berlangsung secara efektif dan berkelanjutan selama periode pelayanan yang direncanakan.

4.2 Prinsip-Prinsip Perencanaan Pengolahan Air Limbah

Dalam merencanakan sistem pengolahan air limbah domestik, terdapat tiga prinsip utama yang perlu dijadikan pedoman: aspek kesehatan, sosial-ekonomi, serta keberlanjutan lingkungan. Ketiga pilar ini perlu diterapkan dengan baik sejak tahap perancangan hingga implementasi, guna memastikan sistem tersebut beroperasi secara optimal dan berkesinambungan. Uraian lebih lanjut mengenai tiap-tiap prinsip tersebut adalah sebagai berikut.

1. Prinsip Kesehatan

Prinsip kesehatan dalam perencanaan pengolahan limbah domestik diarahkan pada upaya perlindungan kesehatan masyarakat di wilayah perencanaan, khususnya masyarakat yang memanfaatkan air tanah maupun air sungai sebagai sumber air. Pengolahan limbah domestik yang tidak memadai dapat meningkatkan risiko pencemaran air oleh mikroorganisme patogen yang berpotensi menimbulkan berbagai penyakit. Oleh karena itu, keberadaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) berperan dalam menurunkan beban pencemar dan risiko kontaminasi terhadap sumber air. Selain mendukung pencegahan penyebaran penyakit, pengolahan limbah domestik yang baik juga berkontribusi dalam mempertahankan kualitas lingkungan sehingga tercipta kondisi lingkungan yang lebih sehat dan mendukung kesejahteraan masyarakat.

2. Prinsip Sosial dan Ekonomi

Prinsip sosial dalam pembangunan IPAL menekankan pentingnya keterlibatan masyarakat sejak tahap perencanaan hingga pelaksanaan agar sistem yang dibangun dapat diterima serta sesuai dengan kebutuhan masyarakat di wilayah perencanaan. Akses terhadap pelayanan pengolahan air limbah juga perlu dipastikan dapat dijangkau

oleh seluruh masyarakat secara adil. Pembangunan IPAL diharapkan mampu meningkatkan kualitas hidup melalui penyediaan layanan sanitasi yang lebih baik. Selain itu, sistem yang dirancang harus memperhatikan aspek keamanan agar tidak menimbulkan dampak negatif maupun risiko penyebaran penyakit terhadap masyarakat di sekitar lokasi IPAL. Upaya peningkatan kesadaran masyarakat melalui edukasi dan sosialisasi mengenai pentingnya pengelolaan air limbah serta pemeliharaan kebersihan lingkungan juga diperlukan untuk mendukung keberlanjutan sistem yang telah dibangun. Prinsip ekonomi dalam perencanaan IPAL menitikberatkan pada pertimbangan terhadap kemampuan finansial masyarakat, pengelola, serta ketersediaan sumber daya di wilayah perencanaan. Sistem yang dirancang perlu memperhatikan keterjangkauan biaya investasi, operasional, dan pemeliharaan sehingga tidak memberikan beban finansial yang berlebihan kepada masyarakat maupun pihak pengelola. Pemilihan teknologi pengolahan yang efektif, efisien, dan sesuai dengan kondisi sosial ekonomi masyarakat menjadi salah satu faktor penting untuk memastikan sistem dapat beroperasi secara optimal, memenuhi standar kualitas pengolahan, serta tetap terjangkau. Selain itu, diperlukan mekanisme pembiayaan yang berkelanjutan untuk menjamin ketersediaan biaya operasional dan pemeliharaan, sehingga keberlangsungan pengelolaan IPAL dapat dipertahankan dalam jangka panjang tanpa mengalami defisit.

3. Prinsip Keberlanjutan Lingkungan

Pengolahan limbah domestik melalui IPAL bertujuan untuk menjaga kualitas lingkungan secara berkelanjutan dengan mengurangi beban pencemar yang masuk ke lingkungan. Pengolahan air limbah berperan dalam mempertahankan keseimbangan ekosistem sebagai bagian dari sistem kehidupan alami yang mendukung keberlangsungan berbagai komponen lingkungan dan kehidupan manusia. Selain itu, pengolahan yang memadai dapat memastikan bahwa air limbah yang telah diolah memenuhi persyaratan sebelum dialirkan ke badan air penerima

sehingga risiko pencemaran lingkungan dapat diminimalkan (Pangaribuan, 2021). Dalam penerapannya, teknologi pengolahan limbah perlu mengutamakan prinsip ramah lingkungan dengan meminimalkan pelepasan polutan serta mengoptimalkan penggunaan sumber daya, termasuk air dan energi. Untuk mengidentifikasi dan meminimalkan potensi dampak negatif terhadap lingkungan yang dapat timbul selama tahap konstruksi maupun operasional IPAL, diperlukan kajian kelayakan yang mencakup analisis risiko lingkungan. Analisis tersebut dilakukan pada wilayah yang berpotensi menerima dampak, baik secara langsung maupun tidak langsung, akibat pembangunan dan pengoperasian IPAL. Aspek yang perlu diperhatikan dalam analisis risiko lingkungan meliputi:

- 1) Analisis potensi pencemaran udara;
- 2) Analisis potensi pencemaran air permukaan dan air tanah;
- 3) Analisis potensi pencemaran tanah;
- 4) Analisis potensi kebisingan;
- 5) Analisis dampak terhadap lalu lintas;
- 6) Analisis kesehatan dan keselamatan manusia; dan
- 7) Analisis dampak terhadap estetika lingkungan.

4.3 Periode Perencanaan

Periode perencanaan merupakan jangka waktu yang digunakan sebagai dasar dalam menentukan kapasitas pelayanan dan dimensi unit-unit Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPALD). Penetapan periode perencanaan bertujuan untuk memastikan sistem yang dirancang mampu memenuhi kebutuhan pengolahan air limbah domestik selama masa pelayanan yang ditetapkan, dengan mempertimbangkan perkembangan wilayah, pertumbuhan penduduk, kondisi teknis, serta efisiensi pembangunan dan pengoperasian sistem. Dalam perencanaan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik (SPALD), periode perencanaan menjadi salah satu parameter penting karena berbagai komponen perhitungan, seperti proyeksi jumlah penduduk, kebutuhan air bersih, debit air limbah, beban pencemar,

kapasitas unit pengolahan, dan dimensi bangunan IPALD, dipengaruhi oleh kondisi pelayanan pada akhir periode perencanaan.

Berdasarkan Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 04/PRT/M/2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, rencana induk penyelenggaraan SPALD disusun untuk periode perencanaan selama 20 (dua puluh) tahun sebagai perencanaan jangka panjang. Perencanaan tersebut selanjutnya dapat dijabarkan menjadi rencana jangka menengah selama 5 (lima) tahun dan rencana jangka pendek selama 1 (satu) tahun, dengan peninjauan kembali setiap 5 (lima) tahun sesuai dengan perkembangan kondisi wilayah dan kebijakan yang berlaku. Pada perencanaan ini, penetapan periode perencanaan juga mempertimbangkan kondisi RW 03 Kelurahan Dago sebagai kawasan permukiman yang berpotensi mengalami perubahan jumlah penduduk dan peningkatan timbulan air limbah domestik seiring dengan perkembangan kawasan.

Perubahan tersebut dapat memengaruhi kebutuhan kapasitas sistem pengelolaan air limbah domestik pada masa mendatang. Oleh karena itu, periode perencanaan perlu ditetapkan agar kapasitas dan dimensi IPALD yang dirancang mampu mengakomodasi kebutuhan pelayanan hingga akhir periode rencana. Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini menggunakan periode perencanaan selama 20 (dua puluh) tahun, dengan tahun dasar perencanaan dan tahun akhir rencana sebagai acuan dalam menentukan proyeksi penduduk, debit air limbah, beban pencemar, serta kapasitas unit-unit pengolahan. Dengan demikian, hasil pradesain IPALD diharapkan dapat memenuhi kebutuhan pengolahan air limbah domestik RW 03 Kelurahan Dago selama periode pelayanan yang direncanakan.

4.3.1 Umur Rencana IPAL

Penetapan umur rencana dilakukan untuk menentukan kapasitas pelayanan IPALD selama masa operasional yang direncanakan. Dalam penelitian ini, umur rencana ditetapkan selama 20 (dua puluh) tahun dengan mempertimbangkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Ketentuan perencanaan SPALD. Berdasarkan Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 04/PRT/M/2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, perencanaan SPALD jangka panjang menggunakan periode perencanaan selama 20 (dua puluh) tahun.
2. Perkembangan jumlah penduduk. RW 03 Kelurahan Dago merupakan kawasan permukiman yang dapat mengalami perubahan jumlah penduduk dan aktivitas domestik selama masa pelayanan. Pertumbuhan penduduk tersebut berpotensi meningkatkan timbulan dan debit air limbah domestik sehingga perlu dipertimbangkan dalam penentuan kapasitas IPALD.
3. Keberlanjutan penggunaan fasilitas. Sistem IPALD direncanakan sebagai fasilitas pelayanan sanitasi yang digunakan dalam jangka panjang. Dengan penerapan konstruksi yang sesuai dengan persyaratan teknis serta didukung oleh kegiatan operasi dan pemeliharaan yang baik, fasilitas diharapkan dapat mempertahankan fungsi pelayanan selama periode yang direncanakan.
4. Pertimbangan kapasitas dan pengembangan sistem. Umur rencana 20 (dua puluh) tahun memberikan dasar dalam menentukan kapasitas unit pengolahan berdasarkan kondisi pelayanan pada akhir periode rencana. Penetapan tersebut juga memberikan pertimbangan terhadap kebutuhan investasi awal dan kemungkinan pengembangan atau peningkatan kapasitas sistem apabila terjadi peningkatan jumlah penduduk dan beban air limbah di masa mendatang.

4.3.2 Dasar Penetapan Periode Perencanaan

Penduduk rencana merupakan jumlah penduduk yang diproyeksikan akan mendapatkan pelayanan dari Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPALD) pada akhir periode perencanaan. Penentuan penduduk rencana digunakan sebagai dasar dalam menghitung kebutuhan air bersih, debit air limbah domestik, beban pencemar, serta kapasitas dan dimensi unit-unit pengolahan yang direncanakan. Jumlah penduduk menjadi salah satu parameter penting dalam perencanaan sistem

pengelolaan air limbah domestik karena peningkatan jumlah penduduk akan berpengaruh terhadap peningkatan timbulan air limbah dan beban pencemar yang harus diolah. Oleh karena itu, proyeksi jumlah penduduk hingga akhir periode perencanaan perlu dilakukan secara tepat agar kapasitas IPALD yang dirancang dapat memenuhi kebutuhan pelayanan sesuai dengan periode rencana yang telah ditetapkan.

4.4 Pengolahan dan Analisis Data Penduduk

4.4.1 Data Penduduk Eksisting

Data penduduk eksisting merupakan data kondisi awal yang digunakan sebagai dasar dalam melakukan proyeksi jumlah penduduk hingga akhir periode perencanaan. Data tersebut diperlukan untuk mengetahui jumlah penduduk yang menjadi dasar pelayanan serta memperkirakan kebutuhan air bersih, timbulan dan debit air limbah domestik, serta kapasitas pelayanan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPALD) yang akan direncanakan. Keakuratan data penduduk eksisting menjadi salah satu faktor penting dalam perhitungan proyeksi penduduk karena hasil proyeksi selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan kapasitas sistem pengelolaan air limbah domestik.

Dalam perencanaan ini menggunakan data yang didapat dari Kelurahan Dago sebagai dasar perhitungan untuk memperkirakan kebutuhan di masa mendatang. Data yang diambil dari Kelurahan Dago merupakan data jumlah penduduk RW 03 Kelurahan Dago tahun 2020 – 2025. Adapun data jumlah penduduk RW 03 Kelurahan Dago tahun 2020 – 2025 tertera pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Data Penduduk RW 03 Kelurahan Dago

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)
2016	3.681
2017	3.718
2018	3.755
2019	3.793
2020	3.831
2021	3.869

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)
2022	3.908
2023	3.947
2024	3.986
2025	4.026
Σ Total	38.514

Sumber: Kelurahan Dago Tahun 2025

4.4.2 Penduduk Rencana Menggunakan Metode Aritmatika

Teknik proyeksi penduduk dengan metode aritmatika berlandaskan pada asumsi bahwa jumlah penambahan penduduk di suatu wilayah bersifat tetap atau stabil pada setiap periode tahunan (Dinas Komunikasi dan Informatika Kabupaten Malang, 2023). Adapun rumus proyeksi penduduk metode aritmatika sebagai berikut:

$$[K_a = \frac{P_t - P_o}{T_t - T_o}] \quad (1)$$

$$[P_n = P_o + K_a(T_n - T_o)] \quad (2)$$

Dimana:

Ka = Rata-rata pertambahan jumlah penduduk per tahun (jiwa/tahun)

Pt = Jumlah penduduk pada tahun akhir data (jiwa)

Po = Jumlah penduduk pada tahun awal data (jiwa)

Tt = Tahun terakhir data penduduk

To = Tahun awal data penduduk

Maka, dihitung:

$$K_a = \frac{P_{2025} - P_{2016}}{T_{2025} - T_{2016}}$$

$$K_a = \frac{4026 - 3681}{2025 - 2016}$$

$$K_a = \frac{345}{9}$$

$$K_a = 38,33 \text{ jiwa/tahun}$$

$$P_{2035} = P_{2025} + K_a(2035 - 2025)$$

$$P_{2035} = 4.206 + 38,3 (2035 - 2025)$$

$$P_{2035} = 4.206 + 38,3 (10)$$

$$P_{2035} = 4.409 \text{ jiwa}$$

Tabel 4.2 Perhitungan Uji Korelasi Metode Aritmatika

Tahun	Penduduk (Yi)	Xi	Xi.Yi	Yi^2	Xi^2
2016	3.681	1	3681	13.549.761	1
2017	3.718	2	7436	13.823.524	4
2018	3.755	3	11265	14.100.025	9
2019	3.793	4	15172	14.386.849	16
2020	3.831	5	19155	14.676.561	25
2021	3.869	6	23214	14.969.161	36
2022	3.908	7	27356	15.272.464	49
2023	3.947	8	31576	15.578.809	64
2024	3.986	9	35874	15.888.196	81
2025	4.026	10	40260	16.208.676	100
Σ Total	38.514	55	214.989	148.454.026	385

Sumber: Hasil Perhitungan

Uji korelasi beserta contoh perhitungan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$r = \frac{[n \times (\sum XiYi)] - [(\sum Xi) \times (\sum Yi)]}{\sqrt{n(\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2} \times \sqrt{n(\sum Yi^2) - (\sum Yi)^2}}$$

$$r = \frac{[10 \times (176475)] - [(45) \times (38514)]}{\sqrt{10(285) - (45)^2} \times \sqrt{10(148454026) - (38514)^2}}$$

$$r = \frac{[1764750] - (1733130)}{\sqrt{(2850 - 2025) \times (1484540260 - 1483328196)}}$$

$$r = \frac{31620}{\sqrt{(825 \times 1212064)}}$$

$$r = \frac{31620}{\sqrt{999952800}}$$

$$r = \frac{31620}{31621,08}$$

$$r = 0,9999935 \approx 1$$

Tabel 4.3 Perhitungan Standar Deviasi Metode Aritmatika

Tahun	Penduduk (Yi)	Xi	Yn	(Yi - Yn)	(Yi - Yn)^2
2016	3.681	1	3.681	0	0

Tahun	Penduduk (Yi)	Xi	Yn	(Yi - Yn)	(Yi - Yn)^2
2017	3.718	2	3.719	-1	2
2018	3.755	3	3.758	-3	7
2019	3.793	4	3.796	-3	9
2020	3.831	5	3.834	-3	11
2021	3.869	6	3.873	-4	13
2022	3.908	7	3.911	-3	9
2023	3.947	8	3.949	-2	5
2024	3.986	9	3.988	-2	3
2025	4.026	10	4.026	0	0
Σ Total	38.514	55	38.535	-21	60

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan standar deviasi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(Yi - Yn)^2}{n - 2}} \quad (3)$$

Dimana:

Sd = Standar deviasi

Yi = Penduduk awal tahun (jiwa)

Yn = Jumlah penduduk pada waktu n mendatang (jiwa)

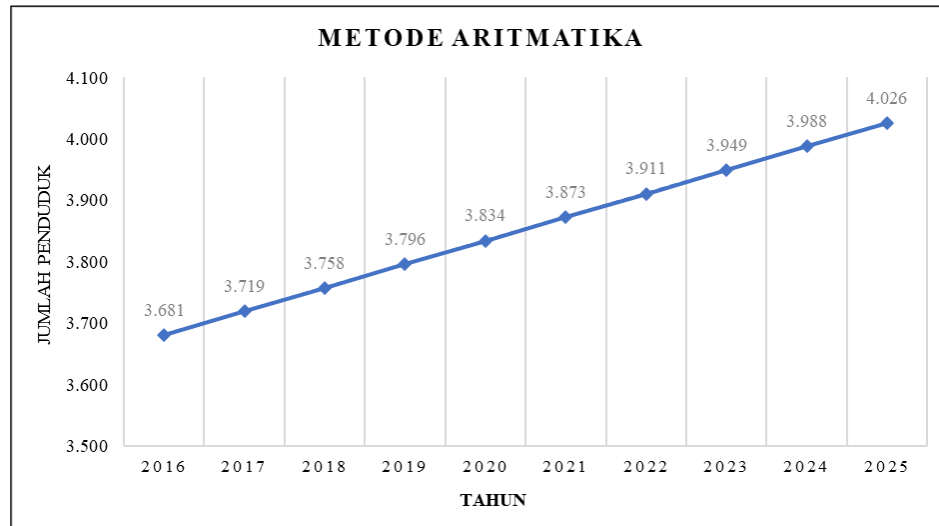
Adapun contoh perhitungan standar deviasi sebagai berikut:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(Yi - Yn)^2}{n - 2}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{60}{10 - 2}}$$

$$Sd = \sqrt{7,5}$$

$$Sd = 2,738$$



Gambar 4.1 Proyeksi Pertumbuhan Penduduk Metode Aritmatika

Sumber: Hasil Perhitungan

4.4.3 Penduduk Rencana Menggunakan Metode Geometrik

Metode geometrik dalam proyeksi penduduk merupakan metode dengan mengasumsikan pertumbuhan jumlah penduduk tiap tahunnya semakin cepat atau tidak berubah dari tahun ke tahun (Dinas Komunikasi dan Informatika Kabupaten Malang, 2023). Adapun rumus proyeksi penduduk metode geometrik sebagai berikut:

Tabel 4.4 Perhitungan Uji Korelasi Metode Geometrik

Tahun	Penduduk (Yi)	Xi	Xi ²	InYi	Xi.Yi	Xi.InYi	InYi ²
2016	3.681	1	1	8,211	3681	8,21	67,420
2017	3.718	2	4	8,221	7436	16,44	67,584
2018	3.755	3	9	8,231	11265	24,69	67,747
2019	3.793	4	16	8,241	15172	32,96	67,913
2020	3.831	5	25	8,251	19155	41,25	68,077
2021	3.869	6	36	8,261	23214	49,56	68,240
2022	3.908	7	49	8,271	27356	57,90	68,406
2023	3.947	8	64	8,281	31576	66,25	68,570
2024	3.986	9	81	8,291	35874	74,61	68,733
2025	4.026	10	100	8,301	40260	83,01	68,899
Σ Total	38.514	55	385	82,558	214.989	454,89	681,588

Sumber: Hasil Perhitungan

Proyeksi penduduk dilakukan menggunakan metode geometrik dengan pendekatan regresi berdasarkan data jumlah penduduk tahun 2016–2025. Perhitungan dilakukan dengan menentukan nilai periode waktu (X) dan nilai logaritma natural jumlah penduduk (Y). Hubungan antara kedua variabel tersebut dinyatakan dalam persamaan regresi sebagai berikut:

$$[Y_i = a + bX_i] \quad (4)$$

Variabel (Y) merupakan logaritma natural dari jumlah penduduk, (X) merupakan periode waktu, (a) merupakan konstanta regresi, dan (b) merupakan koefisien regresi. Nilai (a) dan (b) diperoleh melalui perhitungan regresi berdasarkan data jumlah penduduk pada periode sebelumnya dengan menggunakan persamaan berikut:

$$[b = \frac{n \sum X_i \ln Y_i - (\sum X_i)(\sum \ln Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}] \quad (5)$$

$$[a = \frac{\sum \ln Y_i - b \sum X_i}{n}] \quad (6)$$

Dimana:

- a = Konstanta regresi
- b = Koefisien regresi
- X_i = Periode waktu pengamatan
- Y_i = Logaritma natural jumlah penduduk
- n = jumlah data pengamatan

Berdasarkan nilai a dan b yang diperoleh, jumlah penduduk pada tahun proyeksi dihitung menggunakan persamaan eksponensial sebagai berikut:

$$[P_n = e^{a+bX_n}] \quad (7)$$

Dimana:

- P_n = Jumlah penduduk hasil proyeksi pada tahun ke n (jiwa)

- e = Bilangan Euler
 a = Konstanta regresi
 b = Koefisien regresi
 X_n = Periode waktu pada tahun yang di proyeksikan

Maka, dihitung:

$$\begin{aligned}
 b &= \frac{(10 \times 454,89) - (55 \times 82,558)}{(10 \times 385) - (55)^2} & a &= \frac{82,558 - (0,009952 \times 55)}{10} \\
 b &= \frac{(4548,9) - (4540,69)}{(3850) - (3025)^2} & a &= \frac{82,01064}{10} \\
 b &= \frac{(4548,9) - (4540,69)}{(3850) - (3025)} & a &= 8,201064 \\
 b &= \frac{8,21}{825} = 0,009952
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{2016} &= e^{8,201064 + 0,009952 \times 1} & P_{2035} &= e^{8,201064 + 0,009952 \times 20} \\
 P_{2016} &= e^{8,211016} & P_{2035} &= e^{8,400104} \\
 P_{2016} &= 3681,281 \approx 3681 \text{ jiwa} & P_{2035} &= 4447,529 \approx 4448 \text{ jiwa}
 \end{aligned}$$

Uji korelasi beserta contoh perhitungan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{[n \times (\sum X_i Y_i)] - [(\sum X_i) \times (\sum \ln Y_i)]}{\sqrt{(n(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2) \times (n(\sum \ln Y_i^2) - (\sum \ln Y_i)^2)}} \\
 r &= \frac{[10 \times (454,89)] - [(55) \times (82,55783)]}{\sqrt{(10 \times 385 - (55)^2) \times (10(681,5877641) - (82,55783)^2)}} \\
 r &= \frac{4548,9 - 4540,680}{\sqrt{825 \times (10 \times 681,5878 - 6815,79529)}} \\
 r &= \frac{8,22}{\sqrt{825 \times 0,082713}} \\
 r &= \frac{8,2}{\sqrt{67,7325}} \\
 r &= \frac{8,22}{8,229975} \\
 r &= 0,99998
 \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Perhitungan Standar Deviasi Metode Geometrik

Tahun	Penduduk (Yi)	Xi	Yn	(Yi-Yn)	(Yi-Yn)^2
2016	3.681	1	3681	-0,1945	0,0378
2017	3.718	2	3718	-0,0183	0,0003
2018	3.755	3	3755	-0,2104	0,0443
2019	3.793	4	3793	0,2254	0,0508
2020	3.831	5	3831	0,2855	0,0815
2021	3.869	6	3869	-0,0339	0,0012
2022	3.908	7	3908	0,2633	0,0693
2023	3.947	8	3947	0,1734	0,0301
2024	3.986	9	3986	-0,3076	0,0946
2025	4.026	10	4026	-0,1834	0,0337
Σ Total	38.514	55	38.514	-0,0005	0,4436

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan standar deviasi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Sd = \sqrt{\frac{\Sigma(Yi - Yn)^2}{n - 2}} \quad (8)$$

Dimana:

Sd = Standar deviasi

Yi = Penduduk awal tahun (jiwa)

Yn = Jumlah penduduk pada waktu n mendatang (jiwa)

N = jumlah data pengamatan

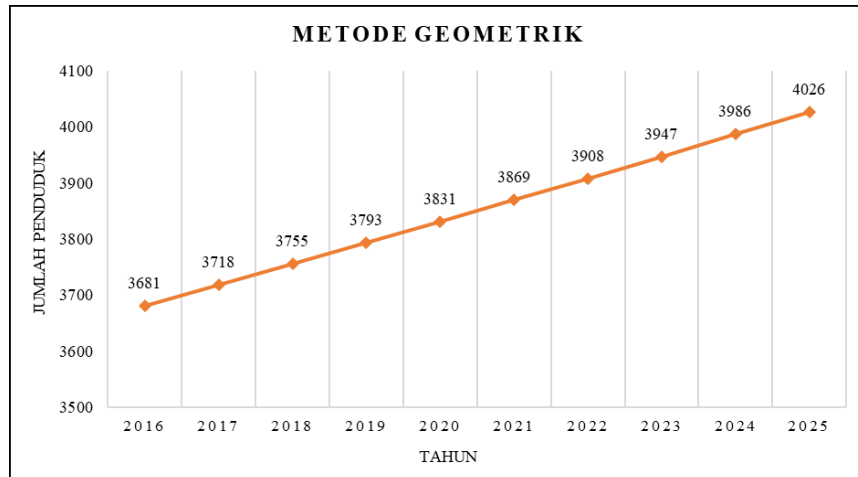
Adapun contoh perhitungan standar deviasi sebagai berikut:

$$Sd = \sqrt{\frac{\Sigma(Yi - Yn)^2}{n - 2}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{0,4436}{10 - 2}}$$

$$Sd = \sqrt{0,05545}$$

$$Sd = 0,235$$



Gambar 4.2 Proyeksi Pertumbuhan Penduduk Metode Geometrik
Sumber: Hasil Perhitungan

4.4.4 Penduduk Rencana Menggunakan Metode *Least Square*

Metode *least square* merupakan metode perhitungan proyeksi penduduk yang menggunakan asumsi linear untuk memprediksi jumlah populasi di masa depan. Meskipun dinamika penduduk di lapangan seringkali, metode ini tetap menjadi pilihan efektif, terutama dalam memodelkan untuk wilayah yang memiliki laju pertumbuhan yang tinggi (Ananta, 1993). Adapun rumus proyeksi penduduk metode *least square* sebagai berikut:

$$Y = a + bX \quad (9)$$

$$a = \frac{[(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)]}{(n(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2)} \quad (10)$$

$$b = \frac{[n(\sum X_i Y_i) - (\sum X_i)(\sum Y_i)]}{[n(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2]} \quad (11)$$

Adapun contoh perhitungan proyeksi penduduk dengan metode *least square* untuk RW 03 Kelurahan Dago sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad a &= \frac{[(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)]}{(n(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2)} \\ a &= \frac{[(38514)(385) - (55)(214,989)]}{(10(385) - (55)^2)} \\ a &= \frac{[14827 - 11824]}{(3850 - 3025)} \\ a &= 3640 \text{ jiwa/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b)} \quad b &= \frac{[n(\sum XiYi) - (\sum Xi)(\sum Yi)]}{[(n(\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2)]} \\
 b &= \frac{[10(214,989) - (55)(38514)]}{[(10(385) - (55)^2)]} \\
 b &= \frac{[2149,890 - 2118,270]}{[(3850 - 3025)]} \\
 b &= 38,32727 \text{ jiwa/tahun} \\
 \text{c)} \quad Y_{2016} &= a + bX \\
 Y_{2016} &= 3640,6 + 38,32727 \times 1 \\
 Y_{2016} &= 3679 \text{ jiwa} \\
 Y_{2035} &= 3640,6 + 38,32727 \times 20 \\
 Y_{2035} &= 4407 \text{ jiwa}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.6 Perhitungan Uji Korelasi Metode *Least Square*

Tahun	Penduduk (Yi)	Xi	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
2016	3.681	1	3.681	1	13.549.761
2017	3.718	2	7.436	4	13.823.524
2018	3.755	3	11.265	9	14.100.025
2019	3.793	4	15.172	16	14.386.849
2020	3.831	5	19.155	25	14.676.561
2021	3.869	6	23.214	36	14.969.161
2022	3.908	7	27.356	49	15.272.464
2023	3.947	8	31.576	64	15.578.809
2024	3.986	9	35.874	81	15.888.196
2025	4.026	10	40.260	100	16.208.676
Σ Total	38.514	55	214.989,0	385,00	148.454.026

Sumber: Hasil Perhitungan

Uji korelasi beserta contoh perhitungan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{[n \times (\sum XiYi)] - [(\sum Xi) \times (\sum Yi)]}{\sqrt{[n(\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2] \times [n(\sum Yi^2) - (\sum Yi)^2]}} \\
 r &= \frac{[10 \times (214,989)] - [(55) \times (38514)]}{\sqrt{10(385) - (55)^2 \times (10(148454026) - (38514)^2)}} \\
 r &= \frac{2.149.890 - 2.118.270}{\sqrt{(3850 - 3025) \times (1484540260 - 1483328196)}}
 \end{aligned}$$

$$r = \frac{31620}{\sqrt{(825 \times 1212064)}}$$

$$r = \frac{31620}{31622,205}$$

$$r = 0,99993$$

Tabel 4.7 Perhitungan Standar Deviasi Metode *Least Square*

Tahun	Penduduk (Yi)	Yn	(Yi-Yn)	(Yi-Yn) ²
2016	3.681	3.679	2	4
2017	3.718	3.717	1	1
2018	3.755	3.756	-1	0
2019	3.793	3.794	-1	1
2020	3.831	3.832	-1	2
2021	3.869	3.871	-2	2
2022	3.908	3.909	-1	1
2023	3.947	3.947	0	0
2024	3.986	3.986	0	0
2025	4.026	4.024	2	5
Σ Total	38.514	38.514	0	16

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan standar deviasi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (Yi - Yn)^2}{n - 2}} \quad (12)$$

Dimana:

Sd = Standar deviasi

Yi = Penduduk awal tahun (jiwa)

Yn = Jumlah penduduk pada waktu n mendatang (jiwa)

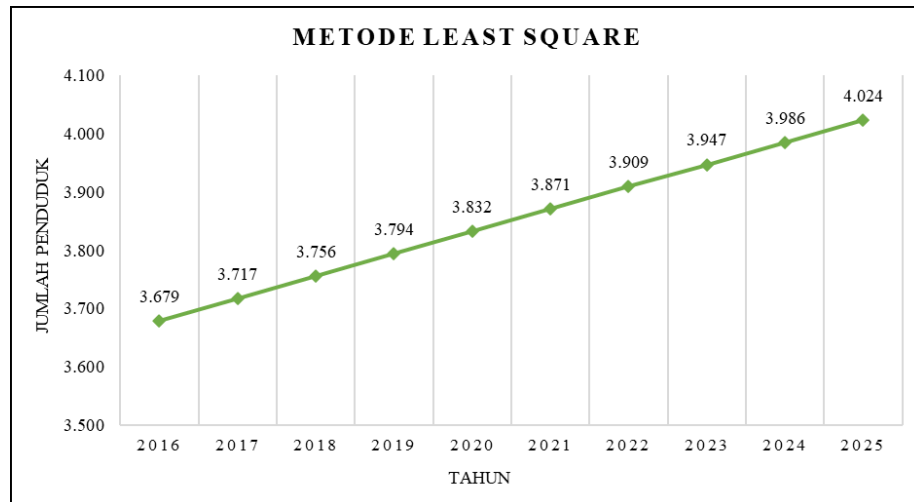
n = jumlah data pengamatan

Adapun contoh perhitungan standar deviasi sebagai berikut:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(Y_i - Y_n)^2}{n - 2}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{16}{10 - 2}}$$

$$Sd = 1,4$$



Gambar 4.3 Proyeksi Pertumbuhan Penduduk Metode *Least Square*

Sumber: Hasil Perhitungan

4.4.5 Pemilihan Metode Proyeksi

Dalam menentukan metode proyeksi terpilih untuk menghitung proyeksi penduduk daerah pelayanan sampai tahun perencanaan, ada pertimbangan yang perlu dilakukan, diantaranya:

1. Nilai koefisien korelasi (r) harus bernilai 1 atau -1 dan/atau mendekati keduanya.
2. Nilai standar deviasi (SD) metode terpilih harus yang paling kecil dikarenakan nilai terkecil menunjukkan jika data yang didapat dari proyeksi tidak berbeda jauh dengan data aslinya.

Hasil perhitungan nilai koefisien korelasi dan standar deviasi dari tiga metode yang akan digunakan sebagai berikut:

Tabel 4. 8 Perbandingan Hasil Nilai Standar Deviasi dan Koefisien Korelasi Antar Metode

Metode	Standar Deviasi	Koefisien Korelasi
Aritmatika	2,730994935	0,999935795
Geometrik	0,235466586	0,999998188
Least Square	1,39479552	0,999935795

Sumber: Hasil Perhitungan

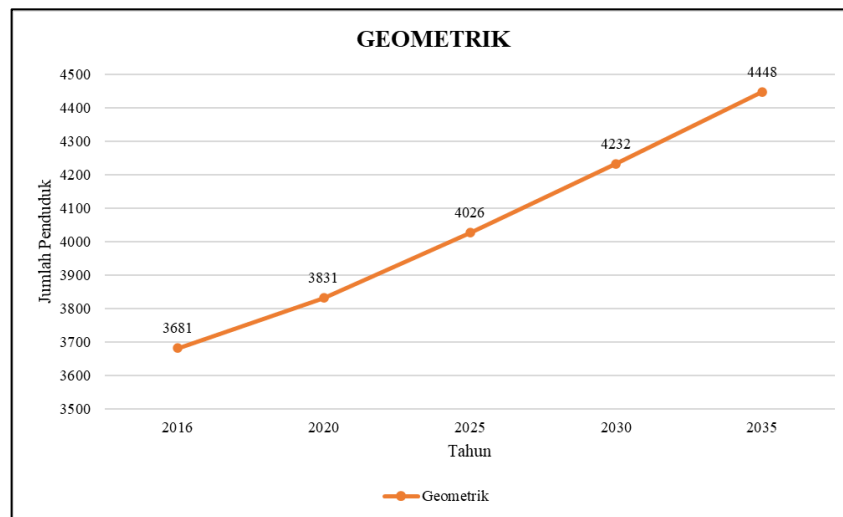
Berdasarkan pertimbangan dari pemilihan metode yang telah diuraikan sebelumnya dan melihat data pada **Tabel 4.8**, metode proyeksi pertumbuhan penduduk terpilih adalah Metode Geometrik dikarenakan nilai koefisien korelasi mendekati 1 serta memiliki nilai standar deviasi yang paling kecil diantara metode lainnya. Adapun perbandingan proyeksi penduduk dengan tiga metode yang digunakan selama 10 tahun sebagai berikut:

Tabel 4. 9 Perbandingan Proyeksi Penduduk 10 Tahun Antar Metode

Tahun	Jumlah Tahun Proyeksi	Proyeksi Penduduk		
		Aritmatika	Geometrik	Least Square
2016	1	3681	3681	3679
2017	2	3719	3718	3717
2018	3	3758	3755	3756
2019	4	3796	3793	3794
2020	5	3834	3831	3832
2021	6	3873	3869	3871
2022	7	3911	3908	3909
2023	8	3949	3947	3947
2024	9	3988	3986	3986
2025	10	4026	4026	4024
2026	11	4064	4066	4062
2027	12	4103	4107	4101
2028	13	4141	4148	4139
2029	14	4179	4190	4177
2030	15	4218	4232	4216
2031	16	4256	4274	4254
2032	17	4294	4317	4292
2033	18	4333	4360	4330
2034	19	4371	4404	4369

Tahun	Jumlah Tahun Proyeksi	Proyeksi Penduduk		
		Aritmatika	Geometrik	Least Square
2035	20	4409	4448	4407

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.4 Proyeksi Penduduk Selama 20 Tahun Metode Geometrik

Sumber: Hasil Perhitungan

4.5 Dasar Perencanaan Pengolahan Air Limbah

4.5.1 Kapasitas IPAL

Efisiensi kinerja suatu instalasi pengolahan sangat dipengaruhi oleh kapasitas IPAL, yaitu batas kemampuan fisik sistem dalam mendegradasi laju alir limbah cair beserta akumulasi beban pencemar di dalamnya. Oleh karena itu, penentuan kapasitas harus dilakukan secara komprehensif dengan mempertimbangkan aspek proyeksi pertambahan penduduk di masa mendatang, karakteristik limbah, potensi perubahan volume, penyediaan ruang aman untuk mengatasi fluktuasi aliran harian, serta kesesuaian terhadap standar regulasi lokal. Penghitungan kapasitas rancangan ini dilakukan dengan mengalikan estimasi timbulan air limbah per kapita terhadap total populasi pada tahun rencana. Nilai debit representatif tersebut yang nantinya diaplikasikan sebagai basis utama dalam menentukan dimensi volumetrik pada masing-masing unit proses pengolahan.

4.5.2 Pemilihan Teknologi Pengolahan

Menurut Irman (2015) pemilihan teknologi untuk pengolahan limbah domestik dilakukan berdasarkan beberapa pertimbangan di antaranya kualitas, kuantitas air limbah domestik yang akan diolah, biaya operasional dan pemeliharaan, kebutuhan lahan, jumlah lumpur yang dihasilkan, kemudahan proses operasional dan ketersediaan sumber daya manusia, serta kualitas hasil olahan. Berikut merupakan penjelasan setiap pertimbangan pemilihan teknologi pengolahan limbah domestik, yaitu:

1. Kualitas dan kuantitas air limbah domestik yang akan diolah, kuantitas air limbah digunakan untuk menentukan jumlah beban pencemar yang akan diolah. Kualitas air limbah domestik berdasarkan pendekatan aktual di lapangan dibagi menjadi tiga kategori yaitu:
 - a. Air limbah dengan tingkat pencemaran rendah ($BOD < 300$ mg/L).
 - b. Air limbah dengan tingkat pencemaran sedang ($300 \text{ mg/L} < BOD < 500 \text{ mg/L}$).
 - c. Air limbah dengan tingkat pencemaran tinggi ($BOD > 500$ mg/L). Kualitas dan kuantitas air limbah dapat menentukan volume reaktor, jumlah media, desain waktu detensi di dalam reaktor, jumlah volume udara untuk proses aerasi dan besarnya pompa untuk resirkulasi.
2. Biaya operasional dan pemeliharaan, ditentukan oleh kebutuhan listrik, biaya bahan kimia, pemeliharaan dari masing-masing jenis IPAL.
3. Kebutuhan lahan, setiap unit pengolahan air limbah memiliki karakteristik laju pengolahan, kualitas dan kuantitas yang berbeda. Hal tersebut dapat mempengaruhi perencanaan waktu detensi dan efisiensi proses bangunan pengolah air limbah. Apabila waktu detensi semakin besar, maka lahan yang dibutuhkan akan semakin besar pula.

4. Jumlah akumulasi lumpur, semakin banyak lumpur yang dihasilkan dalam instalasi maka diperlukan penanganan dan unit khusus yang akan menambah biaya operasional.
5. Kemudahan proses operasional dan ketersediaan sumber daya manusia, faktor kemudahan pengoperasian dan ketersediaan SDM untuk mengoperasikan IPAL perlu dipertimbangkan karena berkaitan dengan biaya operasional yang harus ditanggung oleh pengelola.
6. Kualitas hasil olahan, semakin tinggi kelas sungai penerima air olahan maka efisiensi pengolahan air limbah perlu ditingkatkan agar air olahan dapat sesuai dengan baku mutu dan tidak mencemari sungai penerima.

4.5.3 Pemilihan Lokasi IPALD Terpusat

Pemilihan lokasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPALD) harus mengacu pada ketentuan yang tercantum dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 04 Tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik. Adapun kriteria yang digunakan dalam pemilihan lokasi IPALD adalah sebagai berikut:

- a. Jarak IPAL dengan permukiman, jarak minimum IPAL dengan permukiman dan pusat kota yaitu 3 km.
- b. Topografi dan kemiringan lahan, kemiringan tanah dinilai lebih baik jika memiliki kemiringan 2%. Sistem distribusi IPAL dinilai baik jika permukiman terletak lebih tinggi dari letak IPAL (sistem distribusi dialirkan secara gravitasi).
- c. Jenis tanah, jenis tanah yang baik digunakan untuk lokasi IPAL yaitu tanah dari jenis yang kedap air seperti tanah lempung.
- d. Badan air penerima, berperan dalam penentuan besarnya kualitas efluen yang harus dicapai oleh IPAL. Hasil olahan dari IPAL perlu memperhatikan pembagian kelas sungai yaitu kelas I hingga kelas IV. Jika hasil olahan dibuang ke sungai dengan kelas I, maka efisiensi IPAL perlu ditingkatkan sehingga air hasil olahan dapat

memenuhi baku mutu sungai kelas I. Lokasi IPAL perlu mempertimbangkan jarak menuju badan air penerima terdekat karena berhubungan dengan efisiensi sistem perpipaan. Jika jarak terlalu jauh antara IPAL dengan badan air penerima, maka hal tersebut dapat meningkatkan biaya, kesulitan pemasangan dan pemeliharaan sistem perpipaan.

- e. Banjir, lokasi IPAL harus dibangun di lokasi yang bebas dari banjir.
- f. Tata guna lahan, lahan tidak produktif dapat digunakan untuk pembangunan IPAL.
- g. Legalitas lahan, lahan yang digunakan untuk lokasi IPAL merupakan lahan yang tidak bermasalah atau kepemilikan lahan yang jelas, dan lebih baik jika lahan tersebut adalah lahan milik pemerintah, memiliki kesesuaian dengan Rencana Umum Tata Ruang (RUTR) / Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW), serta lahan tersebut mendapatkan izin dari masyarakat sekitar.
- h. Batas administrasi wilayah, lokasi IPAL terletak pada batas administrasi kota yang berkepentingan.

4.5.4 Penentuan Karakteristik *Influen*

Penentuan karakteristik air limbah influen merupakan salah satu tahapan penting dalam perencanaan instalasi pengolahan air limbah. Karakteristik ini digunakan sebagai dasar untuk memperkirakan besarnya beban pencemar yang masuk ke sistem serta menentukan konsentrasi rata-rata air limbah influen yang akan digunakan pada perancangan unit pengolahan. Tahapan perhitungan karakteristik influen pada penelitian ini disajikan sebagai berikut.

- a. Jumlah penduduk yang dilayani
Jumlah penduduk yang dilayani merupakan jumlah penduduk hasil proyeksi pada tahun rencana yang menjadi dasar dalam perhitungan karakteristik influen dan kapasitas IPAL. Pada penelitian ini, jumlah penduduk yang digunakan adalah sebanyak 4.407 jiwa sesuai hasil proyeksi penduduk RW 03 Kelurahan Dago pada tahun 2035. Oleh

karena itu, nilai tersebut digunakan secara langsung dalam seluruh tahapan perhitungan beban pencemar dan debit air limbah.

b. Debit air bersih total

Perhitungan debit air bersih total digunakan untuk menentukan jumlah total air bersih yang dikonsumsi oleh penduduk yang dilayani sebagai dasar dalam memperkirakan timbulan air limbah domestik. Debit air bersih total diperoleh dari konsumsi air bersih perkapita dikalikan jumlah penduduk.

c. Debit air limbah

Perhitungan debit air limbah digunakan untuk menentukan besarnya air limbah yang dihasilkan penduduk, yang diasumsikan sebagai persentase dari debit air bersih total dan menjadi dasar perencanaan kapasitas sistem pengolahan. Debit air limbah diasumsikan sebagai persentase dari debit air bersih total.

d. Beban BOD Total

Perhitungan beban BOD total digunakan untuk menentukan jumlah total beban pencemar organik yang dihasilkan oleh penduduk sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan dan evaluasi kinerja unit pengolahan air limbah. Beban BOD total dihitung berdasarkan BOD perkapita dan jumlah penduduk yang dilayani.

e. Konsentrasi BOD *Influen*

Perhitungan konsentrasi BOD influen digunakan untuk menentukan kadar BOD air limbah yang masuk ke sistem pengolahan berdasarkan perbandingan antara beban BOD total dan debit air limbah. Konsentrasi BOD Influen diperoleh dari pembagian beban BOD total dengan debit air limbah.

f. Beban COD

Beban *Chemical Oxygen Demand (COD)* menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dan anorganik dalam air limbah secara kimia. Nilai beban COD digunakan

untuk menggambarkan total kandungan bahan pencemar yang berpotensi memberikan beban terhadap unit pengolahan.

g. Konsentrasi COD *Influen*

Perhitungan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand (COD) influen* dilakukan untuk memperkirakan konsentrasi senyawa organik dan anorganik yang dapat teroksidasi secara kimia dalam air limbah domestik berdasarkan beban COD total dan debit air limbah rencana. Nilai konsentrasi COD influen digunakan sebagai salah satu parameter desain dalam perencanaan unit pengolahan air limbah, khususnya untuk mengevaluasi karakteristik influen dan menentukan beban pencemar yang akan diterima oleh setiap unit pengolahan.

h. Beban TSS

Perhitungan konsentrasi TSS *influen* dilakukan untuk menentukan konsentrasi padatan tersuspensi dalam air limbah berdasarkan beban TSS total dan debit air limbah yang direncanakan. Nilai tersebut digunakan sebagai salah satu parameter desain unit pengolahan air limbah. Konsentrasi TSS *Influen*.

4.5.5 Perhitungan Debit Air Limbah

Dalam menentukan debit, diperlukan beberapa hal yang perlu diperhitungkan yaitu:

A. Kebutuhan Air Bersih Domestik

Penentuan kebutuhan air bersih domestik mengacu pada standar yang ditetapkan oleh Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003) dan SNI 19-6728.1-2002.

Tabel 4.10 Standar Kebutuhan Air Rumah Tangga Berdasarkan Jenis Kota dan Jumlah Penduduk

Jumlah Penduduk	Jenis Kota	Jumlah Kebutuhan Air (Liter/orang/hari)
>2.000.000	Metropolitan	>210
1.000.000 – 2.000.000	Metropolitan	150 - 210

Jumlah Penduduk	Jenis Kota	Jumlah Kebutuhan Air (Liter/orang/hari)
500.000 – 1.000.000	Besar	120 – 150
100.000 – 500.000	Besar	100 – 150
20.000 – 100.000	Sedang	90 – 100
3.000 – 20.000	Kecil	60 - 100

Sumber: Osly, et al., 2018

Perhitungan debit air limbah menggunakan hasil perhitungan jumlah penduduk yang di dapatkan kemudian dikalikan dengan standar kebutuhan air bersih rumah tangga kota besar dalam satuan liter/orang/hari sesuai dengan **Tabel 4.10** Kelurahan Dago, Kota Bandung termasuk ke dalam kota besar sehingga jumlah kebutuhan air yang digunakan yaitu 150 liter/orang/hari.

$$Q_{\text{air bersih}} = P_n \times q \quad (13)$$

Dimana:

$Q_{\text{air bersih}}$ = Total volume air bersih yang dibutuhkan (L/hari)

P_n = Angka hasil proyeksi penduduk

q = Standar pemakaian air (liter/orang/hari)

Berdasarkan hasil perhitungan, maka:

Jumlah penduduk = 4.448 jiwa

Kebutuhan air = 150 L/orang/hari

$Q_{\text{air bersih}} = 4.448 \text{ jiwa} \times 150 \text{ L/orang/hari}$

$Q_{\text{air bersih}} = 667.133 \text{ L/hari}$

$Q_{\text{air bersih}} = 667,13 \text{ m}^3/\text{hari}$

B. Kebutuhan Air Bersih Non Domestik

Selain air limbah domestik yang berasal dari aktivitas rumah tangga, kawasan perencanaan juga menghasilkan air limbah non-domestik yang berasal dari berbagai fasilitas umum dan fasilitas sosial. Air limbah tersebut turut memberikan kontribusi terhadap debit air

limbah yang masuk ke sistem IPAL sehingga perlu diperhitungkan dalam perencanaan kapasitas pengolahan. Perhitungan debit air limbah non-domestik dilakukan berdasarkan jenis fasilitas, jumlah pengguna, serta kebutuhan air sesuai dengan standar yang digunakan.

Tabel 4.11 Kebutuhan Air Bersih Non Domestik

Tahun	Sarana Pendidikan (l/dtk)	Sarana Peribadatan (l/dtk)	Sarana Kesehatan (l/dtk)	Sarana Perdagangan dan Jasa (l/dtk)	Total Kebutuhan Non Domestik (l/dtk)
2026	0,00168	0,00102	0	0	0,0027
2030	0,00185	0,00215	0	0	0,004
2035	0,00203	0,00215	0	0	0,00419

Sumber: Hasil Perhitungan

C. Timbulan Air Limbah

Menurut Ratnawati, *et al.* (2014) bahwa terdapat hubungan yang cukup erat antara rata-rata penggunaan air dengan penggunaan air per orang per hari terhadap jumlah air limbah yang dihasilkan, dan hubungan tersebut dapat dirumuskan secara sederhana sebagai berikut:

1. Debit rata-rata

$$\text{Debit } (Q_{\text{air limbah}}) = (60 - 80\%) \times Q_{\text{ab}} \quad (14)$$

Dimana:

$Q_{\text{limbah domestik}}$ = Timbulan air limbah Domestik (liter/hari)

Q_{ab} = Konsumsi air bersih (orang/hari)

60% - 80% = Faktor timbulan air limbah

Berdasarkan hasil perhitungan, maka:

$$\begin{aligned} Q_{\text{air limbah}} &= 80\% \times 667.133 \text{ L/hari} \\ &= 533.706 \text{ L/hari} \\ &= 0,006177157 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

2. Debit puncak

Menurut Masduki (2000) debit puncak dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{\text{peak}} = f_p \times Q_r \quad (15)$$

$$F_p = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad (16)$$

Dimana:

Q_{peak} = Debit puncak (l/detik)

f_p = Faktor puncak

Q_r = Debit rata-rata detik (l/detik)

Berdasarkan hasil perhitungan, maka:

$$\text{a) } F_p = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}}$$

$$F_p = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{4.448}}$$

$$F_p = 1,2$$

$$\text{b) } Q_{\text{peak}} = f_p \times Q_r$$

$$Q_{\text{peak}} = 1,2 \times 533.706 \text{ L/hari}$$

$$Q_{\text{peak}} = 639.405 \text{ L/hari}$$

$$Q_{\text{peak}} = 0,007400529 \text{ m}^3/\text{detik}$$

3. Debit maksimum

Menurut Masduki (2000) dalam Hervi L, *et al.* (2017) debit harian maksimum (Q_{md}) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_{\text{md}} = f_{\text{md}} \times Q_r \quad (17)$$

Dimana:

Q_{md} = Debit air limbah maksimum dalam 1 hari (l/detik)

F_{md} = Faktor debit harian maksimum, f_{md} : 1,1-1,25 (DPU, 1989)

Q_r = Debit rata-rata air limbah (l/detik)

4. Debit minimum

Debit minimum adalah debit air limbah pada saat pemakaian air minimum yang digunakan dalam menentukan kedalaman. Debit minimum dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{\text{min}} = f_{\text{min}} \times Q_r \quad (18)$$

$$F_{\text{min}} = \frac{1}{F_p} \quad (19)$$

Dimana:

Q_{min} = Debit hari minimum (l/detik)

$f_{\min}$ = Faktor debit hari minimum = 0,3-0,5

Q_r = Debit (l/detik)

Berdasarkan hasil perhitungan, maka:

a) $F_{\min} = \frac{1}{Fp}$

$$F_{\min} = \frac{1}{1,2}$$

$$F_{\min} = 0,85$$

b) $Q_{\min} = f_{\min} \times Q_r$

$$Q_{\min} = 0,85 \times 533.706 \text{ L/hari}$$

$$Q_{\min} = 445.479 \text{ L/hari}$$

$$Q_{\min} = 0,00515602 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Tabel 4.12 Rekap Hasil Perhitungan Air Limbah

No.	Uraian	Hasil	Satuan (m ³ /detik)
1	Jumlah penduduk	4.448	-
2	Faktor timbunan air limbah	80%	-
3	Kebutuhan air bersih domestik	667.132 l/hari	0,00772145
4	Debit rata-rata	533.706 l/hari	0,00617716
5	Debit puncak	639.405 l/hari	0,00740053
6	Debit maksimum	667.132 l/hari	0,00772145
7	Debit minimum	445.48 l/hari	0,00515602
8	Timbunan air limbah non domestik	0,003352 l/hari	3,8796E-11
9	Timbunan air limbah total	533.706 l/hari	0,00617716

Sumber: Hasil Perhitungan

4.5.6 Hasil Karakteristik Air Limbah

Tabel 4.13 Analisa Perbandingan Kualitas Air Limbah Domestik dengan Standar Baku Mutu Air Limbah Domestik

Parameter	Konsentrasi Literatur	Standar Baku Mutu Air Limbah PerMenLH/BPL No. 11 Tahun 2025	Satuan	Kadar Penyisihan	Keterangan
pH	8,54*2	6 - 9	-	-	Tidak perlu pengolahan
BOD	128*1	30	mg/l	60,94%	Perlu Pengolahan
COD	387,75*3	100	mg/l	74,210%	Perlu Pengolahan
TSS	104*1	30	mg/l	71,15%	Perlu Pengolahan
Minyak dan Lemak	50,1*2	5	mg/l	90%	Perlu Pengolahan

*1 IPAL Komunal Wallagri

*2 IPAL sAIIIG Kota Cimahi RW 18 & 19

*3 IPAL Komunal Janti Kota Malang

Data karakteristik air limbah domestik yang digunakan dalam penelitian ini tidak diperoleh melalui pengambilan sampel secara langsung di wilayah perencanaan. Hal tersebut disebabkan oleh adanya keterbatasan waktu dan biaya dalam pelaksanaan penelitian, sehingga pengujian kualitas air limbah secara primer belum dapat dilakukan. Oleh karena itu, karakteristik air limbah domestik yang digunakan dalam perencanaan diperoleh melalui studi literatur dan hasil pengujian kualitas air limbah dari beberapa instalasi pengolahan air limbah domestik yang memiliki karakteristik penggunaan yang relevan dengan wilayah perencanaan. Pemilihan data sekunder dilakukan dengan mempertimbangkan kesesuaian jenis air limbah yang digunakan, karakteristik parameter yang dianalisis, serta kedekatan karakteristik wilayah dan sistem pelayanan dengan lokasi perencanaan. Berdasarkan hasil studi literatur, diperoleh data konsentrasi parameter pH, BOD, COD, TSS, serta minyak dan lemak yang selanjutnya digunakan sebagai dasar

dalam menentukan karakteristik influen air limbah domestik pada perencanaan IPAL. Data pH dan minyak dan lemak diperoleh dari hasil pengujian IPAL komunal di Kota Cimahi RW 18 dan 19, sedangkan data BOD dan TSS diperoleh dari IPAL Komunal Walagri. Data COD diperoleh dari IPAL Komunal Janti, Kota Malang. Penggunaan beberapa sumber literatur dilakukan untuk memperoleh data karakteristik air limbah yang dapat digunakan sebagai dasar perencanaan, dengan mempertimbangkan ketersediaan data hasil pengujian untuk masing-masing parameter.

Data karakteristik air limbah tersebut selanjutnya dibandingkan dengan standar baku mutu air limbah domestik berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2025 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Perbandingan ini dilakukan untuk mengetahui kondisi masing-masing parameter terhadap batas baku mutu yang ditetapkan serta menentukan parameter pencemar yang memerlukan pengolahan dalam sistem IPAL yang direncanakan. Selain perbandingan antara konsentrasi karakteristik air limbah dengan standar baku mutu, dilakukan pula perhitungan kadar penyisihan atau removal efficiency. Perhitungan kadar penyisihan digunakan untuk mengetahui kemampuan unit pengolahan dalam mengurangi konsentrasi parameter pencemar dari air limbah serta menjadi dasar dalam menentukan kesesuaian alternatif teknologi pengolahan yang digunakan. Nilai removal efficiency menunjukkan persentase pengurangan konsentrasi parameter dari kondisi influen sebelum pengolahan hingga kondisi efluen setelah pengolahan. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung kadar penyisihan atau removal efficiency adalah sebagai berikut:

Perhitungan kadar penyisihan/ % Removal:

$$\% \text{Removal} = \frac{(\text{Air buangan terukur}) - (\text{standar air buangan})}{(\text{Air buangan terukur})} \times 100\% \quad (20)$$

Contoh perhitungan kadar penyisihan pada Parameter BOD:

$$\% \text{Removal} = \frac{128 - 50}{128} \times 100\% = 60,94\%$$

4.6 Penentuan Teknologi IPAL Menggunakan Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Pemilihan teknologi merupakan salah satu tahapan penting dalam perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPALD). Teknologi yang dipilih perlu disesuaikan dengan karakteristik air limbah yang akan diolah, kemampuan dalam memenuhi baku mutu efluen yang berlaku, kemudahan pengoperasian dan pemeliharaan, kebutuhan biaya, serta kondisi kawasan pelayanan.

Pada perencanaan ini, pemilihan teknologi pengolahan dilakukan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty (1980). AHP merupakan metode pengambilan keputusan multikriteria yang digunakan untuk menentukan prioritas dari beberapa alternatif berdasarkan sejumlah kriteria melalui proses perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*). Metode ini memungkinkan berbagai aspek yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan teknologi, seperti aspek teknis, ekonomi, operasional, dan lingkungan, untuk dianalisis secara sistematis melalui pembobotan masing-masing kriteria.

Penerapan metode AHP dalam penelitian ini meliputi beberapa tahapan, yaitu identifikasi alternatif teknologi pengolahan, penentuan kriteria dan subkriteria penilaian, penyusunan struktur hierarki keputusan, penyusunan matriks perbandingan berpasangan, perhitungan bobot prioritas, pengujian konsistensi, serta penentuan alternatif teknologi dengan bobot prioritas tertinggi. Hasil analisis tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan teknologi pengolahan yang paling sesuai untuk diterapkan pada IPALD yang direncanakan.

4.6.1 Identifikasi Alternatif Teknologi

Tahap awal dalam metode AHP adalah menentukan alternatif teknologi pengolahan yang akan dibandingkan. Alternatif yang dipilih merupakan teknologi yang umum diterapkan pada pengolahan air limbah domestik skala permukiman dan memiliki potensi untuk diterapkan sesuai dengan karakteristik air limbah serta kondisi kawasan pelayanan RW 03 Kelurahan Dago. Setiap alternatif memiliki karakteristik, kelebihan, dan kekurangan yang berbeda, sehingga perlu dilakukan

identifikasi dan perbandingan untuk mengetahui tingkat kesesuaiannya terhadap kriteria yang telah ditetapkan. Kelebihan dan kekurangan masing-masing alternatif digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam proses penilaian AHP. Alternatif teknologi yang dibandingkan dalam penelitian ini terdiri atas:

Tabel 4.14 Kelebihan dan Kekurangan Alternatif Pengolahan

No.	Unit Pengolahan	Kelebihan	Kekurangan
1	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i> (UASB)	1. Penurunan BOD yang tinggi 2. Mampu menahan laju beban organik dan hidrolis yang tinggi 3. Biogas dapat digunakan untuk energi 4. Tidak memerlukan sistem aerasi 5. Air limbah memiliki banyak nutrisi sehingga dapat digunakan untuk irigasi pertanian 6. Kebutuhan lahan rendah	1. Tahap awal pengoperasian sangat lama hingga berbulan-bulan 2. Membutuhkan operator ahli untuk pengoperasian dan perawatan 3. Ketergantungan terhadap pasokan listrik dan air konstan 4. Kurang efisien dalam mengolah patogen 5. Dapat menimbulkan bau
2	<i>Anaerobic Baffled Reactor</i> (ABR)	1. Biaya konstruksi rendah 2. Luas lahan yang dibutuhkan sedikit karena diban 3. Biaya pengoperasian dan perawatan murah dan mudah 4. Efluen dapat langsung dibuang ke badan air penerima. 5. <i>Grey water</i> dan <i>Black water</i> dapat diolah bersamaan 6. Biogas dapat digunakan sebagai energi	1. Diperlukan tenaga ahli untuk desain dan pengawasan pembangunan. 2. Diperlukan tukang ahli untuk pekerjaan plester berkualitas tinggi untuk konstruksi beton 3. Efisiensi penurunan patogen rendah 4. Tidak boleh terkena banjir 5. Memerlukan sumber air yang konstan 6. Perlu dilakukan pengurasan berkala setiap 2 – 3 tahun
3	<i>Anaerobic Filter</i> (AF)	1. Hemat energi (tanpa blower/aerasi). 2. Tahan Lonjakan Debit (<i>Shock Load</i>) karena bakteri menempel kuat	1. (<i>Clogging</i>): Celah media filter rentan tersumbat oleh endapan padatan/lumpur tebal, sehingga butuh pencucian berkala.

No.	Unit Pengolahan	Kelebihan	Kekurangan
		pada media filter (<i>attached growth</i>), sehingga tidak gampang terbawa hanyut saat debit air melonjak. 3. Hemat lahan dan efisien karena kepadatan bakteri di media membuat ukuran tangki lebih ringkas, dengan efisiensi penurunan BOD/COD mencapai 70–90%. 4. Produksi sisa lumpur sangat lambat, sehingga pengurasan cukup dilakukan 1–3 tahun sekali.	2. Butuh waktu 2–3 bulan di awal agar lapisan bakteri matang dan siap mengolah limbah secara optimal. 3. Kurang efektif menurunkan Amonia, Fosfat, dan bakteri <i>E. coli</i>, sehingga sering butuh pengolahan lanjutan (<i>post-treatment</i>). 4. Bakteri pemurai mudah mati jika terkena cairan pemutih/disinfektan keras, serta berpotensi menimbulkan bau gas H₂S
4	<i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR)	1. Membutuhkan ukuran tangki yang relatif kecil karena luas permukaan media mikroorganisme (<i>carrier</i>) sangat tinggi. 2. Biofilm yang menempel pada media bergerak sangat stabil dan tangguh terhadap fluktuasi debit maupun konsentrasi polutan. 3. Gerakan media yang terus berputar akibat aliran udara mencegah penumpukan lumpur yang menyumbat. 4. Kapasitas pengolahan dapat ditingkatkan cukup dengan menambah presentase media <i>carrier</i> tanpa perlu memperbesar tangki.	1. Membutuhkan <i>blower</i> yang kuat secara terus menerus untuk melarutkan oksigen sekaligus menggerakkan media. 2. Media <i>carrier</i> berpotensi tersumbat di saringan keluar atau hanyut jika saringan rusak. 3. Biaya media relatif mahal 4. Memerlukan desain aerasi dan distribusi media yang baik 5. Jika aerasi tidak merata, kontak biofilm dengan substrat dapat terganggu

No.	Unit Pengolahan	Kelebihan	Kekurangan
5	<i>Trickling Filter</i>	1. Desain dan pengoperasian yang cukup sederhana. 2. Efektif dalam pengolahan air limbah dengan konsentrasi beban organik tinggi tetapi tergantung jenis media yang digunakan. 3. Tahan terhadap beban kejut. 4. Tidak memerlukan lahan yang terlalu luas	1. Bau dan lalat sering timbul dari reaktor. 2. Pengelupasan lapisan <i>biofilm</i> dalam jumlah besar sering terjadi karena adanya perubahan beban organik sehingga lapisan <i>biofilm</i> bagian dalam kekurangan oksigen dan suasana menjadi asam. 3. Tidak dapat diisi dengan beban volume yang tinggi karena masa biologi pada filter akan bertambah banyak sehingga dapat menimbulkan penyumbatan filter. 4. Memerlukan pengoperasian dan pemeliharaan alatnya secara rutin

Kelima teknologi tersebut dipilih sebagai alternatif dalam metode AHP karena merupakan teknologi pengolahan biologis yang dapat diterapkan untuk pengolahan air limbah domestik serta memiliki karakteristik proses, kebutuhan energi, kebutuhan lahan, biaya, dan operasional yang berbeda. Perbedaan karakteristik tersebut memungkinkan dilakukan perbandingan berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan untuk menentukan teknologi yang paling sesuai dengan kondisi perencanaan IPAL domestik skala komunal.

4.6.2 Penentuan Kriteria Pemilihan Teknologi

Pemilihan teknologi IPALD dilakukan berdasarkan beberapa kriteria yang mencerminkan aspek teknis, ekonomi, operasional, dan lingkungan. Penetapan kriteria tersebut bertujuan untuk menentukan alternatif teknologi yang tidak hanya mampu mengolah air limbah domestik secara efektif, tetapi juga sesuai dengan kondisi kawasan pelayanan, mudah dalam pengoperasian dan pemeliharaan, serta layak diterapkan berdasarkan kebutuhan biaya dan lahan.

Kriteria pemilihan teknologi disusun berdasarkan hasil studi literatur mengenai pengolahan air limbah domestik, pedoman penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik (SPALD), serta penelitian terdahulu yang membahas pemilihan teknologi pengolahan air limbah menggunakan metode pengambilan keputusan multikriteria. Kriteria yang digunakan sebagai dasar penilaian alternatif teknologi IPALD dalam penelitian ini disajikan pada **Tabel 4.15** berikut.

Tabel 4. 15 Kriteria Pemilihan Teknologi IPAL Komunal

Aspek	Kriteria	Definisi Operasional	Indikator Penilaian
Teknis	Efisiensi penyisihan pencemar	Kemampuan teknologi dalam menurunkan konsentrasi BOD, COD, dan TSS.	Semakin tinggi efisiensi penyisihan, semakin baik.
Ekonomi	Biaya investasi	Biaya yang diperlukan untuk pembangunan IPAL.	Semakin rendah biaya investasi, semakin baik.
Operasional	Kemudahan operasi dan pemeliharaan	Tingkat kemudahan pengoperasian dan kegiatan pemeliharaan rutin.	Semakin mudah dioperasikan dan dipelihara, semakin baik
Lingkungan	Kebutuhan lahan	Luas lahan yang diperlukan untuk pembangunan IPAL.	Semakin kecil kebutuhan lahan, semakin baik.

Sumber: Hasil Analisis

4.6.3 Hierarki AHP

Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) disusun dalam bentuk struktur hierarki yang terdiri atas tiga tingkatan, yaitu tujuan, kriteria, dan alternatif teknologi. Penyusunan hierarki bertujuan untuk mempermudah proses pengambilan

keputusan dengan menguraikan permasalahan menjadi beberapa tingkatan yang saling berkaitan. Pada perencanaan ini, tujuan utama adalah menentukan teknologi pengolahan biologis yang paling sesuai untuk diterapkan pada IPAL domestik skala komunal di RW 03 Kelurahan Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung.

Tujuan tersebut kemudian dijabarkan ke dalam beberapa kriteria penilaian yang meliputi efisiensi penyisihan pencemar, biaya investasi, kemudahan operasi dan pemeliharaan, serta kebutuhan lahan. Selanjutnya, setiap kriteria digunakan untuk mengevaluasi lima alternatif teknologi pengolahan biologis yang dibandingkan, yaitu *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), *Anaerobic Filter* (AF), *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR), dan *Trickling Filter* (TF). Kelima alternatif tersebut dipilih karena memiliki karakteristik proses dan kebutuhan operasional yang berbeda serta berpotensi diterapkan dalam pengolahan air limbah domestik, sehingga dapat dibandingkan berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan untuk menentukan teknologi yang paling sesuai dengan kondisi perencanaan.

4.6.4 Penyusunan Kuesioner AHP

Pengumpulan data dilakukan melalui penyebaran kuesioner kepada responden ahli (*expert judgment*) yang dipilih menggunakan metode *purposive sampling*. Pemilihan responden didasarkan pada pengalaman, kompetensi, dan pemahaman mengenai sistem pengelolaan air limbah domestik sehingga penilaian yang diberikan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Responden dalam penelitian ini terdiri atas akademisi, praktisi, konsultan, maupun instansi pemerintah yang memiliki pengalaman dalam bidang perencanaan dan pengelolaan air limbah domestik.

Kuesioner disusun menggunakan metode *pairwise comparison*, yaitu responden diminta membandingkan dua kriteria atau dua alternatif teknologi pada satu waktu menggunakan skala fundamental Saaty (1980) dengan rentang nilai 1–9. Pada penelitian ini terdapat 4 kriteria, sehingga jumlah perbandingan antar kriteria adalah:

$$\left[\frac{4(4-1)}{2} = 6 \text{ perbandingan} \right]$$

Selanjutnya, terdapat 5 alternatif teknologi pengolahan biologis, yaitu *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), *Anaerobic Filter* (AF), *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR), dan *Trickling Filter* (TF). Jumlah perbandingan antar alternatif pada setiap kriteria adalah:

$$\left[\frac{5(5-1)}{2} = 10 \text{ perbandingan} \right]$$

Karena terdapat empat kriteria, maka jumlah keseluruhan perbandingan alternatif adalah:

$$[10 \times 4 = 40 \text{ perbandingan}]$$

Dengan demikian, jumlah keseluruhan pertanyaan atau perbandingan dalam kuesioner AHP adalah:

$$[6 + 40 = 46 \text{ pertanyaan}]$$

Jumlah tersebut terdiri atas 6 perbandingan antarkriteria dan 40 perbandingan antaralternatif pada seluruh kriteria.

4.6.5 Penyusunan Matriks Perbandingan Berpasangan

Setelah struktur hierarki dan kriteria pemilihan teknologi ditentukan, tahap selanjutnya adalah menyusun matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison matrix*). Matriks perbandingan berpasangan digunakan untuk mengetahui tingkat kepentingan relatif antara dua elemen pada tingkat hierarki yang sama berdasarkan penilaian responden. Penilaian dilakukan dengan membandingkan setiap kriteria terhadap kriteria lainnya serta setiap alternatif teknologi terhadap alternatif lainnya pada masing-masing kriteria. Perbandingan

dilakukan menggunakan skala fundamental AHP yang dikembangkan oleh Saaty, dengan nilai 1 sampai 9. Nilai 1 menunjukkan bahwa kedua elemen memiliki tingkat kepentingan yang sama, sedangkan nilai yang semakin besar menunjukkan semakin dominannya salah satu elemen dibandingkan elemen lainnya.

Pada perencanaan ini terdapat empat kriteria pemilihan teknologi, yaitu efisiensi penyisihan pencemar, biaya investasi, kemudahan operasi dan pemeliharaan, serta kebutuhan lahan. Oleh karena itu, jumlah perbandingan berpasangan antar kriteria adalah:

$$\left[\frac{n(n-1)}{2} = \frac{4(4-1)}{2} = 6 \right]$$

Dengan demikian, terdapat enam perbandingan berpasangan untuk menentukan tingkat kepentingan relatif antar kriteria. Selain itu, terdapat lima alternatif teknologi pengolahan biologis yang dibandingkan, yaitu Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), Anaerobic Baffled Reactor (ABR), Anaerobic Filter (AF), Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), dan Trickling Filter (TF). Perbandingan alternatif dilakukan pada setiap kriteria. Jumlah perbandingan berpasangan antar alternatif pada masing-masing kriteria adalah:

$$\left[\frac{5(5-1)}{2} = 10 \text{ perbandingan} \right]$$

Karena terdapat empat kriteria, maka jumlah keseluruhan perbandingan alternatif adalah:

$$[10 \times 4 = 40 \text{ perbandingan}]$$

Dengan demikian, jumlah keseluruhan pertanyaan atau perbandingan dalam kuesioner AHP adalah:

$$[6 + 40 = 46 \text{ pertanyaan}]$$

Jumlah tersebut terdiri atas enam perbandingan antar kriteria dan 40 perbandingan antar alternatif pada seluruh kriteria. Apabila penelitian melibatkan lebih dari satu responden, hasil penilaian dari masing-masing responden digabungkan menggunakan *Geometric Mean*. Penggunaan *Geometric Mean* bertujuan untuk memperoleh satu nilai representatif dari seluruh penilaian responden sebelum dilakukan proses perhitungan bobot prioritas.

Secara umum, matriks perbandingan berpasangan untuk empat kriteria dapat dituliskan sebagai berikut:

$$A_c = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & a_{23} & a_{24} \\ \frac{1}{a_{13}} & \frac{1}{a_{23}} & 1 & a_{34} \\ \frac{1}{a_{14}} & \frac{1}{a_{24}} & \frac{1}{a_{34}} & 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Matriks tersebut memiliki nilai diagonal utama sebesar 1 karena setiap kriteria dibandingkan dengan dirinya sendiri. Nilai pada bagian bawah diagonal merupakan nilai kebalikan (*reciprocal*) dari nilai pada bagian atas diagonal. Di bawah ini merupakan tabel Matriks Perbandingan Berpasangan Antar Kriteria:

Tabel 4.16 Matriks Perbandingan Berpasangan Antar Kriteria

/	Efisiensi Penyisihan	Biaya Investasi	Kemudahan Operasional dan Pemeliharaan	Kebutuhan Lahan
Efisiensi Penyisihan	1,000	4,8521	0,8178	2,6834
Biaya Investasi	0,2061	1,000	0,4432	1,8612
Kemudahan Operasional dan Pemeliharaan	1,223	2,256	1,000	5,305

/	Efisiensi Penyisihan	Biaya Investasi	Kemudahan Operasional dan Pemeliharaan	Kebutuhan Lahan
Kebutuhan Lahan	0,3727	0,5373	0,188	1,000
Jumlah	2,802	8,646	2,449	10,849

Sumber: Hasil pengolahan data AHP

Berdasarkan **Tabel 4.16**, nilai perbandingan merupakan hasil penggabungan penilaian delapan responden. Sebagai contoh, perbandingan efisiensi penyisihan pencemar terhadap biaya investasi menghasilkan nilai sebesar 4,8521. Nilai tersebut menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan pencemar lebih diutamakan dibandingkan biaya investasi dalam penilaian gabungan responden. Selanjutnya, setiap elemen matriks dibagi dengan jumlah kolomnya untuk memperoleh matriks normalisasi. Bobot prioritas dihitung dengan merata-ratakan nilai normalisasi pada masing-masing baris.

4.6.6 Perhitungan Bobot Prioritas

Setelah matriks perbandingan berpasangan terbentuk, langkah berikutnya adalah menghitung bobot prioritas setiap kriteria dan alternatif teknologi melalui normalisasi matriks. Proses ini dilakukan dengan membagi setiap elemen matriks dengan total nilai pada kolom tempat elemen tersebut berada. Nilai hasil normalisasi secara matematis dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (22)$$

Keterangan:

a'_{ij} = Nilai matriks hasil normalisasi

a_{ij} = Nilai pada matriks perbandingan berpasangan

n = Jumlah elemen yang dibandingkan

Setelah proses normalisasi matriks selesai, bobot prioritas setiap elemen ditentukan berdasarkan rata-rata nilai pada masing-masing baris matriks hasil normalisasi. Bobot ini mencerminkan tingkat kepentingan relatif setiap kriteria maupun alternatif teknologi, dengan nilai yang lebih besar menunjukkan prioritas yang lebih tinggi. Prosedur perhitungan tersebut mengikuti tahapan metode AHP yang diterapkan dalam penelitian ini. Hasil perhitungan bobot prioritas kriteria disajikan pada **Tabel 4.17** berikut:

Tabel 4.17 Bobot Prioritas Kriteria

/	EP	BI	OP	KL	Bobot	Peringkat
Efisiensi Penyisihan	0,3569	0,5612	0,3339	0,2473	0,3748	2
Biaya Investasi	0,0736	0,1157	0,1809	0,1715	0,1354	3
Kemudahan Operasional dan Pemeliharaan	0,4365	0,2610	0,4083	0,4890	0,3987	1
Kebutuhan Lahan	0,1330	0,0621	0,0770	0,0922	0,0911	4
Jumlah	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	100,00%	

Sumber: Hasil pengolahan data AHP

Berdasarkan **Tabel 4.17** hasil pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), kemudahan operasi dan pemeliharaan memperoleh bobot tertinggi sebesar 0,3976, diikuti efisiensi penyisihan pencemar sebesar 0,3438, biaya investasi sebesar 0,1564, dan kebutuhan lahan sebesar 0,1022. Hasil tersebut menunjukkan bahwa, berdasarkan gabungan penilaian responden, kemudahan pengoperasian dan pemeliharaan menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan teknologi IPAL domestik skala permukiman pada wilayah studi. Bobot setiap kriteria selanjutnya digunakan untuk menghitung skor keseluruhan alternatif teknologi.

Tahap berikutnya adalah menghitung bobot prioritas setiap alternatif teknologi berdasarkan masing-masing kriteria penilaian.

Tabel 4.18 Bobot Alternatif Berdasarkan Kriteria Efisiensi Penyisihan Pencemar

Prioritas	Kriteria	Bobot	Persentase
1	MBBR	0.3933	39.33%
2	TF	0.2316	23.16%
3	UASB	0.1371	13.71%
4	AF	0.1257	12.57%
5	ABR	0.1123	11.23%

Sumber: Hasil pengolahan data AHP

Berdasarkan **Tabel 4.18** ditemukan bahwa kriteria efisiensi penyisihan pencemar, Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) menempati prioritas pertama dengan bobot sebesar 0,3933. Prioritas berikutnya adalah Trickling Filter (TF) sebesar 0,2316,, diikuti dengan AF dan ABR di urutan terakhir. Hasil ini menunjukkan bahwa responden secara agregat memberikan prioritas tertinggi kepada MBBR dalam aspek kemampuan penyisihan pencemar. Bobot tersebut merupakan nilai prioritas relatif hasil AHP dan tidak menyatakan persentase penyisihan pencemar secara aktual.

Tabel 4.19 Bobot Alternatif Berdasarkan Kriteria Biaya Investasi

Prioritas	Kriteria	Bobot	Persentase
1	ABR	0.4801	48.01%
2	AF	0.2490	24.90%
3	UASB	0.1375	13.75%
4	TF	0.0709	7.09%
5	MBBR	0.0626	6.26%

Sumber: Hasil pengolahan data AHP

Berdasarkan **Tabel 4.19** kriteria biaya investasi, ABR memperoleh bobot tertinggi sebesar 0,4801, diikuti AF sebesar 0,2490, UASB sebesar 0,1375, TF 0,070, dan MBBR 0,0626. Sesuai arah pertanyaan dalam kuesioner, bobot yang lebih tinggi menunjukkan bahwa alternatif tersebut lebih diutamakan karena biaya investasinya dinilai lebih rendah. Dengan demikian, ABR menjadi prioritas pertama pada aspek biaya investasi berdasarkan penilaian responden. Namun, matriks gabungan pada kriteria ini memiliki nilai consistency ratio (CR) sebesar 12,09%, sehingga penilaiannya masih perlu ditinjau karena melampaui batas umum 10%.

Tabel 4.20 Bobot Alternatif Berdasarkan Kriteria Kemudahan Operasi dan Pemeliharaan

Prioritas	Kriteria	Bobot	Persentase
1	ABR	0.3681	36.81%
2	AF	0.3359	33.59%
3	TF	0.1387	13.87%
4	MBBR	0.0924	9.24%
5	UASB	0.0649	6.49%

Sumber: Hasil pengolahan data AHP

Berdasarkan **Tabel 4.20** kriteria kemudahan operasi dan pemeliharaan, ABR memperoleh bobot tertinggi sebesar 0,3681 atau 36,81%, sedangkan AF menempati prioritas kedua dengan bobot 0,3359 atau 33,59%. Prioritas selanjutnya adalah TF, MBBR, dan UASB. Hasil ini menunjukkan bahwa responden secara agregat lebih mengutamakan ABR dari aspek kemudahan pengoperasian dan pemeliharaan. Keunggulan pada kriteria ini memberikan kontribusi besar terhadap skor keseluruhan ABR karena operasi dan pemeliharaan memiliki bobot antarkriteria tertinggi. Meskipun demikian, nilai CR matriks gabungan sebesar 11,84% menunjukkan bahwa penilaiannya masih perlu ditinjau.

Tabel 4.21 Bobot Alternatif Berdasarkan Kriteria Kebutuhan Lahan

Prioritas	Kriteria	Bobot	Persentase
1	UASB	0.3419	34.19%
2	MBBR	0.3212	32.12%
3	AF	0.1662	16.62%
4	ABR	0.1014	10.14%
5	TF	0.0693	6.93%

Sumber: Hasil pengolahan data AHP

Berdasarkan **Tabel 4.21** kriteria kebutuhan lahan, UASB memperoleh bobot tertinggi sebesar 0,3419 atau 34,19%, diikuti MBBR sebesar 0,3212 atau 32,12%. Sesuai arah penilaian dalam kuesioner, bobot yang lebih tinggi menunjukkan prioritas terhadap teknologi yang dinilai membutuhkan lahan lebih sedikit. Oleh karena itu, UASB menjadi alternatif yang paling diutamakan oleh responden pada aspek kebutuhan lahan. Hasil pembobotan ini perlu dibedakan dari

kebutuhan luas lahan aktual, yang ditentukan melalui perhitungan desain masing-masing teknologi.

4.6.7 Uji Konsistensi

Konsistensi penilaian responden dalam matriks perbandingan berpasangan dievaluasi menggunakan Consistency Index (CI) dan Consistency Ratio (CR). Pengujian ini bertujuan untuk menilai konsistensi logis antarpenilaian yang diberikan.

Nilai CI ditentukan melalui persamaan berikut:

$$CI = \frac{\lambda_{\text{maks}} - n}{n - 1} \quad (23)$$

Sedangkan nilai CR dihitung menggunakan persamaan:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (24)$$

Keterangan:

<i>CR</i>	= <i>Consistency Ratio</i>
<i>CI</i>	= <i>Consistency Index</i>
<i>RI</i>	= <i>Random Index</i>
<i>n</i>	= jumlah kriteria
λ_{maks}	= nilai eigen maksimum

Dalam perencanaan ini, matriks perbandingan berpasangan mencakup empat elemen, sehingga nilai *Random Index* (RI) yang digunakan sebagai acuan adalah 0,90. Penilaian dinyatakan konsisten apabila nilai *Consistency Ratio* (CR) $\leq$ 0,10. Jika nilai CR melebihi 0,10, penilaian perlu dievaluasi kembali karena tingkat inkonsistensinya melampaui batas yang dapat diterima. Kriteria penerimaan tersebut mengacu pada dasar metode AHP yang telah diuraikan dalam laporan ini. Hasil pengujian konsistensi matriks AHP disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4.22 Hasil Uji Konsistensi Matriks AHP

No.	Matriks yang Diuji	λ maks.	CI	RI	CR	Keterangan
1	Antarkriteria	4.1722	0.0574	0.90	0.0638	Konsisten
2	Alternatif berdasarkan efisiensi penyisihan pencemar	5.1811	0.0453	1.12	0.0404	Konsisten
3	Alternatif berdasarkan biaya investasi	5.3367	0.0842	1.12	0.0751	Konsisten
4	Alternatif berdasarkan kemudahan operasi dan pemeliharaan	5.3870	0.0967	1.12	0.0864	Konsisten
5	Alternatif berdasarkan kebutuhan lahan	5.2006	0.0501	1.12	0.0448	Konsisten

Sumber: Hasil Pengolahan Data AHP

Nilai (n) menunjukkan jumlah elemen yang dibandingkan. Matriks antarkriteria menggunakan (n=4) dan RI sebesar 0,90, sedangkan matriks alternatif menggunakan (n=5) dan RI sebesar 1,12.

Berdasarkan Tabel 4.13, matriks antarkriteria memperoleh CR sebesar 0,0638 atau 6,38%. Matriks alternatif berdasarkan efisiensi penyisihan pencemar, biaya investasi, kemudahan operasi dan pemeliharaan, serta kebutuhan lahan masing-masing memperoleh CR sebesar 0,0404 atau 4,04%; 0,0751 atau 7,51%; 0,0864 atau 8,64%; dan 0,0448 atau 4,48%. Seluruh nilai tersebut berada di bawah batas 0,10 atau 10%, sehingga kelima matriks gabungan memenuhi batas konsistensi yang digunakan.

4.6.8 Hasil Kuesioner AHP

Berdasarkan pengolahan delapan jawaban kuesioner, kemudahan operasi dan pemeliharaan menjadi kriteria dengan bobot tertinggi, diikuti efisiensi penyisihan pencemar, biaya investasi, dan kebutuhan lahan. Pada penilaian alternatif, MBBR menempati prioritas pertama untuk efisiensi penyisihan pencemar, ABR untuk biaya investasi serta kemudahan operasi dan pemeliharaan, sedangkan UASB untuk kebutuhan lahan.

Bobot alternatif kemudian dikombinasikan dengan bobot masing-masing kriteria untuk memperoleh bobot global melalui persamaan:

$$[W_j = \sum_{i=1}^4 W_i, w_{ij}] \quad (25)$$

Keterangan:

(W_j) = bobot global alternatif ke – (j)

(W_i) = bobot kriteria ke – (i),

(w_{ij}) = bobot alternatif ke – (j) pada kriteria ke – (i).

Sebagai contoh, perhitungan bobot global ABR menggunakan angka yang dibulatkan adalah:

$$\begin{aligned} W_{ABR} &\approx (0,3748 \times 0,1123) + (0,1354 \times 0,4801) \\ &\quad + (0,3987 \times 0,3681) + (0,0911 \times 0,1014) \\ &\approx 0,2631 = 26,31\% \end{aligned}$$

Tabel 4.23 Bobot Global Alternatif Teknologi IPAL

Teknologi	Bobot global	Persentase	Prioritas
ABR	0,2631	26,31%	1
AF	0,2299	22,99%	2
MBBR	0,2220	22,20%	3
TF	0,1580	15,80%	4
UASB	0,1270	12,70%	5

Teknologi	Bobot global	Persentase	Prioritas
Total	1,0000	100,00%	-

Sumber: Hasil Pengolahan Data AHP

Berdasarkan Tabel 4.14, ABR memperoleh bobot global tertinggi sebesar 0,2631 atau 26,31%, sehingga menempati prioritas pertama. Prioritas berikutnya adalah AF dengan bobot 0,2299 atau 22,99%, MBBR sebesar 0,2220 atau 22,20%, TF sebesar 0,1580 atau 15,80%, dan UASB sebesar 0,1270 atau 12,70%.

Perolehan bobot global ABR terutama didukung oleh prioritasnya pada kriteria kemudahan operasi dan pemeliharaan serta biaya investasi. Kriteria kemudahan operasi dan pemeliharaan memberikan kontribusi terbesar terhadap bobot global ABR, yaitu sekitar 0,1468 dari total 0,2631. Hal ini berkaitan dengan tingginya bobot kriteria tersebut serta bobot lokal ABR pada penilaian kemudahan operasi dan pemeliharaan.

Dengan demikian, ABR merupakan alternatif berprioritas tertinggi dan menjadi kandidat teknologi terpilih berdasarkan agregasi delapan jawaban kuesioner dalam penelitian ini. Kesimpulan tersebut berlaku untuk data dan pembobotan yang dianalisis. Peninjauan konsistensi penilaian individu tetap diperlukan sebelum penetapan akhir.

BAB V

PERENCANAAN TEKNIS

5.1 Perhitungan Bangunan Unit Pengolahan Air Limbah

Berdasarkan hasil penentuan alternatif terpilih, Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) skala permukiman ini direncanakan berlokasi di wilayah Dago Pojok, RW 03 Kelurahan Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, dengan ketersediaan lahan ± 1 ha. Rangkaian sistem pengolahan yang dirancang meliputi *preliminary treatment* (unit *bar screen*, saluran pembawa, bak pengumpul, bak ekualisasi, dan *grease trap*), *primary treatment* (bak pengendap / *settler*), *secondary treatment* (*Anaerobic Baffled Reactor*). Perhitungan dimensi dan kriteria desain untuk masing-masing unit pengolahan tersebut diuraikan sebagai berikut:

5.2 Preliminary Treatment

5.2.2 Bar Screen

Berikut merupakan kriteria desain mengenai unit *bar screen* yang disajikan pada **Tabel 5.3**.

Tabel 5.1 Kriteria Desain Bar Screen

No	Parameter	Besaran	Satuan
1.	Lebar batang (d)	5 – 15	mm
2.	Jarak antar batang (b)	25 – 50	mm
3.	<i>Slope</i> saluran (θ)	30 – 45	°
4.	Kecepatan melalui bar screen	0,3 – 0,6	mm/detik
5.	Headloss bar screen (HL)	150	mm
6.	Faktor bentuk bar lingkaran (β)	1,79	-

Sumber: Metcalf & Eddy, 2003

Data perencanaan untuk *bar screen*, yaitu:

1. Direncanakan *bar screen* saringan kasar
2. Debit rata-rata (Q_r) $= 0,006177157 \text{ m}^3/\text{detik}$

3. Debit maksimum (Q_{maks})	= 0,007721446 m ³ /detik
4. Debit minimum (Q_{min})	= 0,005156018 m ³ /detik
5. Kecepatan aliran (v)	= 0,3 m/detik
6. Lebar saluran (L)	= 0,30 m
7. <i>Headloss</i> (HL)	= 0,15 m
8. <i>Freeboard</i> (fb)	= 0,50 m
9. Lebar batang (d)	= 0,01 m (10 mm)
10. Jarak antar batang (b)	= 0,025 m (25 mm)
11. Panjang saluran kisi (p)	= 0,50 m
12. <i>Slope</i> saluran (θ)	= 45°
13. Koefisien saat <i>clogging</i>	= 0,6
14. Perbandingan lebar dan kedalaman	= 2 : 1
15. Faktor bentuk bar lingkaran (β)	= 1,79
16. Percepatan gravitasi (g)	= 9,81 m/s ²

Dari kriteria desain yang direncanakan, maka dihitung:

1. Jumlah batang dan jumlah bukaan

a) Jumlah batang

$$L = nd + (n + 1) b$$

$$0,30 \text{ m} = 0,01n + (n + 1) \times 0,025 \text{ m}$$

$$0,30 \text{ m} = 0,01n + 0,025n + 0,025 \text{ m}$$

$$0,30 \text{ m} = 0,035n + 0,025 \text{ m}$$

$$0,30 \text{ m} - 0,025 \text{ m} = 0,035n$$

$$0,275 = 0,035n$$

$$n = \frac{0,275}{0,035}$$

$$= 7,86 \text{ batang} \approx 8 \text{ batang}$$

b) Jumlah bukaan

$$s = n + 1$$

$$= 8 + 1$$

$$= 9 \text{ bukaan}$$

c) Lebar bukaan koreksi

$$L = nd + (n+1) b$$

$$\begin{aligned}
 &= (8 \times 0,01 \text{ m}) + (8 + 1) \times 0,025 \\
 &= 0,08 + 0,225 \\
 &= 0,305 \text{ m}
 \end{aligned}$$

d) Lebar bukaan total (d_t)

$$\begin{aligned}
 d_t &= s \times b \\
 &= 9 \times 0,025 \text{ m} \\
 &= 0,225 \text{ m} \approx 0,23 \text{ m}
 \end{aligned}$$

2. Kondisi debit rata-rata

a) Panjang batang terendam (Y_t min)

$$\begin{aligned}
 Y_{t \text{ rata-rata}} &= \frac{y_{\text{rata-rata}}}{\sin \theta} \\
 &= \frac{0,0605 \text{ m}}{\sin 45} \\
 &= \frac{0,0605 \text{ m}}{0,707} \\
 &= 0,097 \text{ m} \approx 0,1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b) Kecepatan aliran pada bar ($V_{\text{bar min}}$)

$$\begin{aligned}
 V_{\text{bar avg}} &= \frac{Q_{\text{avg}}}{dt \times y_{t \text{ avg}}} \\
 &= \frac{0,006177157 \text{ m}^3/\text{s}}{0,23 \text{ m} \times 0,097 \text{ m}} \\
 &= 0,298413 \approx 0,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

c) Kecepatan aliran saat *clogging* 50% (V' bar)

$$\begin{aligned}
 V'_{\text{bar avg}} &= \frac{Q_{\text{avg}}}{50\% \times dt \times y_{t \text{ avg}}} \\
 V'_{\text{bar avg}} &= \frac{0,006177157 \text{ m}^3/\text{s}}{50\% \times 0,23 \text{ m} \times 0,097 \text{ m}} \\
 &= 0,553 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

d) *Headloss* saat *screen* bersih (HL)

$$\begin{aligned}
 HL &= \beta \times \left(\frac{w}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \times \sin \theta \times \frac{V_{\text{bar avg}}^2}{2 \times g} \\
 &= 1,79 \times \left(\frac{0,01}{0,025}\right)^{\frac{4}{3}} \times \sin 45^\circ \times \frac{0,277^2}{2 \times 9,81} \\
 &= 0,001 \text{ m}
 \end{aligned}$$

e) *Headloss* saat *screen clogging* 50% (HL')

$$HL' = \left(\frac{V'^2_{\text{bar avg}} - V_{\text{bar avg}}^2}{2 \times g} \right) \times \frac{1}{Cc}$$

$$= \left(\frac{0,553^2 - 0,277^2}{2 \times 9,81} \right) \times \frac{1}{0,6}$$

$$= 0,020 \text{ m}$$

f) Kedalaman air setelah bar (Y_2)

$$Y_2 = y_{\text{avg}} - \text{HL}$$

$$= 0,0686 - 0,001$$

$$= 0,067 \text{ m}$$

g) Kecepatan setelah bar (V_2)

$$V_2 = \frac{Q_{\text{avg}}}{Y_2 \times L}$$

$$= \frac{0,006177157 \text{ m}^3/\text{s}}{0,067 \text{ m} \times 0,305}$$

$$= 0,301 \text{ m/detik}$$

3. Kondisi debit maksimum

a) Panjang batang terendam ($Y_t \text{ maks}$)

$$Y_{t \text{ maks}} = \frac{y_{\text{maks}}}{\sin \theta}$$

$$= \frac{0,085794}{\sin 45}$$

$$= \frac{0,085794}{0,707}$$

$$= 0,121 \text{ m}$$

b) Kecepatan aliran pada bar ($V_{\text{bar maks}}$)

$$V_{\text{bar maks}} = \frac{Q_{\text{maks}}}{dt \times y_{t \text{ maks}}}$$

$$= \frac{0,007721446}{0,23 \times 0,121}$$

$$= 0,277 \text{ m}$$

c) Tinggi air setelah batang (V')

$$V'_{\text{bar maks}} = \frac{0,007721446}{50\% \times dt \times y_{t \text{ maks}}}$$

$$= \frac{0,004085}{50\% \times 0,23 \times 0,121}$$

$$= 0,553 \text{ m}$$

d) *Headloss* saat *screen* bersih (HL)

$$\text{HL} = \beta \times \left(\frac{w}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \times \sin \theta \times \frac{V_{\text{bar maks}}^2}{2 \times g}$$

$$= 1,79 \times \left(\frac{0,01}{0,025} \right)^{\frac{4}{3}} \times \sin 45^\circ \times \frac{0,277^2}{2 \times 9,81}$$

$$= 0,001 \text{ m}$$

e) *Headloss* saat *screen clogging* 50% (HL)

$$\begin{aligned} \text{HL}' &= \left(\frac{V'_{\text{bar maks}}^2 - V_{\text{bar maks}}^2}{2 \times g} \right) \times \frac{1}{C_c} \\ &= \left(\frac{0,553^2 - 0,277^2}{2 \times 9,81} \right) \times \frac{1}{0,6} \\ &= 0,020 \text{ m} \end{aligned}$$

f) Kedalaman air setelah bar (Y_2)

$$\begin{aligned} Y_2 &= y_{\text{maks}} - \text{HL} \\ &= 0,001 - 0,085794 = 0,084 \text{ m} \end{aligned}$$

g) Kecepatan setelah bar (V_2)

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{Q_{\text{maks}}}{Y_2 \times L} \\ &= \frac{0,007721446}{0,084 \times 0,305} \\ &= 0,3 \text{ m/s} \end{aligned}$$

4. Kondisi debit minimum

a) Panjang batang terendam ($Y_{t \text{ min}}$)

$$\begin{aligned} Y_{t \text{ min}} &= \frac{y_{\text{min}}}{\sin \theta} \\ &= \frac{0,057289 \text{ m}}{\sin 45} \\ &= \frac{0,057289 \text{ m}}{0,707} \\ &= 0,081 \text{ m} \end{aligned}$$

b) Kecepatan aliran pada bar ($V_{\text{bar min}}$)

$$\begin{aligned} V_{\text{bar min}} &= \frac{Q_{\text{min}}}{dt \times y_{t \text{ min}}} \\ &= \frac{0,005156018 \text{ m}^3/\text{s}}{0,23 \text{ m} \times 0,081} \\ &= \frac{0,005156018}{0,01863} \\ &= 0,277 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

c) Kecepatan aliran saat *clogging* 50%

$$\begin{aligned} V'_{\text{bar min}} &= \frac{Q_{\text{min}}}{50\% \times dt \times y_{t \text{ min}}} \\ &= \frac{0,005156018 \text{ m}^3/\text{s}}{50\% \times 0,23 \times 0,081} \\ &= 0,553 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

d) *Headloss* saat *screen* bersih (HL)

$$\begin{aligned} HL &= \beta \times \left(\frac{w}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \times \sin \theta \times \frac{v_{bar \min}^2}{2 \times g} \\ &= 1,79 \times \left(\frac{0,01}{0,03}\right)^{\frac{4}{3}} \times \sin 45^\circ \times \frac{0,277^2}{2 \times 9,81} \\ &= 0,001 \text{ m} \end{aligned}$$

e) *Headloss* saat *screen clogging* 50% (HL)

$$\begin{aligned} HL' &= \left(\frac{v'_{bar \min}{}^2 - v_{bar \min}{}^2}{2 \times g} \right) \times \frac{1}{Cc} \\ &= \left(\frac{0,553^2 - 0,277^2}{2 \times 9,81} \right) \times \frac{1}{0,6} \\ &= 0,020 \text{ m} \end{aligned}$$

f) Kedalaman air setelah bar (Y_2)

$$\begin{aligned} Y_2 &= y_{min} - HL \\ &= 0,057289 \text{ m} - 0,001 \text{ m} \\ &= 0,056 \text{ m} \end{aligned}$$

g) Kecepatan setelah bar (V_2)

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{Q_{min}}{Y_2 \times L} \\ &= \frac{0,005156018}{0,056 \times 0,305} \\ &= 0,303 \text{ m/s} \end{aligned}$$

5.2.3 Bak Ekualisasi

Berikut merupakan kriteria desain mengenai unit bak ekualisasi yang disajikan pada **Tabel 5.4**.

Tabel 5.2 Kriteria Desain Bak Ekualisasi

No.	Parameter	Besaran	Satuan	Sumber
1	Kedalaman minimum air (h_{min})	1,5 - 2,0	m	Tchobanoglous, <i>et al.</i> 2003
2	<i>Freeboard</i> (h_{fb})	0,5 - 1	m	
3	Kemiringan dasar tangki (S)	40 - 100	mm/m diameter	
4	Laju pemompaan udara (Q udara)	0,01 - 0,015	m ³ /m ³ .menit	Qasim, 1985
5	v inlet = v outlet	0,3 - 0,6	m/m	

No.	Parameter	Besaran	Satuan	Sumber
6	Slope bagian dalam bak	3:1 - 1:1	m	Metcalf <i>and</i> Eddy, 2003
7	Waktu detensi (td)	4 s/d 8	jam	

Tabel 5.3 Kriteria Desain Perencanaan Bak Ekualisasi

No.	Parameter	Besaran	Satuan	Konversi	Satuan
1	Debit maksimum ($Q_{\max}$)	0,0077214	m ³ /detik	27,80	m ³ /jam
2	Waktu detensi (td)	6	jam	21600	detik
3	Kedalaman minimum air (h min)	1,5	meter		
4	Freeboard (h fb)	25%	meter		
5	Slope bagian dalam bak	1 : 1			
6	Kemiringan dasar tangki (S)	100	mm/m	0,1	m/m

Dari kriteria desain yang direncanakan, maka dihitung:

1. Volume Bak (V)

$$\begin{aligned}
 V &= Q \times td \\
 &= 27,80 \text{ m}^3/\text{jam} \times 6 \text{ jam} \\
 &= 166,78 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

2. Luas Penampang Bak (A)

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{V}{h} \\
 &= \frac{166,78 \text{ m}^3}{2 \text{ m}} \\
 &= 83,40 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

3. Dimensi Bak

Rasio 1 : 1

$$\begin{aligned}
 A &= P \times L \\
 A &= L^2 \\
 L^2 &= \sqrt{A} \\
 L &= \sqrt{83,4} \approx 9,13 \text{ m} \\
 P &= 9,13
 \end{aligned}$$

4. Tinggi Total Dinding (H_{total})

$$H_{\text{total}} = h + (h_{\text{fb}} \times h)$$

$$H_{\text{total}} = 2,1 \text{ m} + (25\% \times 2 \text{ m}) = 2,1 \text{ m} + 0,525 = 2,625 \text{ m}$$

5. Kemiringan Dasar Tangki (Δh)

$$\Delta h = 0,1 \text{ m/m} \times 9 \text{ m} = 0,9 \text{ m}$$

6. Volume Aktual (V_{aktual})

$$\begin{aligned} V_{\text{aktual}} &= P \times L \times h \\ &= 9 \text{ m} \times 9 \text{ m} \times 2,1 \text{ m} \\ &= 170,1 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

7. Waktu Detensi Aktual (td_{aktual})

$$\begin{aligned} td_{\text{aktual}} &= \frac{170,1 \text{ m}^3}{27,80 \text{ m}^3/\text{jam}} \\ &= 6,12 \text{ jam} \end{aligned}$$

5.2.4 Grease Trap

Berikut merupakan kriteria desain mengenai unit *grease trap* yang disajikan pada **Tabel 5.6**.

Tabel 5.4 Kriteria Desain Grease Trap

No.	Parameter	Besaran	Satuan	Sumber
1	Kecepatan aliran	2 - 6	m/jam	Direktorat Jendral Cipta Karya, 2018
2	Waktu detensi	5 - 20	menit	

Tabel 5.5 Kriteria Desain Perencanaan Grease Trap

No.	Parameter	Besaran	Satuan	Konversi	Satuan
1	Debit rata-rata (Q_r)	0,006177157	m ³ /detik		
2	Debit maksimum (Q_{maks})	0,007721446	m/detik		
3	Debit minimum (Q_{min})	0,005156018	m/detik		
4	Waktu detensi (td)	10	menit	600	detik
5	Kecepatan aliran (v)	5	m/jam	0,0014	m/detik
6	Konsentrasi minyak dan lemak	50,1			
7	Perbandingan P:L	3	1		
8	Asumsi tinggi area pengendapan (H_p)	0,3			

No.	Parameter	Besaran	Satuan	Konversi	Satuan
9	Asumsi tinggi scum (Hs)	0,3			
10	Freeboard	0,5			
11	Massa jenis air (ρ), T (30 °C)	1000	kg/m ³		
12	Massa jenis minyak (ρ minyak)	800	kg/m ³	0,8	g/cm ³
13	Viskositas kinematis, T (30 °C)	0,008029	cm ² /detik		
14	Diameter butiran minyak	0,15	mm	0,00015	m/detik

Dari kriteria desain yang direncanakan, maka dihitung:

1. Volume yang diperlukan (V)

a) Saat rata-rata

$$\begin{aligned}
 V_{\text{rata-rata}} &= \text{Debit rata-rata } (Q_{\text{avg}}) \times \text{Waktu detensi (td)} \\
 &= 0,006178 \text{ m}^3/\text{detik} \times 600 \text{ detik} \\
 &= 3,71 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

b) Saat maksimum

$$\begin{aligned}
 V_{\text{max}} &= \text{Debit Max } (Q_{\text{max}}) \times \text{Waktu detensi (td)} \\
 &= 0,007721446 \text{ m}^3/\text{detik} \times 600 \text{ detik} \\
 &= 4,63 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

c) Saat Minimum

$$\begin{aligned}
 V_{\text{min}} &= \text{Debit Min } (Q_{\text{min}}) \times \text{Waktu detensi (td)} \\
 &= 0,005156018 \text{ m}^3/\text{detik} \times 600 \text{ detik} \\
 &= 3,09 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

2. Luas yang diperlukan

a) Saat rata-rata

$$\begin{aligned}
 A_{\text{rata-rata}} &= \frac{Q_r}{\text{Kecepatanaliran}(V)} \\
 &= \frac{0,006178 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,0014 \text{ m}} \\
 &= 4,45 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

b) Saat maksimum

$$A_{\text{maksimum}} = \frac{Q_{\text{max}}}{\text{Kecepatanaliran}(V)}$$

$$= \frac{0,007722 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,0014 \text{ m}}$$

$$= 5,56 \text{ m}^2$$

c) Saat minimum

$$A_{\min} = \frac{Q_{\min}}{\text{Kecepatanaliran}(V)}$$

$$= \frac{0,0051561 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,0014 \text{ m}}$$

$$= 3,71 \text{ m}^2$$

3. Dimensi Bak

a) Saat rata-rata

$$A = P \times L$$

$$4,45 \text{ m}^2 = 3L \times L$$

$$4,45 \text{ m}^2 = 3L^2$$

$$\text{Lebar (L)} = \sqrt{\frac{\text{Arata-rata}}{3(\text{Perbandingan})}}$$

$$= \sqrt{\frac{4,4476 \text{ m}^2}{3}}$$

$$= 1,22 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (P)} = 3 \times L$$

$$= 3 \times 1,22 \text{ m}$$

$$= 3,65 \text{ m}$$

$$A' = P \times L$$

$$= 1,22 \text{ m} \times 3,65 \text{ m}$$

$$= 4,45 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Kompartemen 1} = \frac{1}{2} \times P$$

$$= \frac{1}{2} \times 3,65 \text{ m}$$

$$= 1,83 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Kompartemen 2} = \frac{1}{4} \times P$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,65 \text{ m}$$

$$= 0,91 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Kompartemen 3} = \frac{1}{4} \times P$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,65 \text{ m}$$

$$= 0,91 \text{ m}$$

b) Saat maksimum

$$A = P \times L$$

$$5,56 \text{ m}^2 = 3L \times L$$

$$5,56 \text{ m}^2 = 3L^2$$

$$\text{Lebar (L)} = \sqrt{\frac{A_{\max}}{3(\text{Perbandingan})}}$$

$$= \sqrt{\frac{5,5595 \text{ m}^2}{3}}$$

$$= 1,36 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (P)} = 3 \times \text{Lebar}$$

$$= 3 \times 1,36 \text{ m}$$

$$= 4,08 \text{ m}$$

$$A' = \text{Panjang} \times \text{Lebar}$$

$$= 4,08 \text{ m} \times 1,36 \text{ m}$$

$$= 5,56 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Kompartemen 1} = \frac{1}{2} \times P$$

$$= \frac{1}{2} \times 4,08 \text{ m}$$

$$= 2,04 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Kompartemen 2} = \frac{1}{4} \times P$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,65 \text{ m}$$

$$= 1,02 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Kompartemen 3} = \frac{1}{4} \times P$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,65 \text{ m}$$

$$= 1,02 \text{ m}$$

c) Saat Minimum

$$A = P \times L$$

$$3,71 \text{ m}^2 = 3L \times L$$

$$3,71 \text{ m}^2 = 3L^2$$

$$\text{Lebar (L)} = \sqrt{\frac{A_{\min}}{3(\text{Perbandingan})}}$$

$$= \sqrt{\frac{3,71 \text{ m}^2}{3}}$$

$$= 1,11 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (P)} = 3 \times \text{Lebar}$$

$$= 3 \times 1,11 \text{ m}$$

$$= 3,34 \text{ m}$$

$$A' = \text{Panjang} \times \text{Lebar}$$

$$= 3,34 \text{ m} \times 1,11 \text{ m}$$

$$= 3,71 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Kompartemen 1} = \frac{1}{2} \times P$$

$$= \frac{1}{2} \times 3,34 \text{ m}$$

$$= 1,67 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Kompartemen 2} = \frac{1}{4} \times P$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,34 \text{ m}$$

$$= 0,83 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Kompartemen 3} = \frac{1}{4} \times P$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,34 \text{ m}$$

$$= 0,83 \text{ m}$$

4. Cek Kecepatan Aliran (v')

a) Saat rata rata

$$\begin{aligned} v'_{\text{rata-rata}} &= \frac{Qr}{A_{\text{rata-rata}}} \\ &= \frac{0,006178 \text{ m/detik}}{4,4476 \text{ m}^2} \\ &= 0,0014 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

b) Saat maksimum

$$\begin{aligned} v'_{\text{maksimum}} &= \frac{Q_{\max}}{A_{\max}} \\ &= \frac{0,007722 \text{ m/detik}}{5,5595 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$= 0,0014 \text{ m/detik}$$

c) Saat minimum

$$\begin{aligned} V'_{\text{minimum}} &= \frac{Q_{\text{min}}}{A_{\text{min}}} \\ &= \frac{0,0051561 \text{ m/detik}}{3,7124 \text{ m}^2} \\ &= 0,0014 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

5. Kedalaman Tangki

a) Saat rata-rata

$$\begin{aligned} \blacksquare \text{ H air} &= \frac{V_{\text{rata-rata}}}{A'_{\text{rata-rata}}} \\ &= \frac{3,7063 \text{ m}^3}{4,4476 \text{ m}^2} \\ &= 0,83 \text{ m} \\ \blacksquare \text{ H total} \\ &= H_{\text{air}} + H_p + H_s + \text{Freeboard} \\ &= 0,83 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,5 \text{ m} \\ &= 1,93 \text{ m} \end{aligned}$$

b) Saat maksimum

$$\begin{aligned} \blacksquare \text{ H air} &= \frac{V_{\text{maksimum}}}{A'_{\text{maksimum}}} \\ &= \frac{4,633 \text{ m}^3}{5,5595 \text{ m}^2} \\ &= 0,83 \text{ m} \\ \blacksquare \text{ H total} \\ &= H_{\text{air}} + H_p + H_s + \text{Freeboard} \\ &= 0,83 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,5 \text{ m} \\ &= 1,93 \text{ m} \end{aligned}$$

c) Saat Minimum

$$\begin{aligned} \blacksquare \text{ H air} &= \frac{V_{\text{minimum}}}{A'_{\text{minimum}}} \\ &= \frac{3,0937 \text{ m}^3}{3,7124 \text{ m}^2} \\ &= 0,83 \text{ m} \\ \blacksquare \text{ H total} \\ &= H_{\text{air}} + H_p + H_s + \text{Freeboard} \\ &= 0,83 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$= 1.93 \text{ m}$$

6. Volume Tangki

a) Saat rata-rata

$$\begin{aligned} &= A'_{rata} - rata \times H_{total} \\ &= 4,4476 \text{ m}^2 \times 1,93 \text{ m} \\ &= 8,60 \text{ m} \end{aligned}$$

b) Saat maksimum

$$\begin{aligned} &= A'_{maksimum} \times H_{total} \\ &= 5,5595 \text{ m}^2 \times 1,93 \text{ m} \\ &= 10,75 \text{ m} \end{aligned}$$

c) Saat minimum

$$\begin{aligned} &= A'_{minimum} \times H_{total} \\ &= 3,7124 \text{ m}^2 \times 1,93 \text{ m} \\ &= 7,18 \text{ m} \end{aligned}$$

7. Efisiensi Unit Pengolahan

a) Laju minyak & Lemak

$$\begin{aligned} &= \text{Konsentrasi} \times \text{Debit Maksimum} \\ &= \left(50,1 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0,007722 \frac{\text{m}^3}{\text{detik}} \right) \times 86400 \frac{\text{detik}}{\text{hari}} \times \frac{1}{1000} \text{ kg/g} \\ &= 33,4 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

b) Minyak & Lemak effluent

$$\begin{aligned} &= (100\% - 80\%) \times \text{Konsentrasi minyak \& lemak} \\ &= (100\% - 80\%) \times 50,1 \text{ mg/l} \\ &= 10 \text{ mg/l (Tidak memenuhi baku mutu } < 5 \text{ mg/l)} \end{aligned}$$

c) Lumpur Minyak & Lemak

$$\begin{aligned} &= \text{Konsentrasi M\&L} \times \% \text{efisiensi penyisihan} \times Q_{\text{max}} \\ &= \frac{(50,1 \text{ g/m}^3 \times 80\% \times 0,007722 \text{ m}^3/\text{detik} \times 86400 \text{ detik/hari})}{1000000 \text{ mg/kg}} \times 1000 \\ &= 26,7 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

5.3 Primary Treatment

Pada tahap *primary treatment*, unit yang digunakan adalah bak pengendap (*settler*) yang berfungsi untuk memisahkan padatan tersuspensi dari air limbah

melalui proses sedimentasi secara gravitasi. Kriteria desain yang digunakan dalam perencanaan unit *settler* disajikan pada **Tabel 5.8**.

Tabel 5.6 Kriteria Desain *Settler*

No.	Parameter	Besaran	Satuan	Sumber
1	Waktu detensi	1,5 – 2,5	jam	Qasim, 1985 Metcalf and Eddy, 1991
2	<i>Overflow rate</i>	24 – 122	m ³ /m ² .hari	
3	<i>Weir loading</i>	124 - 496	m ³ /m.hari	
4	Kedalaman bak	2,5 – 5	m	
5	Panjang	10 - 100	m	
6	Lebar	6 – 24	m	
7	Kecepatan aliran	0,6 – 1,2	m/menit	
8	Perbandingan P:L	3:1 – 6:1		
9	<i>Freeboard</i>	15	%	Qasim, 1985
10	Kemiringan dasar	1% - 2%	%	
11	Konsentrasi solid	5 – 8	%	
12	Efisiensi SS	50 – 70	%	
13	Efisiensi BOD ₅	25 – 40	%	
14	Efisiensi COD	30 - 40	%	
15	Kecepatan aliran outlet (v out)	0,3 - 0,6	m/s	
Kekasaran Manning (n Manning) Beton				
16	Halus, sambungan baik dan rata	0,014 - 0,018		
	Kurang halus dan sambungan kurang rata	0,018 - 0,030		

Tabel 5.7 Kriteria Desain Perencanaan *Settler*

No.	Parameter	Besaran	Satuan	Konversi	Satuan
1	Debit maksimum (Q _{max})	0,007721446	m ³ /detik	27,80	m ³ /jam
2	Debit rata-rata (Q _{avg})	0,006177157	m ³ /detik	22,24	m ³ /jam
3	BOD Influen	128	mg/l		
4	COD Influen	387,75	mg/l		
5	TSS influen	104	mg/l		

No.	Parameter	Besaran	Satuan	Konversi	Satuan
6	<i>Overflow rate</i>	48	m ³ /m ² .hari	0,00056	m/detik
7	Kecepatan aliran inlet (v)	0,85	m/menit	0,014167	m/detik
8	Kecepatan aliran outlet (v out)	0,4	m/detik		
9	Efisiensi BOD	35%			
10	Efisiensi COD	35%			
11	Efisiensi TSS	60%			
12	Konsentrasi solid	5%			
13	<i>Freeboard</i>	15%	0,6		
14	Viskositas kinematis	8,394E-07	m ² /detik		
15	Viskositas absolut	8,36E-03	N.detik/m ²		
16	Massa jenis solid	1200	kg/m ³		
17	Massa jenis air, 28 °C	996	kg/m ⁴		
18	<i>Spesific gravity sludge</i>	1,02			
19	<i>Spesific gravity solid</i>	1,2			
20	Perbandingan P : L	3			
21	Waktu detensi	2	jam		
22	Kedalaman bak	2,5	m		
23	Koefisien manning (n)	0,018			
24	<i>Weir Loading Rate</i>	250	m ³ /m		

Dari kriteria desain yang direncanakan, maka dihitung:

1. Zona Inlet

a) Luas penampang (As)

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{\text{Debitairlimbah}(Q_{max})}{\text{Kecepatanaliraninlet}(v)} \\
 &= \frac{0,007721446 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,014166667 \text{ m}/\text{detik}} \\
 &= 0,5450 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

b) Dimensi saluran pembawa

Asumsi perbandingan L : H = 2 : 1

$$A = 2H \times H$$

$$A = 2H^2$$

$$H = \sqrt{\frac{\text{LuasPenampang}(A_s)}{2}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,5450 \text{ m}^2}{2}}$$

$$= 0,52 \text{ m}$$

$$\text{Lebar saluran} = 2 \times 0,52 = 1,04 \text{ m}$$

$$\text{Luas aktual} = \text{Kedalaman bak (H)} \times \text{Leb. saluran}$$

$$= 0,52 \text{ m} \times 1,04 \text{ m}$$

$$= 0,5450 \text{ m}^2$$

$$\text{Kecepatan aktual (v)} = \frac{\text{Debit(Q)}}{\text{Luas aktual}}$$

$$= \frac{0,007721446 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,5450 \text{ m}^2}$$

$$= 0,014167 \text{ m/detik} \approx 0,85 \text{ m/menit}$$

$$\text{Panjang} = \frac{\text{Lebar} + 2(\text{perbandingan P:L})}{\text{Kedalaman bak}}$$

$$= \frac{1,04 \text{ m} + 2}{0,52 \text{ m}}$$

$$= 4,87 \text{ m} \approx 5 \text{ m}$$

c) Jari-jari hidrolis (R)

$$R = \frac{L \times h}{L + (2 \times h)}$$

$$= \frac{1,04 \text{ m} \times 0,52 \text{ m}}{1,04 \text{ m} + (2 \times 0,52 \text{ m})}$$

$$= 0,261018015 \text{ m}$$

d) Slope saluran (θ)

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

$$= \left(\frac{0,01417 \text{ m/detik} \times 0,018}{0,261018015^{2/3}} \right)^2$$

$$= 0,00000039 \text{ m/m} \approx 0,0000004 \text{ m/m}$$

d) Headloss (HL)

Direncanakan panjang saluran 2 m

$$H_f = \text{Slope} \times \text{Panjang saluran}$$

$$= 0,0000004 \text{ m/m} \times 2 \text{ m}$$

$$= 0,0000008 \text{ m}$$

e) Head kecepatan (Hv)

$$H_v = \frac{v^2}{2 \times g}$$

$$= \frac{0,014166667^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}}$$

$$= 0,0000102 \text{ m}$$

$$H_v = H_f + H_v$$

$$= 0,0000008 \text{ m} + 0,0000102 \text{ m}$$

$$= 0,0000110 \text{ m}$$

2. Zona Pengendapan

a) Luas permukaan bak (As)

$$\text{Luas permukaan bak (As)} = \frac{\text{Debitairlimbah}(Q)}{\text{Overflow Rate}}$$

$$= \frac{0,007721446 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,00056 \text{ m}/\text{detik}}$$

$$= 13,89860 \text{ m}^2$$

b) Lebar bak

Asumsi perbandingan panjang : lebar = 3 : 1

$$As = P \times L$$

$$= 3L \times L$$

$$= 3L^2$$

$$13,89860 = 3L^2$$

$$L^2 = \frac{13,89860}{3}$$

$$L = \sqrt{\frac{13,89860}{3}}$$

$$L = 2,15 \text{ m}$$

c) Panjang bak

$$P = 3 \times L$$

$$P = 3 \times 2,15 \text{ m}$$

$$P = 6,45722 \text{ m}$$

d) Luas permukaan aktual (As Aktual)

$$As \text{ aktual} = P \times L$$

$$= 6,45722 \text{ m} \times 2,15 \text{ m}$$

$$= 13,89860 \text{ m}^2$$

e) Tinggi bak

Kedalaman bak direncanakan 3 meter

$$\text{Tinggi bak} = 3 \text{ m} + (15\% \times 3 \text{ m})$$

$$= 3,45 \text{ m}$$

- f) Cek *Overflow Rate* pada debit maksimum

$$\begin{aligned} \text{Overflow Rate} &= \frac{\text{Debit pada bak}}{\text{Luas permukaan bak}} \\ &= \frac{0,007721446 \text{ m}^3/\text{detik}}{13,89860 \text{ m}^2} \times 86400 \text{ detik/hari} \\ &= 48 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} \end{aligned}$$

- g) Volume bak (V)

$$\begin{aligned} \text{Volume bak (V)} &= A \times H \\ &= 2,15 \text{ m} \times 6,45 \text{ m} \times 3,45 \text{ m} \\ &= 47,84 \text{ m}^3 \approx 48 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- h) Cek waktu detensi pada debit maksimum

$$\begin{aligned} T_d &= \frac{\text{Volume bak}}{\text{Debit pada bak}} \\ &= \frac{48 \text{ m}^3}{0,007721446 \text{ m}^3/\text{detik} \times 3600 \text{ detik/jam}} \\ &= 1,7268 \text{ jam} \approx 2 \text{ jam} \end{aligned}$$

- i) Kemiringan dasar bak

$$\begin{aligned} S &= 1\% \times \text{Panjang bak} \\ &= 1\% \times 6,45 \\ &= 0,0645 \text{ m} \end{aligned}$$

- j) Kecepatan Pengendapan

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{\text{Debit bak}}{\text{Luas permukaan bak (As)}} \\ &= \frac{0,007721446 \text{ m}^3/\text{detik}}{13,89860249 \text{ m}^2} \\ &= 0,00056 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

- k) Diameter partikel

$$\begin{aligned} D_p &= \sqrt{\frac{18 \times V_s \times v}{g \times (S_g - 1)}} \\ &= \sqrt{\frac{18 \times 0,00056 \text{ m/detik} \times 0,0000008394}{9,81 \times (1,03 - 1)}} \\ &= 0,00017 \text{ m} \end{aligned}$$

- l) Jari-jari hidrolis

$$\begin{aligned} R &= \frac{L \times h}{L + (2 \times h)} \\ &= \frac{2,15 \times 3}{2,15 + (2 \times 3)} \end{aligned}$$

$$= 0,79141 \text{ m} \approx 0,8 \text{ m}$$

m) Cek bilangan Reynold (untuk Vs)

$$\begin{aligned} Nre &= \frac{\rho_s \times Dp \times Vs}{\mu} \\ &= \frac{1015,92 \text{ kg/m}^3 \times 0,00017 \text{ m} \times 0,00056 \text{ m/s}}{0,0008363 \text{ N.detik/m}^2} \\ &= 0,11 \text{ (memenuhi kriteria, } Nre < 1) \end{aligned}$$

n) Kecepatan Horizontal

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{\text{Debit (Q)}}{L \times h} \\ &= \frac{0,007721446}{2,15 \times 3} \\ &= 0,0012 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

o) Cek bilangan Reynold (untuk Vh)

$$\begin{aligned} Nre &= \frac{V_h \times R}{\text{Viskositas kinematis}} \\ &= \frac{0,0012 \text{ m/detik} \times 0,79141 \text{ m}}{0,0000008394 \text{ m}^2/\text{detik}} \\ &= 1131,39 \text{ (memenuhi kriteria } Nre < 2000) \end{aligned}$$

p) Cek bilangan Froude

$$\begin{aligned} Nfr &= \frac{V_h}{\sqrt{g \times h}} \\ &= \frac{0,0012 \text{ m/s}}{\sqrt{9,81 \text{ m/s}^2 \times 3 \text{ m}}} \\ &= 0,00022 \end{aligned}$$

(memenuhi kriteria yaitu $Nfr > 1 \times 10^{-5}$)

q) Kecepatan *scouring*

$$\begin{aligned} V_{sc} &= \sqrt{\frac{8 \times k \times g \times (\rho_s - \rho_w) \times dp}{\lambda \times \rho_w}} \\ &= \sqrt{\frac{8 \times 0,018 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times (1015,92 \text{ kg/m}^3 - 996 \text{ kg/m}^3) \times 0,00017}{0,03 \times 996 \text{ kg/m}^3}} \\ &= 0,013 \text{ m/detik (} V_{sc} > V_h, \text{ tidak terjadi penggerusan)} \end{aligned}$$

3. Perforated Baffle

Direncanakan:

- Panjang *baffle* = lebar bak pengendap 2,15 m
- Diameter lubang = 0,14 m = 14 cm

- Tinggi *baffle* = 3,45 m
- Tebal *baffle* = 0,2
- *Baffle* diletakkan 0,5 m di depan inlet

a) Luas tiap lubang

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\
 &= \frac{3,14}{4} \times 0,14^2 \\
 &= 0,015386 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

b) Luas *perforated baffle*

$$\begin{aligned}
 A_p &= L \times H \\
 &= 2,15 \text{ m} \times 3,45 \text{ m} \\
 &= 7,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

c) Luas total lubang

$$\begin{aligned}
 A_2 &= 20\% \times A_p \\
 &= 20\% \times 7,4 \text{ m} \\
 &= 1,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

d) Jumlah lubang (n)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{Luas total lubang}}{\text{Luas tiap lubang}} \\
 &= \frac{1,5 \text{ m}^2}{0,015386 \text{ m}^2} \\
 &= 97,5 \text{ lubang} \approx 98 \text{ lubang}
 \end{aligned}$$

Rencana *perforated baffle* = 7 lubang horizontal dan 14 lubang vertikal

e) Jarak vertikal

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Tinggi baffle} - (\text{jumlah lubang} \times d)}{\text{Jumlah lubang} + 1} \\
 &= \frac{3,45 - (14 \times 0,14)}{14 + 1} \\
 &= 0,099 \text{ m} \approx 9,9 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

f) Jarak horizontal

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Lebar baffle} - (\text{jumlah lubang} \times d)}{\text{Jumlah lubang} + 1} \\
 &= \frac{2,15 - (7 \times 0,14)}{7 + 1} \\
 &= 0,146 \text{ m} \approx 14,6 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

g) Jari-jari hidrolis

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{4} \times D \\ &= \frac{1}{4} \times 0,14 \\ &= 0,035 \text{ m} \end{aligned}$$

h) Debit tiap lubang

$$\begin{aligned} Q_p &= \frac{Q}{n} \\ &= \frac{0,007721446 \text{ m}^3/\text{s}}{98} \\ &= 0,0000788 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

i) Kecepatan tiap lubang

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{Q_p}{\text{Luas tiap lubang}} \\ &= \frac{0,0000788 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,015386 \text{ m}^2} \\ &= 0,00512 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

j) Cek bilangan Reynold

$$\begin{aligned} N_{re} &= \frac{V_h \times R}{\text{Viskositas kinematis}} \\ &= \frac{0,00512 \text{ m/detik} \times 0,035 \text{ m}}{0,000008394 \text{ m}^2/\text{detik}} \\ &= 213,5 \text{ (memenuhi kriteria } N_{re} < 2000) \end{aligned}$$

k) Cek bilangan Froude

$$\begin{aligned} N_{fr} &= \frac{(v)^2}{g \times R} \\ &= \frac{(0,00512 \text{ m/s})^2}{9,81 \times 0,035} \\ &= 0,00007635 \\ &\text{(memenuhi kriteria yaitu } N_{fr} > 1 \times 10^{-5}) \end{aligned}$$

l) Headloss melalui *perforated baffle*

$$\begin{aligned} N_{fr} &= \frac{(v)^2}{2 \times g} \\ &= \frac{(0,00512)^2}{2 \times 9,81} \\ &= 1,336 \times 10^{-6} \text{ m} \end{aligned}$$

4. Zona Lumpur

Diketahui:

- *Specific gravity sludge* = 1,03

- Kadar air dalam lumpur = 95%
- Kadar SS kering dalam lumpur = 5%
- Debit dalam bak = 0,007721446 m³/detik
- Periode pengurasan = 24 jam

Hitung:

a) Penyisihan TSS dan BOD

$$\begin{aligned} \text{TSS} &= (100\% - \% \text{ efisiensi SS}) \times \text{SS influen} \\ &= (100\% - 60\%) \times 104 \text{ mg/l} \\ &= 41,6 \text{ mg/l} \approx 0,0416 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD} &= (100\% - \% \text{ efisiensi BOD}) \times \text{BOD influen} \\ &= (100\% - 35\%) \times 128 \text{ mg/l} \\ &= 83,2 \text{ mg/l} \approx 0,0832 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD} &= (100\% - \% \text{ efisiensi COD}) \times \text{COD influen} \\ &= (100\% - 35\%) \times 387,75 \text{ mg/l} \\ &= 252,04 \text{ mg/l} \approx 0,25204 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

b) Berat solid

$$\begin{aligned} W_{\text{solid}} &= \text{TSS inf} \times \% \text{ efisiensi TSS} \times \text{Debit (Q)} \\ &= \frac{104 \text{ mg/l} \times 60\% \times 0,007721 \text{ m}^3/\text{detik} \times 86.400 \text{ detik/hari}}{(1.000.000 \text{ mg/kg})} \times 1000 \frac{\text{L}}{\text{m}^3} \\ &= 41,63 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

c) Berat air

$$\begin{aligned} W_{\text{water}} &= \left(\frac{95\%}{5\%} \right) \times \text{berat lumpur terendap} \\ &= \left(\frac{95\%}{5\%} \right) \times 41,63 \text{ kg/hari} \\ &= 790,97 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

d) Volume lumpur

$$\begin{aligned} V_{\text{lumpur}} &= \frac{Ws + Ww}{\rho_s} \times td \\ &= \frac{41,63 \text{ kg/hari} + 790,97 \text{ kg/hari}}{1015,92 \text{ kg/m}^3} \times 1 \text{ hari} \\ &= 0,8196 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dimensi ruang lumpur (bentuk limas terpancung)

Direncanakan:

- Panjang ruang lumpur atas = 2 m
- Lebar ruang lumpur atas = 1,5 m
- Panjang ruang lumpur bawah = 0,6 m
- Lebar ruang lumpur bawah = 0,6 m

Hitung:

- a) Luas ruang lumpur atas

$$\begin{aligned} A_a &= P_a \times L_a \\ &= 2,00 \text{ m} \times 1,50 \text{ m} \\ &= 3,00 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- b) Luas ruang lumpur bawah

$$\begin{aligned} A_b &= P_b \times L_b \\ &= 0,60 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} \\ &= 0,36 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- c) Tinggi ruang lumpur

$$\begin{aligned} V &= \frac{h}{3} \times (A_{atas} + A_{bawah} + \sqrt{A_{atas} \times A_{bawah}}) \\ 0,8196 &= \frac{h}{3} \times (3 \text{ m}^2 + 0,36 \text{ m}^2 + \sqrt{3 \text{ m}^2 (0,36 \text{ m}^2)}) \\ 0,8196 &= \frac{h}{3} \times (3 \text{ m}^2 + 0,36 \text{ m}^2 + 1,039) \\ 0,8196 &= 1,466h \\ h &= \frac{0,8196}{1,466} \\ &= 0,559 \text{ m} \end{aligned}$$

5. Zona Outlet

- a) Panjang ambang dan beban pelimpah (Lw)

$$\begin{aligned} Lw &= \frac{\text{Debit bak} \times 86400 \text{ detik/hari}}{WLR} \\ &= \frac{0,007721446 \text{ m}^3/\text{s} \times 86400 \text{ detik/hari}}{250 \text{ m}^3/\text{m}} \\ &= 2,67 \text{ m} \end{aligned}$$

- b) Luas penampang pipa yang diperlukan

$$As = \frac{\text{Debit bak}}{v_{out}}$$

$$= \frac{0,007721446 \text{ m}^3/\text{s}}{0,4 \text{ m/detik}}$$

$$= 0,01930 \text{ m}^2$$

- c) Pipa saluran pengumpul ke unit *Anaerobic Baffled Reactor*

Direncanakan kedalaman air saluran outlet = 0,20 m

Kedalaman air saluran outlet pada v_{out}

$$= \frac{Q}{b_{out} \times v_{out}}$$

$$= \frac{0,007721446 \text{ m}^3/\text{s}}{0,20 \text{ m} \times 0,4 \text{ m/s}}$$

$$= 0,10 \text{ m}$$

- d) Ukuran pipa outlet gravitasi ke ABR (D pipa)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times As}{3,14}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \times 0,019303615}{3,14}}$$

$$= 0,16$$

- e) Luas pipa Ø160 mm (A_{pipa})

$$A_{pipa} = \frac{3,14}{4} \times D^2$$

$$= \frac{3,14}{4} \times 0,16^2$$

$$= 0,019 \approx 0,20$$

- f) Kecepatan aktual (V_{aktual})

$$V_{aktual} = \frac{\text{Debit bak}}{\text{Luas pipa}}$$

$$= \frac{0,007721446 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,20}$$

$$= 0,4$$

5.4 Secondary Treatment

Pada tahap *secondary treatment*, unit yang digunakan adalah *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) yang berfungsi untuk menyisihkan kandungan bahan organik (BOD dan COD) serta padatan tersuspensi dari air limbah melalui proses pengolahan biologis secara anaerobik memanfaatkan sekat-sekat (*baffles*).

5.4.1 Perencanaan ABR

Anaerobic Baffled Reactor (ABR) direncanakan sebagai unit pengolahan biologis anaerobik untuk menurunkan beban bahan organik air limbah domestik. Sekat atau *baffle* mengarahkan air limbah secara bergantian ke bawah dan ke atas sehingga air limbah berkontak dengan biomassa di dalam kompartemen.

Perencanaan menggunakan debit rata-rata sebesar 0,00617716 m³/detik dan debit maksimum sebesar 0,007721446 m³/detik. Debit rata-rata digunakan untuk menentukan kebutuhan volume dan beban pencemar harian, sedangkan debit maksimum digunakan untuk memeriksa kecepatan aliran pada kondisi puncak.

Tabel 5.8 Kriteria Desain Perencanaan ABR

No.	Parameter	Besaran	Satuan	Konversi	Satuan
1	Debit maksimum (Q _{max})	0,007721446	m ³ /detik	27,80	m ³ /jam
2	Debit rata-rata (Q _{avg})	0,006177157	m ³ /detik	22,24	m ³ /jam
3	BOD Influen	128	mg/l		
4	COD Influen	387,75	mg/l		
5	TSS influen	104	mg/l		
6	Kedalaman bak	3	m		
7	Jumlah Kompartemen	5	buah		
8	OLR	< 3	kg/COD/m ³ .hari		
9	Suhu	28 ⁰	Celcius		
10	<i>Freeboard</i>	15%	0,6		
11	Waktu detensi	2	jam		
12	Rasio COD/BOD	2,36			
13	Rasio SS/COD (0,4-0,55)	0,51			
14	Tinggi Air	0,75			

Dari kriteria desain yang direncanakan, maka dihitung:

1. Luas *Chamber* (A)

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Chamber (A)} &= Q_{\text{peak}} / Uv \\
 &= 27,80 \text{ m}^3/\text{jam} / 1 \\
 &= 27,80 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

2. Panjang dan lebar *Chamber*

- Panjang $= h \times 0,75$
 $= 2 \text{ m} \times 0,75$
 $= 1,5 \text{ m}$
- Lebar $= \frac{A}{P}$
 $= \frac{27,80 \text{ m}^2}{1,5 \text{ m}}$
 $= 18,53 \text{ m}$

3. Kecepatan *Upflow Actual*

$$V_{up} = \frac{Q_{peak}}{L \times P}$$

$$= \frac{27,80}{18,53 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}}$$

$$= 1,00 \text{ m/jam (memenuhi } < 2 \text{ m/jam)}$$

4. Volume ABR

$$\text{Volume ABR} = \text{Jumlah kompartemen} \times (P \times L \times h)$$

$$= 5 \times (1,5 \text{ m} \times 18,53 \text{ m} \times 2 \text{ m}) = 278 \text{ m}^3$$

5. Volume lumpur dan volume air

$$\text{Volume lumpur} = 5\% \times V_{ABR}$$

$$= 0,05 \times 278 \text{ m}^3$$

$$= 14 \text{ m}^3 \text{ (per kompartemen)}$$

$$\text{Volume air efektif (V}_{air}) = \text{Volume ABR} - \text{Volume Lumpur}$$

$$= 278 \text{ m}^3 - 14 \text{ m}^3$$

$$= 264 \text{ m}^3$$

6. HRT ABR

$$\text{HRT} = \frac{\text{Volume Air}}{(Q_r/24)}$$

$$= \frac{264 \text{ m}^3}{(533,76/24)}$$

$$= 11,92 \text{ jam} \approx 12 \text{ jam}$$

7. BOD *Over Loading*

$$\text{OLR} = (\text{BOD in} \times Q_r) / (1000 \times \text{Volume ABR})$$

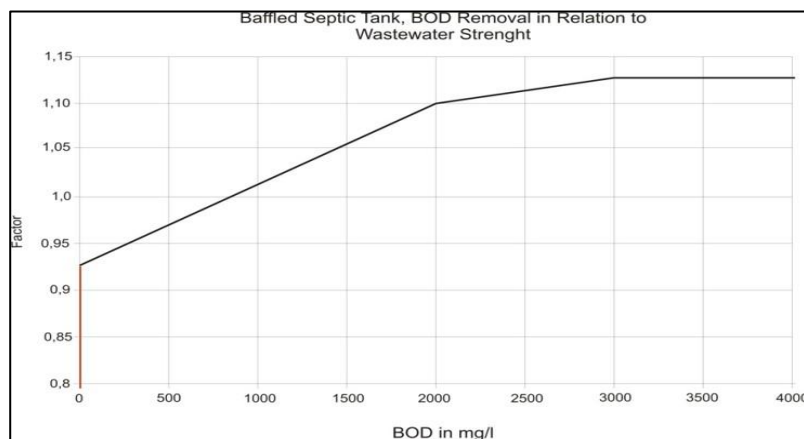
$$= \frac{128 \text{ mg/L} \times 533,76}{1000 \times 278}$$

$$= 0,0246 \text{ kg.BOD/m}^3 \cdot \text{hari}$$

(memenuhi $< 3 \text{ kg.BOD/m}^3 \cdot \text{hari}$)

5. Perhitungan Efisiensi ABR

- Faktor Penyisihan BOD berdasarkan *Strength* BOD *Inflow*

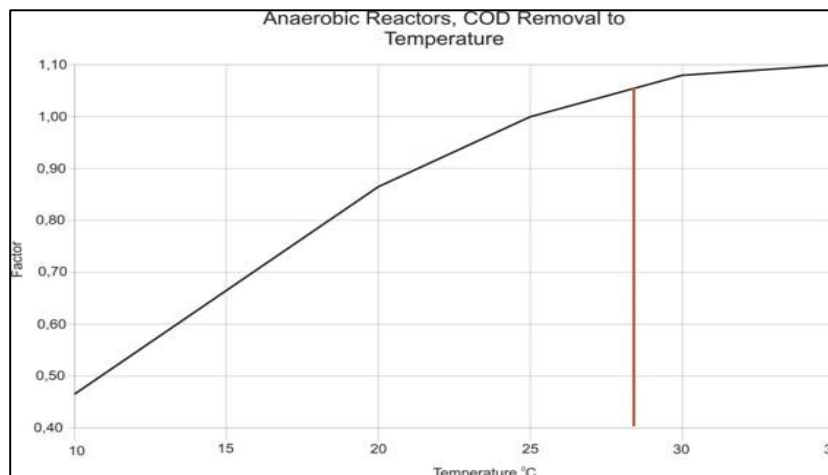


Gambar 5.1 Faktor *Strength* BOD *Inflow*

Sumber: Borda, 2009

Gambar 5.1 menunjukkan hubungan antara konsentrasi BOD influen dengan faktor penyisihan BOD berdasarkan karakteristik atau kekuatan (*strength*) air limbah. Grafik dibaca dengan menentukan konsentrasi BOD influen pada sumbu horizontal, kemudian nilai tersebut ditelusuri menuju kurva. Titik perpotongan dengan kurva selanjutnya diproyeksikan ke sumbu vertikal untuk memperoleh nilai faktor *strength*. Pada perencanaan ABR ini, konsentrasi BOD influen aktual yang digunakan adalah 128 mg/L. Dengan membaca posisi nilai tersebut pada rentang 0–500 di sumbu horizontal grafik, lalu memproyeksikannya ke sumbu vertikal, maka diperoleh faktor *strength* sebesar 0,95.

- **Faktor Penyisihan BOD berdasarkan**

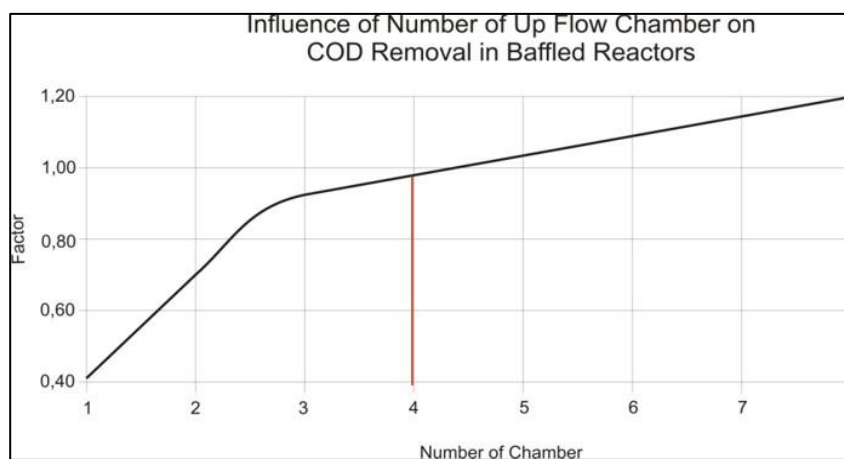


Gambar 5.2 Faktor Temperatur

Sumber: Borda, 2009

Gambar 5.2 menunjukkan hubungan antara temperatur air limbah dengan faktor penyisihan BOD berdasarkan kondisi temperatur. Grafik dibaca dengan menentukan temperatur air limbah pada sumbu horizontal, kemudian nilai tersebut ditelusuri hingga berpotongan dengan kurva. Nilai faktor temperatur selanjutnya dibaca pada sumbu vertikal. Temperatur air limbah yang digunakan dalam perencanaan adalah 28°C. Dengan memasukkan nilai tersebut ke dalam grafik, diperoleh faktor temperatur sebesar 1,05.

- **Faktor Penyisihan BOD Berdasarkan Jumlah Kompartemen (*Chamber*)**

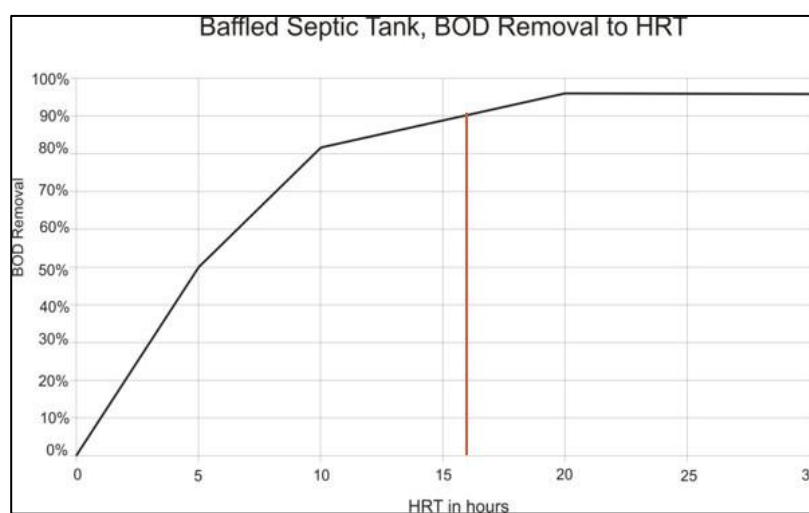


Gambar 5.3 Faktor Jumlah Chamber

Sumber: Borda, 2009

Gambar 5.3 menunjukkan hubungan antara jumlah kompartemen (*chamber*) ABR dengan faktor penyisihan BOD. Grafik dibaca dengan menentukan jumlah *chamber* yang direncanakan pada sumbu horizontal, kemudian nilai tersebut ditelusuri hingga berpotongan dengan kurva. Nilai faktor jumlah *chamber* selanjutnya dibaca pada sumbu vertikal. Pada perencanaan ini digunakan 5 *chamber*, sehingga nilai 5 pada sumbu horizontal ditelusuri menuju kurva dan diperoleh faktor jumlah *chamber* sebesar 1,00.

- Faktor Penyisihan BOD Berdasarkan HRT

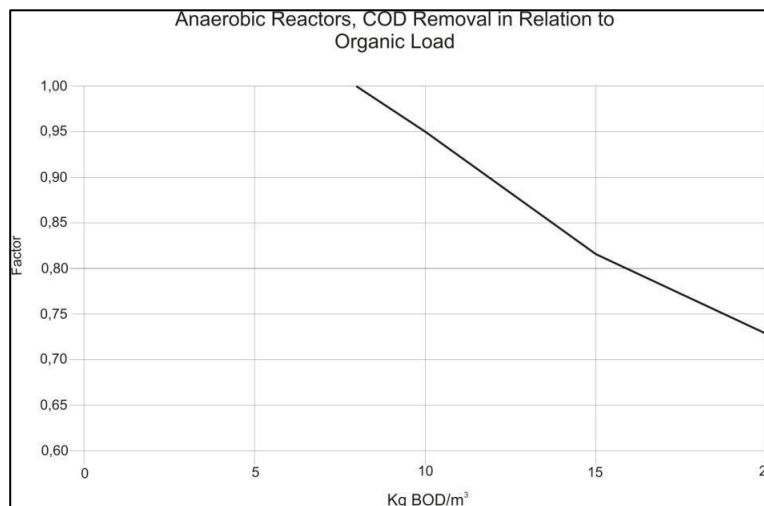


Gambar 5.4 Faktor Penyisihan BOD Berdasarkan HRT

Sumber: Borda, 2009

Gambar 5.4 menunjukkan hubungan antara waktu detensi hidrolis (HRT) dengan persentase penyisihan BOD pada ABR. Grafik dibaca dengan menentukan nilai HRT pada sumbu horizontal, kemudian nilai tersebut ditelusuri hingga berpotongan dengan kurva. Selanjutnya, titik perpotongan tersebut diproyeksikan ke sumbu vertikal untuk memperoleh faktor efisiensi HRT. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, HRT aktual ABR diperoleh sebesar 11,90 jam. Nilai 11,90 jam tersebut kemudian digunakan untuk membaca grafik pada rentang antara 10 hingga 15 jam. Dengan menarik garis proyeksi ke sumbu vertikal, maka diperoleh faktor penyisihan akibat HRT sebesar 0,85 (atau 85%)

- **Faktor Penyisihan BOD Berdasarkan Faktor OLR**



Gambar 5.5 Faktor OLR BOD

Sumber: Borda, 2009

Gambar 5.5 menunjukkan hubungan antara Organic Loading Rate (OLR) BOD dengan faktor penyisihan BOD pada ABR. Grafik dibaca dengan menentukan nilai OLR BOD pada sumbu horizontal, kemudian nilai tersebut ditelusuri hingga mencapai kurva. Dari titik perpotongan tersebut, nilai faktor OLR BOD dibaca pada sumbu vertikal. Berdasarkan hasil perhitungan, OLR BOD ABR sebesar 0,258 kg BOD/m³.hari. Mengingat nilai tersebut berada jauh di bawah batas penurunan kinerja (kurang dari 8 kg BOD/m³), dengan memasukkan nilai tersebut ke dalam grafik diperoleh faktor OLR BOD sebesar 1,00.

8. *Removal BOD*

$$\begin{aligned}
 &= F_{\text{strength}} \times F_{\text{Temperature}} \times F_{\text{Chamber}} \times F_{\text{HRT}} \times F_{\text{OLR}} \\
 &= 0,94 \times 1,05 \times 1,00 \times 0,85 \times 1,00 \\
 &= 0,8479 = 83,90\%
 \end{aligned}$$

9. BOD Effluen

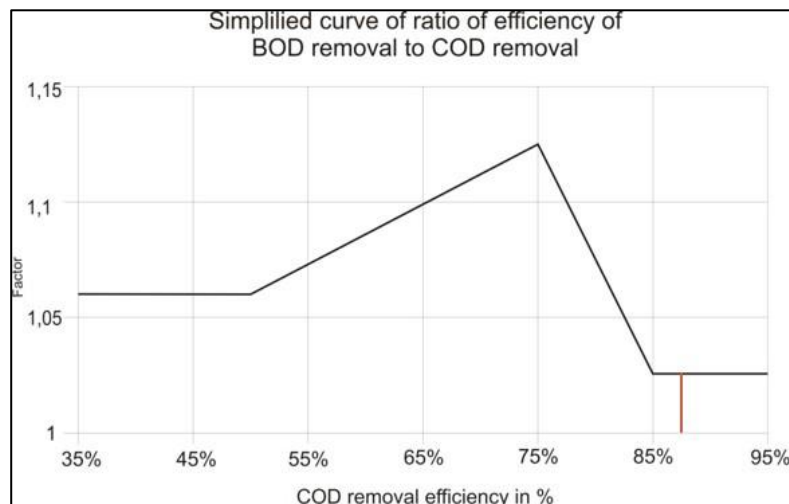
$$\text{BOD Out} = (1 - \text{Removal BOD}) \times \text{BOD In}$$

$$\text{BOD Out} = (1 - 0,8390) \times 83,2 \text{ mg/L}$$

$$\text{BOD Out} = 0,1610 \times 83,2 \text{ mg/L}$$

$$\text{BOD Out} = 13,40 \text{ mg/L}$$

- **Removal COD**



Gambar 5. 6 Faktor Efisiensi BOD Removal terhadap COD Removal

Sumber: Borda, 2009

Gambar 5.6 menunjukkan hubungan antara persentase penyisihan BOD dengan faktor efisiensi BOD terhadap COD. Grafik digunakan dengan menentukan nilai BOD removal yang telah diperoleh dari perhitungan sebelumnya, yaitu sebesar 0,8479 atau sekitar 85%. Nilai tersebut dicari pada sumbu horizontal dan ditelusuri hingga berpotongan dengan kurva. Selanjutnya, nilai faktor efisiensi BOD/COD dibaca pada sumbu vertikal. Berdasarkan pembacaan grafik, pada efisiensi 85% diperoleh faktor efisiensi BOD/COD sebesar 1,025.

10. Perhitungan Removal COD

$$\text{Removal COD} = \frac{\text{Removal BOD}}{\text{Faktor BOD/COD}}$$

$$\text{Removal COD} = \frac{0,8390}{1,025}$$

$$\text{Removal COD} = 0,8185 = 81,85\%$$

11. COD Effluen (COD Out)

$$\text{COD Out} = (1 - \text{Removal COD}) \times \text{COD In}$$

$$\text{COD Out} = (1 - 0,8185) \times 252,04 \text{ mg/L}$$

$$\text{COD Out} = 0,1815 \times 252,04 \text{ mg/L}$$

$$\text{COD Out} = 45,75 \text{ mg/L}$$

12. TSS Effluen (TSS Out)

$$\text{TSS Out} = \text{Rasio SS/COD} \times \text{COD Out}$$

$$\text{TSS Out} = 0,1651 \times 45,75 \text{ mg/L}$$

$$\text{TSS Out} = 7,55 \text{ mg/L}$$

13. Removal TSS

$$\text{Removal TSS} = \left(1 - \frac{\text{TSS Out}}{\text{TSS In}}\right) \times 100\%$$

$$\text{Removal TSS} = \left(1 - \frac{7,55 \text{ mg/L}}{41,6 \text{ mg/L}}\right) \times 100\%$$

$$\text{Removal TSS} = (1 - 0,1815) \times 100\% = 81,85\%$$

14. Produksi Gas

$$= \frac{\frac{(\text{COD In} - \text{COD Out}) \times Q_r \times 0,35}{1000}}{0,7 \times 0,5}$$

$$= \frac{\frac{(252,04 \text{ mg/L} - 45,75 \text{ mg/L}) \times 533,76 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,35}{1000}}{0,35}$$

$$= \frac{\frac{206,29 \times 533,76 \times 0,35}{1000}}{0,35}$$

$$\text{Produksi Gas} = \frac{38,54}{0,35}$$

$$\text{Produksi Gas} = 110,11 \text{ m}^3/\text{hari}$$

5.5 Perencanaan Bak Kontrol

Bak kontrol merupakan unit terakhir yang ditempatkan setelah reaktor *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR). Unit ini berfungsi sebagai titik akhir pemantauan hidrolis sekaligus lokasi pengambilan sampel efluen (air hasil olahan). Keberadaan bak kontrol sangat krusial untuk mengevaluasi kinerja keseluruhan

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) serta memastikan bahwa kualitas air yang akan dibuang telah memenuhi baku mutu lingkungan yang berlaku.

Selain untuk pemantauan kualitas, unit ini memfasilitasi operator dalam memeriksa kelancaran aliran dan kondisi operasional sistem sebelum efluen dialirkan ke badan air penerima (sungai). Dimensi bak kontrol ditentukan berdasarkan kemudahan akses operasional dan debit aliran dari ABR. Pada perencanaan ini, bak kontrol didesain secara kompak dengan dimensi panjang 1 m, lebar 1 m, dan kedalaman 1 m (1 m × 1 m × 1 m).

5.6 Neraca Massa

Neraca massa dilakukan untuk mengetahui perubahan beban pencemar pada setiap tahapan unit pengolahan air limbah domestik. Parameter yang digunakan dalam neraca massa meliputi *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solids* (TSS). Neraca massa disusun berdasarkan debit rata-rata air limbah sebesar 533,76 m³/hari serta konsentrasi pencemar yang diperoleh dari hasil perhitungan masing-masing unit pengolahan pada perencanaan teknis. Data awal air limbah (influen) yang digunakan dalam perencanaan terdiri atas konsentrasi BOD sebesar 128 mg/L, COD sebesar 387,75 mg/L, dan TSS sebesar 104 mg/L.

Neraca massa pada sistem pengolahan dilakukan dengan membandingkan beban pencemar yang masuk dengan beban pencemar yang keluar dari masing-masing unit. Beban pencemar dihitung menggunakan persamaan:

$$L = \frac{C \times Q}{1000}$$

Keterangan:

L	= Beban pencemar (Kg/hari)
C	= Konsentrasi pencemar (mg/L)
Q	= Debit air limbah (m ³ /hari)
1000	= Faktor konversi dari mg ke kg dan liter ke meter kubik

5.6.1. Beban Pencemar Influen

Beban pencemar influen awal (sebelum masuk ke unit pengolahan) dihitung berdasarkan konsentrasi awal air limbah dan debit rata-rata sebesar 533,76 m³/hari.

1. Beban BOD

$$L_{BOD} = \frac{128 \text{ mg/L} \times 533,706 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000}$$

$$L_{BOD} = 68,32 \text{ kg/hari}$$

2. Beban COD

$$L_{COD} = \frac{387,75 \text{ mg/L} \times 533,706 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000}$$

$$L_{COD} = 206,96 \text{ kg/hari}$$

3. Beban TSS

$$L_{TSS} = \frac{104 \text{ mg/L} \times 533,706 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000}$$

$$L_{TSS} = 55,51 \text{ kg/hari}$$

5.6.2 Neraca Massa Grease Trap

Unit grease trap berfungsi sebagai pengolahan pendahuluan untuk menyisihkan kandungan minyak dan lemak agar tidak menggumpal dan mengganggu kelancaran proses biologis pada unit pengolahan selanjutnya. Perhitungan neraca massa pada unit ini difokuskan pada penurunan parameter minyak dan lemak.

Berdasarkan data influen, konsentrasi awal minyak dan lemak yang masuk adalah sebesar 50,1 mg/L. Dengan asumsi efisiensi penyisihan grease trap sebesar 80%, maka konsentrasi minyak dan lemak pada efluen (keluaran) unit ini dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &\text{Minyak \& Lemak effluent} \\ &= (100\% - 80\%) \times \text{Konsentrasi minyak \& lemak} \\ &= (100\% - 80\%) \times 50,1 \text{ mg/l} \\ &= 10 \text{ mg/l (Tidak memenuhi baku mutu } < 5 \text{ mg/l)} \end{aligned}$$

5.6.3 Neraca Massa Settler

Air limbah awal yang masuk ke unit bak pengendap (*Settler*) memiliki konsentrasi BOD sebesar 128 mg/L, COD sebesar 387,75 mg/L, dan TSS sebesar 104 mg/L. Berdasarkan hasil perencanaan bak pengendap, diperoleh konsentrasi efluen BOD turun menjadi 83,20 mg/L, COD menjadi 252,04 mg/L, dan TSS menjadi 41,60 mg/L. Nilai tersebut diperoleh berdasarkan efisiensi penyisihan unit *Settler* sebesar 35% untuk parameter COD dan BOD, serta 60% untuk parameter TSS. Beban pencemar harian setelah melewati bak pengendap dihitung sebagai berikut:

- TSS = $(100\% - \% \text{ efisiensi SS}) \times \text{SS influen}$
 $= (100\% - 60\%) \times 104 \text{ mg/l}$
 $= 41,6 \text{ mg/l} \approx 0,0416 \text{ kg/m}^3$
- BOD = $(100\% - \% \text{ efisiensi BOD}) \times \text{BOD influen}$
 $= (100\% - 35\%) \times 128 \text{ mg/l}$
 $= 83,2 \text{ mg/l} \approx 0,0832 \text{ kg/m}^3$
- COD = $(100\% - \% \text{ efisiensi COD}) \times \text{COD influen}$
 $= (100\% - 35\%) \times 387,75 \text{ mg/l}$
 $= 252,04 \text{ mg/l} \approx 0,25204 \text{ kg/m}^3$

Selanjutnya, beban pencemar yang tersisihkan pada bak pengendap dihitung berdasarkan selisih antara beban pencemar influen (awal masuk IPAL) dengan beban pencemar efluen (keluar dari bak pengendap).

- TSS Tersisihkan

$$= \frac{(\text{TSS Influen} - \text{TSS Efluen}) \times Q_r}{1000}$$

$$= \frac{(104 \text{ mg/L} - 41,6 \text{ mg/L}) \times 533,706 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000}$$

$$= \frac{62,4 \text{ mg/L} \times 533,706 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000}$$

$$= 33,31 \text{ kg/hari}$$
- BOD Tersisihkan

$$= \frac{(\text{BOD Influen} - \text{BOD Efluen}) \times Q_r}{1000}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{(128 \text{ mg/L} - 83,2 \text{ mg/L}) \times 533,706 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000} \\
&= \frac{44,8 \text{ mg/L} \times 533,706 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000} \\
&= 23,91 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

- COD Tersisihkan

$$\begin{aligned}
&= \frac{(\text{COD Influen} - \text{COD Efluen}) \times Q_r}{1000} \\
&= \frac{(387,75 \text{ mg/L} - 252,04 \text{ mg/L}) \times 533,706 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000} \\
&= \frac{135,71 \text{ mg/L} \times 533,706 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000} \\
&= 72,43 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

5.6.4 Neraca Massa ABR

Air limbah yang telah melalui bak pengendap (*Settler*) selanjutnya menjadi influen bagi *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR). Berdasarkan hasil perencanaan, karakteristik influen ABR adalah BOD sebesar 83,20 mg/L, COD sebesar 252,04 mg/L, dan TSS sebesar 41,60 mg/L.

Hasil perhitungan efisiensi ABR menunjukkan penyisihan BOD sebesar 83,90%. Berdasarkan hasil tersebut diperoleh BOD efluen sebesar 13,40 mg/L. Selanjutnya, penyisihan COD sebesar 81,85% menghasilkan COD efluen sebesar 45,75 mg/L, sedangkan efisiensi penyisihan TSS yang setara menghasilkan TSS efluen sebesar 7,55 mg/L.

- Beban BOD

$$\begin{aligned}
\text{BOD Out} &= (1 - \text{Removal BOD}) \times \text{BOD In} \\
\text{BOD Out} &= (1 - 0,8390) \times 83,2 \text{ mg/L} \\
\text{BOD Out} &= 0,1610 \times 83,2 \text{ mg/L} \\
\text{BOD Out} &= 13,40 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

- Beban COD

$$\begin{aligned}
\text{COD Out} &= (1 - \text{Removal COD}) \times \text{COD In} \\
\text{COD Out} &= (1 - 0,8185) \times 252,04 \text{ mg/L} \\
\text{COD Out} &= 0,1815 \times 252,04 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\text{COD Out} = 45,75 \text{ mg/L}$$

- Beban TSS

$$\text{TSS Out} = \text{Rasio SS/COD} \times \text{COD Out}$$

$$\text{TSS Out} = 0,1651 \times 45,75 \text{ mg/L}$$

$$\text{TSS Out} = 7,55 \text{ mg/L}$$

Beban pencemar yang tersisihkan pada ABR kemudian dihitung sebagai berikut

- Beban BOD

$$= \frac{(\text{BOD In} - \text{BOD Out}) \times Q_r}{1000}$$

$$= \frac{(83,20 \text{ mg/L} - 13,40 \text{ mg/L}) \times 533,706 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000}$$

$$= \frac{69,80 \text{ mg/L} \times 533,706 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000}$$

$$= 37,26 \text{ kg/hari}$$

- Beban COD

$$= \frac{(\text{COD In} - \text{COD Out}) \times Q_r}{1000}$$

$$= \frac{(252,04 \text{ mg/L} - 45,75 \text{ mg/L}) \times 533,706 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000}$$

$$= \frac{206,29 \text{ mg/L} \times 533,706 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000}$$

$$= 110,11 \text{ kg/hari}$$

- Beban TSS

$$= \frac{(\text{TSS In} - \text{TSS Out}) \times Q_r}{1000}$$

$$= \frac{(41,60 \text{ mg/L} - 7,55 \text{ mg/L}) \times 533,706 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000}$$

$$= \frac{34,05 \text{ mg/L} \times 533,706 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000}$$

$$= 18,17 \text{ kg/hari}$$

BAB VI

SPESIFIKASI TEKNIS DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA

6.1 Umum

Sebelum melakukan pelaksanaan pekerjaan, pemborong perlu mempelajari dengan seksama mengenai gambar kerja dan syarat pelaksanaan serta berita acara mengenai penjelasan pekerjaan. Selain hal itu, pemborong diwajibkan membuat metode kerja, jadwal pelaksanaan, daftar peralatan yang dimiliki dan personil yang akan terlibat serta harus mengikuti seluruh peraturan yang berlaku. Setiap kegiatan pembangunan harus diselenggarakan sesuai dengan standar prosedur dan peraturan perundang-undangan yang berlaku di Indonesia. Kepatuhan terhadap regulasi ini bersifat mengikat selama masa pelaksanaan kerja. Adapun acuan peraturan dalam pekerjaan pembangunan ini terdiri dari:

1. Peraturan umum untuk Pemeriksaan Bahan-bahan Bangunan spesi N3 (PUPB) 1956 / NI-3 (PUPB) 1963 / PUPB 1969.
2. Peraturan Muatan Indonesia (PMI-NI 18/1970) dan Peraturan Pembebanan Indonesia tahun 1981.
3. Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI - 1971).

6.2 Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan merupakan awal dari kegiatan pembangunan. Pekerjaan persiapan mencakup pembangunan bangunan sementara, pengukuran dan pematokan area pembangunan, pembersihan dan penebangan pohon yang mengganggu kelancaran pembangunan, pekerjaan pembongkaran, dan pekerjaan jalan masuk. Berikut ini penjelasan mengenai setiap pekerjaan persiapan.

6.2.1 Bangunan Sementara

Bangunan sementara terdiri dari kantor direksi, kantor pemborong dan gudang. Bangunan sementara harus dibuat pada lokasi proyek dan besarnya

bangunan tersebut disesuaikan dengan kebutuhan. Adapun ketentuan bangunan sementara, yaitu:

- a. Setiap pemborong wajib menyediakan kantor direksi dan tempat staf direksi untuk melaksanakan tugas.
- b. Letak kantor direksi dengan kantor pemborong harus cukup dekat.
- c. Kantor direksi memiliki spesifikasi seperti: lantai rabat beton diplester, konstruksi rangka kayu, dinding multipleks, penutup atap asbes semen gelombang, dan pintu serta jendela secukupnya untuk pengawasan dan pencahayaan.
- d. Pemborong harus menyediakan kantor pemborong sendiri dengan luas bangunan minimal 6 x 10 m². Pemborong juga harus menyediakan fasilitas ruangan untuk para pemborong atau kontraktor khusus yang akan melaksanakan pekerjaan di luar lingkup pekerjaan.
- e. Gudang untuk bahan-bahan dan penimbunan material harus dilindungi dengan cara dibuat ruangan secukupnya serta dapat dikunci. Material tersebut adalah pasir, besi beton dan lain-lain. Lantai khusus gudang semen dibuat bebas dari kelembaban udara, minimal 30 cm di atas permukaan lantai plesteran.

6.2.2 Pematokan dan Pengukuran

Berikut merupakan ketentuan untuk papan nama proyek, yaitu:

- a. Pemborong harus mengerjakan pematokan dan pengukuran untuk menentukan bata-batas pekerjaan serta garis-garis kemiringan tanah yang sesuai dengan gambar rencana.
- b. Gambar kerja yang dibuat setelah pengukuran berisi pembagian lokasi kerja untuk disetujui oleh direksi, sehingga jadwal pelaksanaan pekerjaan selanjutnya dapat dilaksanakan. Pemborong harus melakukan pengukuran ulang apabila terdapat perbaikan dari direksi. Pada pengukuran, patok referensi diharuskan ada dan tidak boleh diganggu.

- c. Pemborong harus memberitahu kepada direksi dalam waktu kurang dari 48 jam sebelumnya secara tertulis sebelum dilaksanakannya pekerjaan tersebut
- d. Setelah melakukan pekerjaan pematokan yang dilakukan oleh pemborong, direksi dimintai persetujuan tentang pematokan tersebut. Hasil pengukuran yang telah disetujui dapat digunakan sebagai dasar pekerjaan selanjutnya.
- e. Pemborong harus mengajukan 3 gambar penampang dari daerah yang dilakukan pematokan apabila ada penyimpangan dari gambar pelaksanaan.
- f. Direksi akan menandatangani persetujuan pada lembar gambar dan akan diserahkan kepada pemborong. Lembar tersebut berisi gambar pelengkap dan merupakan satu kesatuan dengan gambar nyata.
- g. Pemborong mengajukan persetujuan kembali kepada direksi apabila terdapat revisi.

6.2.3 Pembersihan Lahan

Penebangan pohon dilakukan seperlunya dan dilakukan pada area pembangunan. Penebangan di luar area pembangunan tidak diberikan pembayaran kepada pemborong kecuali pekerjaan tersebut diminta oleh direksi. Pohon-pohon rindang atau tanaman ornamen tertentu dipertahankan dari penebangan. Pohon, batang dan akar yang ditebang harus dibongkar hingga kedalaman 50 cm di bawah permukaan lahan seperti tripping dan permukaan akhir atau ditentukan oleh permukaan yang lebih rendah. Kerusakan yang terjadi pada saat pembersihan lahan harus diperbaiki oleh pemborong atas tanggung jawab sendiri. Pada saat pembersihan pemborong harus berhati-hati agar tidak mengganggu setiap patokpatok pengukur dan tanda-tanda lainnya.

Pekerjaan pembersihan meliputi pembersihan segala macam tumbuhan, pohon, semak-semak, sampah, barang-barang lain yang mengganggu, termasuk pencabutan akar, sisa konstruksi, sisa material dari sisa pekerjaan serta hal lain yang berhubungan dengan persiapan pelaksanaan pekerjaan selanjutnya. Sisa-sisa material yang tidak dikehendaki termasuk tanah yang tidak diizinkan untuk

digunakan oleh direksi, harus dibuang keluar daerah lokasi proyek agar tidak mengganggu jalannya pembangunan dan lingkungan sekitar.

6.2.4 Pekerjaan Pembongkaran

Pekerjaan pembongkaran dilakukan sebelum pembangunan sesuai dengan komponen pekerjaan yang diperintahkan oleh direksi. Kontraktor harus memperbaiki bekas pembongkaran yang dilakukan diluar bagian yang telah ditetapkan dalam kontrak dengan baik dan sesuai dengan fungsi bagian tersebut seperti sebelumnya atas beban dan tanggung jawab kontraktor secara keseluruhan. Kontraktor juga harus membersihkan seluruh sisa bongkaran hingga bersih serta tidak mengganggu pekerjaan lain. Sisa bongkaran ditempatkan pada area terpisah.

Komponen pekerjaan bongkaran mencakup bongkaran rumput eksisting, bongkaran jalan beton, dan bongkaran jalan paving eksisting. Rumput eksisting bekas pembongkaran yang digunakan kembali maupun yang dibuang harus memperoleh izin dari direksi terkait dengan kondisinya. Materi yang tidak dibuang untuk diinventarisasi dan dikembalikan kepada negara tidak boleh diperjualbelikan.

6.2.5 Papan Nama Proyek

Papan nama proyek harus dipasang oleh pemborong di lokasi proyek dan dipancangkan di tempat yang mudah dilihat oleh umum. Pemasangan papan tersebut dilakukan saat pelaksanaan proyek dimulai dan dicabut setelah mendapatkan persetujuan dari pemilik proyek. Isi, bentuk dan ukuran papan ditentukan oleh direksi. Papan nama proyek dibuat dari kayu dengan ukuran 150 x 100 cm. Papan nama proyek berisi nama proyek, pemilik, lokasi, jumlah biaya (kontrak), nama konsultan pengawas, nama kontraktor, dan waktu proyek dimulai (tanggal, bulan dan tahun). Papan nama proyek disarankan dipasang menggunakan tiang penyangga berbahan kayu dengan penguat beton. Setelah pemasangan papan, pemborong diwajibkan melapor kepada direksi lapangan untuk pemeriksaan persetujuan. Selain itu pemborong juga diharuskan memasang pagar di sekeliling lokasi pembangunan pada saat dimulainya proyek dan dicabut sebelum penyerahan pertama.

6.2.6 Pekerjaan Jalan Masuk

Pemborong harus melakukan pemeliharaan sarana pelengkap pekerjaan termasuk jalan masuk menuju lokasi pekerjaan dan semua biaya pemeliharaan ditanggung oleh pemborong. Pada akhir pembangunan, berdasarkan perintah direksi maka segala sarana pelengkap dibongkar jika tidak digunakan dan dirapikan seperti semula atau sesuai dengan syarat yang ditentukan oleh direksi.

6.3 Pekerjaan Sipil

6.3.1 Pekerjaan Tanah

Pekerjaan tanah mencakup pekerjaan yang berhubungan dengan pengupasan, penimbunan atau pembuangan tanah, batu atau material lain dari atau ke tempat proyek serta pembongkaran dan yang berhubungan dengan pekerjaan yang sesuai dengan spesifikasi, gambar pelaksanaan serta petunjuk direksi. Untuk mendapatkan permukaan tanah yang asli dan bebas dari material yang dapat membusuk, pemborong harus melakukan *stripping* pada lokasi yang direncanakan untuk dilakukan pengurugan. Pada pekerjaan galian tanah dilakukan sesuai dengan pematokan yang telah dilakukan. Adapun jenis galian menurut tingkat kesulitannya untuk menentukan pembiayaan yaitu galian tanah biasa dan galian tanah keras/cadas.

Tanah yang berbatu umumnya digali dengan menggunakan bor atau alat khusus lain. Galian tanah yang berair dapat menimbulkan masalah air tanah setelah mencapai kedalaman galian lebih dari 0,2 m dari permukaan air konstan. Galian harus diberikan penguat dan dibuat sedikit miring sehingga tidak terjadi longsor yang dapat mengganggu bangunan yang telah dibuat dan menjaga pekerja untuk bekerja dengan aman jika perlu dilakukan saat penggalian. Daerah yang dijadikan daerah penggalian harus mempunyai saluran rembesan air yang baik dan bebas dari genangan air atau dapat menggunakan pompa air karena seluruh pekerjaan diadakan sebisa mungkin saat keadaan kering. Galian juga harus dibuat dengan lebar yang cukup agar unit-unit penyangga, penguat galian, peralatan pembangunan sipil serta perletakan dan penyambungan pipa dapat dimasukkan dengan baik.

6.3.2 Pekerjaan Pengurugan

Pekerjaan pengurugan harus dilakukan sesuai dengan gambar rencana, spesifikasi dan disebutkan dalam pekerjaan tanah. Pengurugan harus dapat memenuhi ketentuan-ketentuan bahwa tanah yang digunakan bukan termasuk ke dalam tanah lempung asli (kadar clay <20%). Urugan harus bebas dari akar-akar, sampah serta batuan yang lebih besar dari 10 cm. Urugan pasir dilaksanakan di bawah semua lantai atau plat dasar dengan tebal urugan sesuai dengan gambar sehingga didapatkan peil-peil yang diinginkan. Urugan pasir digunakan pada bekas galian pondasi dalam bangun dengan ketebalan yang sesuai dengan gambar rencana, di bawah pondasi, pipa serta sesuai dengan gambar. Adapun bahan-bahan urugan, yaitu:

1. Bahan dari galian tanah, bahan galian dapat mengandung lempung, pasir, kerikil, maupun bahan lain yang bebas dari kotoran.
2. Bahan dari pasir dan kerikil, pasir yang digunakan untuk pengurugan harus berasal dari pasir alam yang memiliki butiran dari halus hingga kasar, bebas kotoran, debu dan bahan-bahan lain yang tidak sesuai. Lempung yang terkandung dalam pasir tidak boleh melebihi 10% berat keseluruhan. Untuk pembangunan unit pengolahan maupun pekerjaan pengurugan di bawah pipa harus diberi pasir setebal 5 cm.

6.3.3 Pekerjaan Pondasi

Pemancangan pondasi harus sampai pada tanah asli dengan daya dukung tertentu. Jika daya dukung tanah kurang, maka dilakukan perbaikan tanah yang sesuai dengan ketentuan yang ada. Jika tanah yang digunakan mengandung lumpur atau humus yang cukup dalam, maka tanah tersebut harus dibuang dan struktur tanah harus diperbaiki. Pondasi yang akan dipasang yaitu pondasi batu kali dengan bahan material batu kapur setebal 25-30 cm dan dipadatkan, pasir urug untuk alas pondasi memiliki ketebalan 5-10 cm dan dipadatkan, serta adukan campuran 1 pc : 2 pasir : 3 kerikil.

6.3.4 Pekerjaan Beton

Pekerjaan beton merupakan salah satu tahapan utama dalam pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), khususnya pada struktur yang memerlukan kekuatan, kedapatan, dan ketahanan terhadap beban maupun kondisi lingkungan basah. Pada perencanaan ini, pekerjaan beton diterapkan pada pembangunan bak pengumpul, *bar screen*, *grease trap*, bak pengendap, dan ABR yang membutuhkan lantai kerja, saluran, pondasi pendukung, serta elemen struktural lain yang direncanakan menggunakan beton bertulang. Beton merupakan campuran homogen yang terdiri atas semen, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan proporsi tertentu sehingga menghasilkan material yang padat, kuat, tahan lama, serta memenuhi mutu rencana.

Perbandingan setiap bahan harus dirancang agar beton memiliki kemampuan kerja (*workability*) yang baik, mudah dicetak, serta mampu mencapai kekuatan tekan sesuai spesifikasi teknis. Mengingat bangunan IPAL berhubungan langsung dengan air limbah dan kelembapan tinggi, maka mutu pelaksanaan pekerjaan beton harus diperhatikan secara cermat agar struktur tidak mudah retak, bocor, maupun mengalami penurunan kualitas dalam jangka panjang.

1. Bahan Penyusun Beton

Seluruh material yang digunakan dalam pekerjaan beton harus memenuhi standar mutu yang berlaku dan berasal dari bahan berkualitas baik. Adapun bahan penyusun beton meliputi:

a) Semen

Semen yang digunakan adalah semen Portland atau jenis lain yang setara dan memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 8 Tahun 1972. Semen harus disimpan pada tempat kering, terlindung dari air dan kelembapan, serta ditata di atas alas agar tidak bersentuhan langsung dengan tanah.

b) Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus berupa pasir bersih yang lolos saringan sesuai ketentuan persyaratan PBI 1971. Agregat halus adalah agregat yang lolos pada saringan 5 mm. Agregat halus harus terbebas dari lumpur, bahan organik, dan kotoran lain yang dapat

menurunkan mutu beton. Pasir harus memiliki gradasi baik agar menghasilkan campuran yang padat dan mudah dikerjakan.

c) Agregat Kasar (Kerikil/Batu Pecah)

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada saringan 5 mm. agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dimana agregat ini harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar berupa kerikil atau batu pecah yang keras, bersih, tidak berpori, dan memiliki ukuran sesuai kebutuhan campuran beton. Material tidak boleh mengandung lumpur berlebih maupun butiran rapuh.

d) Air

Air yang digunakan untuk pencampuran beton harus bersih, tidak mengandung minyak, garam, asam, maupun zat lain yang dapat mengganggu proses hidrasi semen. Pada umumnya air layak pakai setara air bersih dapat digunakan untuk campuran beton.

e) Bahan Tambah (Aditif)

Penggunaan bahan tambah diperbolehkan apabila diperlukan untuk meningkatkan mutu beton, seperti *plasticizer* atau *superplasticizer* guna meningkatkan kemudahan pengerjaan dan menurunkan rasio air-semen. Penggunaannya harus sesuai rekomendasi teknis dan persetujuan pengawas pekerjaan.

6.4 Spesifikasi Teknis Material

Material yang ditawarkan pemborong harus memenuhi persyaratan teknis, baik ukuran maupun kualitasnya. Berikut merupakan spesifikasi teknis material konstruksi.

6.4.1 Semen

Semen yang digunakan berjenis semen portland dengan mutu terbaik yang memenuhi syarat yang ditentukan dalam NI-18 tahun 1970. Semen harus berasal

dari pabrik yang telah disetujui oleh direksi dan dikirim menuju tempat pembangunan menggunakan kantong yang utuh dan tersegel. Semen dapat diterima berdasarkan hasil penyelidikan selama 7 hari dengan riwayat kualitas dari penghasil semen selama 12 bulan terakhir. Adapun syarat-syarat penyimpanan semen, yaitu:

1. Semen harus disimpan dengan baik untuk mencegah terjadinya kelembaban maupun pencemaran dari bahan lain.
2. Lantai gudang penyimpanan harus kuat dan berjarak minimal 30 cm di atas tanah.
3. Gudang harus dapat memuat semen dalam jumlah yang besar, sehingga tidak menimbulkan kemacetan saat penerimaan atau pengeluaran semen.
4. Semen yang terdapat dalam sak-sak tidak boleh ditumpuk lebih dari 2 m.

Air bersih yang tidak berwarna, tidak mengandung bahan organik, minyak, asam dan basa atau campuran lain yang dapat merusak beton atau dapat mempengaruhi daya lekat semen digunakan untuk pencampuran semen. Pengadukan beton dilakukan dalam mesin pengaduk hingga susunan warna dan kekentalannya sama.

6.4.2 Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%. Lumpur yang dimaksud adalah bagian yang dapat diayak menggunakan ayakan 0,063 mm. Agregat halus harus bebas dari segala macam kotoran baik dalam organis lumpur, tanah, karang, garam dan lain-lain. Pasir yang diperlukan harus diperoleh dari pemborong dan berasal dari sumber yang disetujui direksi. Bahan agregat halus harus disimpan pada tempat yang bersih, memiliki permukaan yang keras dan dilakukan pencegahan terjadinya pengotoran dan pencampuran satu sama lain. Pasir beton harus memiliki modulus kehalusan antara 2 hingga 32 mm atau sesuai dengan Peraturan Beton Indonesia tahun 1972.

6.4.3 Agregat Kasar

Agregat kasar yang diperoleh dari pemborong harus berasal dari sumber yang disetujui oleh direksi. Agregat kasar harus bebas dari bagian halus, mudah pecah, bentuk tipis dan memanjang, bahan alkalis, serta substansi lain yang dapat merusak. Berat substansi tidak boleh lebih dari 5% dan agregat kasar harus terdegradasi dengan baik dengan ukuran 5-50 mm. Modulus kehalusan butiran menurut Peraturan Beton Indonesia tahun 1971 yaitu berada di rentang 6,0-7,5.

6.4.4 Batu

Batu yang biasa digunakan adalah batu kali, batu pecah dari gunung maupun batu kasar bermutu, granit, *kwart* yang memiliki berat jenis minimum 2,4 g/cm³ dan kekuatan tekan tidak kurang dari 40 kg/cm², keras, bersih, penuh, bebas pori serta bebas dari cacat belah.

6.4.5 Baja Tulangan

Baja tulangan berasal dari baja lunak yang memiliki tegangan leleh 2400 kg/cm² dan tegangan maksimum 5000 kg/cm². Baja tulangan tidak boleh disimpan pada tempat terbuka dalam waktu yang lama dan tidak menyentuh tanah (diletakkan di atas papan atau balok kayu). Baja tulangan yang digunakan minimal harus sesuai dengan PBI-1971. Baja harus bebas dari kotoran, karat, cat dan bahan lain yang akan mengurangi daya lekat terhadap beton. Saat pemotongan atau pembengkokkan baja harus dilakukan pada keadaan dingin dan sesuai dengan gambar. Semua tulangan harus dipasang dengan posisi yang tepat sehingga tidak bergeser sebelum atau selama pengecoran.

6.4.6 Air

Air yang digunakan dalam pembuatan maupun perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam, basa, garam serta bahan lain yang dapat merusak beton dan baja tulangan. Apabila jenis air tersebut tidak didapatkan dan menimbulkan keraguan terhadap air tersebut maka diadakan percobaan perbandingan antara kekuatan tekan mortal semen-pasir dengan menggunakan air suling.

6.5 Pekerjaan Pipa dan Mekanikal Elektrikal

6.5.1 Pemasangan Pipa

Material pipa yang digunakan harus sesuai dengan standar serta ketentuan peraturan perundang-undangan. Material pipa yang dapat digunakan yaitu jenis pipa baja, pipa PVC dan pipa poly ethylene (PE). Pipa yang biasa digunakan untuk saluran air limbah dalam maupun luar bangunan IPAL adalah pipa dengan jenis PVC. Pipa PVC yang ada di atas tanah menggunakan kelas AW PN 10 kg/cm² sesuai dengan JIS standar K 6741/6742. Standar yang digunakan untuk pipa PVC ini yaitu SNI 06-0162-1987 tentang pipa PVC untuk saluran air buangan di dalam dan di luar bangunan.

6.5.2 Pemasangan Pompa

Pompa digunakan untuk mengalirkan air buangan satu unit menuju ke unit lainnya. Adapun jenis-jenis pompa yang dapat digunakan, yaitu:

1. Pompa sentrifugal, memiliki prinsip kerja yang didasarkan pada gaya sentrifugal yang dapat menciptakan tekanan untuk mengalirkan air limbah. Pompa tersebut memiliki efisiensi yang tinggi untuk mengatasi air limbah dengan kandungan partikel-partikel padat.
2. Pompa *submersible*, pompa yang umumnya digunakan dalam bak pengendap dengan cara air limbah dipompa keluar dari bak pengendap menuju unit berikutnya. Pompa tersebut dapat bekerja dalam air dan tidak berisiko mengalami korosi dan keausan.
3. Pompa lumpur, pompa yang umumnya memiliki desain saluran yang lebar untuk menghindari penyumbatan yang mungkin terjadi pada pompa jenis lainnya pada saat menghadapi limbah dengan kandungan partikel-partikel padat. Sangat efisien untuk mengatasi material yang padat dan kental.
4. Pompa dosing, pompa yang digunakan untuk menginjeksi bahan kimia ke dalam air limbah. Pompa tersebut dapat mengontrol jumlah bahan kimia yang dimasukan ke dalam air limbah.

6.6 Spesifikasi Teknis Pekerjaan Instalasi Pengolahan Air Limbah

Berikut merupakan spesifikasi teknis untuk setiap unit IPAL yang akan direncanakan.

- a. Bak pengumpul, konstruksi bak pengumpul adalah berupa material beton bertulang dengan mutu beton K-250 serta beton dengan mutu K-125 untuk lantai konstruksi. Bak pengumpul dilengkapi dengan pompa sentrifugal untuk mengalirkan air menuju ke saluran pembawa.
- b. *Bar screen*, konstruksi *bar screen* adalah berupa baja anti karat yang diperkuat dengan pangaku. Material yang digunakan yaitu beton bertulang dengan mutu beton K-250 serta beton dengan mutu K-125 untuk lantai konstruksi.
- c. *Grease trap*, konstruksi *grease trap* adalah berupa material beton bertulang dengan mutu beton K-250 dan beton dengan mutu K-125 untuk lantai konstruksi.
- d. *Settler*, konstruksi *settler* adalah berupa material beton bertulang dengan mutu beton K-250 dan beton dengan mutu K 125 untuk lantai konstruksi.
- e. Konstruksi *Anaerobic Baffle Reactor*, konstruksi *grease trap* adalah berupa material beton bertulang dengan mutu beton K-250 dan beton dengan mutu K-125 untuk lantai konstruksi.
- f. Konstruksi VSSF dan HSSF, berupa material beton bertulang dengan mutu beton K-250 dan beton dengan mutu K 125 untuk lantai konstruksi.

6.7 Rencana Anggaran Biaya

Setelah perhitungan dimensi setiap unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) sebagai dasar untuk memperkirakan kebutuhan biaya pembangunan. Penyusunan RAB dilakukan dengan menghitung kebutuhan material, volume pekerjaan, upah tenaga kerja, serta komponen biaya lain yang berkaitan dengan pelaksanaan konstruksi setiap unit pengolahan. Menurut Budi, N.A. (2019), RAB merupakan estimasi biaya yang diperlukan untuk melaksanakan suatu pekerjaan

konstruksi yang disusun berdasarkan perhitungan volume pekerjaan, harga satuan material, upah tenaga kerja, serta biaya pendukung lainnya. Oleh karena itu, penyusunan RAB memerlukan ketelitian agar setiap komponen pekerjaan dapat dihitung secara sistematis dan menghasilkan estimasi biaya yang realistis. Estimasi biaya tersebut berfungsi sebagai acuan dalam perencanaan pelaksanaan pembangunan, evaluasi kelayakan proyek, serta penyusunan kebutuhan pendanaan sesuai dengan ruang lingkup pekerjaan yang telah direncanakan.

Rencana anggaran biaya dihitung untuk setiap jenis pekerjaan yang dibagi menjadi 5 kelompok pekerjaan, yaitu:

1. Pekerjaan persiapan
2. Pekerjaan sipil
3. Pekerjaan konstruksi
4. Pekerjaan pipa dan mekanikal
5. Tenaga kerja

Pedoman penyusunan RAB mengacu pada Keputusan Wali Kota Bandung Nomor 027/Kep.2061-BKAD/2025 tentang Standar Harga Satuan dan Standar Biaya Umum Tahun Anggaran 2026. Rincian Rencana Anggaran Biaya (RAB) serta spesifikasi teknis peralatan untuk alternatif terpilih dalam perencanaan IPAL domestik di Kota Bandung disajikan secara sistematis pada **Tabel 6.1** hingga **Tabel 6.3**.

Tabel 6.1 Spesifikasi Peralatan Minimum

No.	Jenis Peralatan	Kapasitas	Jumlah	Status Kepemilikan
1	Pick Up	1,5–3 m ³ / 1–1,5 m ³	1 unit	Milik Sendiri/Sewa *)
2	Water Pump	2–3 inch (7,5 HP)	2 unit	Milik Sendiri/Sewa *)
3	Portable Concrete Pump (Pompa Kodok)	Jangkauan Pipa ± 50–100 m	1 unit	Milik Sendiri/Sewa *)
4	Vibrator beton	Ø 25–50 mm	1 unit	Milik Sendiri/Sewa *)
5	Jackhammer	1.500 Watt	1 uni	Milik Sendiri/Sewa *)
6	Wheelbarrow	± 100 Liter	3 – 4 unit	Milik Sendiri/Sewa *)

Tabel 6.2 Spesifikasi Kegiatan

No.	Rincian Pekerjaan	Jumlah Hari
I	BANGUNAN SPALD-T A. PEKERJAAN PERSIAPAN ▪ Pekerjaan pembersihan lahan ▪ Pengukuran dan pemasangan bouwplank ▪ Papan nama proyek ▪ Air dan listrik kerja pagar pengaman proyek ▪ Biaya pengukuran B. PERSIAPAN PEKERJAAN TANAH ▪ Galian tanah untuk struktur IPAL Komunal ▪ Pembuangan tanah galian ▪ Urugan pasir bawah pondasi C. PEKERJAAN BETON BERTULANG ▪ Lantai kerja K-100 ▪ Cor plat lantai K-250 ▪ Besi plat lantai (besi diameter 10-150 mm) ▪ Bekisting plat lantai ▪ Besi beton kolom (besi diameter 10-150 mm) ▪ Cor beton dinding IPAL K-250 ▪ Besi beton dinding IPAL (besi diameter 10-150 mm) ▪ Bekisting beton dinding IPAL ▪ Cor beton balok K-250 ▪ Besi beton balok (besi diameter 10-150 mm) ▪ Bekisting beton balok ▪ Cor plat atas IPAL K-250 ▪ Besi plat atas IPAL (besi diameter 10-150 mm) ▪ Bekisting plat atas IPAL D. PEKERJAAN PASANGAN ▪ Pekerjaan pasang water stop ▪ Pekerjaan waterproofing E. PEKERJAAN PIPA SANITASI DAN AKSESORIS ▪ Pekerjaan pasang pipa PVC tipe AW Ø 4" aksesoris ▪ Pekerjaan pasang pipa PVC tipe AW Ø 3" aksesoris ▪ Pekerjaan pasang Tee PVC tipe AW 3" ▪ Pekerjaan pasang pipa PVC tipe AW 2" aksesoris	70 hari

No.	Rincian Pekerjaan	Jumlah Hari
	▪ Pekerjaan pasang Tee PVC 2" ▪ Pekerjaan pasang Elbow PVC 2" ▪ Pekerjaan pembuatan tutup manhole IPAL (cast iron)	
II	JARINGAN PERPIPAAN A. PEKERJAAN TANAH ▪ Galian tanah ▪ Urugan pasir ▪ Pembuangan tanah galian ▪ Urugan kembali tanah galian ▪ Pekerjaan Pemadatan tanah B. PEKERJAAN PEMBUATAN BAK KONTROL ▪ Bak kontrol buis beton diameter 60 cm C. PEKERJAAN PEMASANGAN JARINGAN PERPIPAAN ▪ Pipa PVC 6" tebal 4 mm (Pipa Air Limbah) ▪ Tee 90 6" x 4" (SR) ▪ Tee 45 4" x 3" (SR) ▪ Elbow 45 3" x 3" (SR) ▪ Tee 6" x 6" untuk penggelontoran ▪ Elbow 6" x 6" ▪ Grease trap ▪ Tee 90 6" x 6" ▪ Elbow 45 6" x 6" ▪ DOP 6" x 6"	35 hari

Tabel 6.3 Rencana Anggaran Biaya SPALD-T RW 03 Kelurahan Dago

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volum e	Harga Satuan	Persentas e Inflasi	Subtotal Setelah Inflasi	PPN (11%)	Jumlah (Rp)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	BANGUNAN SPALD-T							
A.	PEKERJAAN PERSIAPAN							
1	Pekerjaan pembersihan lahan	2600	m2	Rp 25.059,00	1,43%	Rp 66.085.093,62	Rp 7.269.360,30	Rp 73.354.453,92
2	Pengukuran dan pemasangan <i>Bouwplank</i>	464	m'	Rp 65.434,00	1,43%	Rp 30.795.543,68	Rp 3.387.509,80	Rp 34.183.053,48
3	Papan nama proyek	1	ls	Rp 607.916,00	1,43%	Rp 616.609,20	Rp 67.827,01	Rp 684.436,21
4	Air dan listrik kerja	1	ls	Rp 400.000,00	1,43%	Rp 405.720,00	Rp 44.629,20	Rp 450.349,20
5	Biaya pengukuran surveyor	1	ls	Rp 2.000.000,00	1,43%	Rp 2.028.600,00	Rp 223.146,00	Rp 2.251.746,00
6	Pembuatan gedung material	1	ls	Rp 3.500.000,00	1,43%	Rp 3.550.050,00	Rp 390.505,50	Rp 3.940.555,50
7	Dokumentasi	1	ls	Rp 1.500.000,00	1,43%	Rp 1.521.450,00	Rp 167.359,50	Rp 1.688.809,50
	TOTAL							Rp 116.553.403,81
B.	PEKERJAAN TANAH							
1	Galian tanah untuk struktur IPAL Komunal	2214	m3	Rp 135.033,00	1,43%	Rp 303.238.233,79	Rp 33.356.205,72	Rp 336.594.439,50
2	Pembuangan tanah galian	2214	m3	Rp 77.107,00	1,43%	Rp 173.156.121,04	Rp 19.047.173,31	Rp 192.203.294,36

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volum e	Harga Satuan	Persentas e Inflasi	Subtotal Setelah Inflasi	PPN (11%)	Jumlah (Rp)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Urugan pasir bawah pondasi	167,5	m3	Rp 175.000,00	1,43%	Rp 29.731.668,75	Rp 3.270.483,56	Rp 33.002.152,31
	TOTAL							Rp 561.799.886,17
C.	PEKERJAAN BETON BERTULANG							
1	Lantai Kerja K-125	13,15	m3	Rp 950.000,00	1,43%	Rp 12.671.142,75	Rp 1.393.825,70	Rp 14.064.968,45
2	Cor Plat Lantai K-275	52,62	m3	Rp 1.239.000,00	1,43%	Rp 66.128.485,37	Rp 7.274.133,39	Rp 73.402.618,77
3	Besi Plat lantai (Besi Dia 10 - 150 mm)	5367,8	kg	Rp 24.189,00	1,43%	Rp 131.698.450,71	Rp 14.486.829,58	Rp 146.185.280,29
4	Bekisting Plat lantai	30,25	m2	Rp 95.000,00	1,43%	Rp 2.914.844,63	Rp 320.632,91	Rp 3.235.477,53
5	Besi Beton Kolom (Besi Dia 10 - 150 mm)	747,4	kg	Rp 22.289,00	1,43%	Rp 16.897.019,42	Rp 1.858.672,14	Rp 18.755.691,56
6	Cor Beton Dinding IPAL K-275	65,5	m3	Rp 1.239.000,00	1,43%	Rp 82.315.009,35	Rp 9.054.651,03	Rp 91.369.660,38
7	Besi Beton Dinding IPAL (Besi Dia 10 - 150 mm)	9156,7 2	kg	Rp 22.289,00	1,43%	Rp 207.012.678,17	Rp 22.771.394,60	Rp 229.784.072,77
8	Bekisting Beton Dinding IPAL	873,25	m2	Rp 95.000,00	1,43%	Rp 84.145.060,13	Rp 9.255.956,61	Rp 93.401.016,74
9	Cor Beton Balok K-275	2,21	m3	Rp 1.239.000,00	1,43%	Rp 2.777.346,12	Rp 305.508,07	Rp 3.082.854,19
10	Besi Beton Balok (Besi Dia 10 - 150 mm)	597,93	kg	Rp 22.289,00	1,43%	Rp 13.517.841,61	Rp 1.486.962,58	Rp 15.004.804,19
11	Bekisting Beton Balok	53,5	m2	Rp 95.000,00	1,43%	Rp 5.155.179,75	Rp 567.069,77	Rp 5.722.249,52
12	Cor Plat Atas IPAL K-275	31,14	m3	Rp 1.239.000,00	1,43%	Rp 39.134.189,18	Rp 4.304.760,81	Rp 43.438.949,99

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volum e	Harga Satuan	Persentas e Inflasi	Subtotal Setelah Inflasi	PPN (11%)	Jumlah (Rp)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	Besi Plat Atas IPAL (Besi Dia 10 - 150 mm)	3846,2 1	kg	Rp 24.189,00	1,43%	Rp 94.366.388,11	Rp 10.380.302,69	Rp 104.746.690,81
14	Bekisting Plat Atas IPAL	262,3	m2	Rp 95.000,00	1,43%	Rp 25.274.834,55	Rp 2.780.231,80	Rp 28.055.066,35
	TOTAL							Rp 870.249.401,53
D.	PEKERJAAN PASANGAN							
1	Pekerjaan Pas. <i>Water Stop</i>	152	m'	Rp 188.473,00	1,43%	Rp 29.057.560,91	Rp 3.196.331,70	Rp 32.253.892,61
2	Pekerjaan <i>Waterproofing</i>	660,8	m2	Rp 280.038,00	1,43%	Rp 187.695.312,68	Rp 20.646.484,39	Rp 208.341.797,07
	TOTAL							Rp 240.595.689,69
E.	PEKERJAAN PIPA SANITASI & ASSESORIES							
1	Pekerjaan Pasang pipa PVC Type AW Ø 4" assesories	30	m	Rp 279.294,00	1,43%	Rp 8.498.637,13	Rp 934.850,08	Rp 9.433.487,21
2	Pekerjaan Pasang pipa PVC Type AW Ø 3" assesories	104	m	Rp 196.632,00	1,43%	Rp 20.742.159,11	Rp 2.281.637,50	Rp 23.023.796,61
3	Pekerjaan Pasang Tee PVC Type AW 3"	8	unit	Rp 61.956,00	1,43%	Rp 502.735,77	Rp 55.300,93	Rp 558.036,70
4	Pekerjaan Pasang pipa PVC Type AW 2" assesories	1456	m	Rp 116.891,00	1,43%	Rp 172.627.060,13	Rp 18.988.976,61	Rp 191.616.036,75
5	Pekerjaan Pasang Tee PVC 2"	56	unit	Rp 26.486,00	1,43%	Rp 1.504.425,99	Rp 165.486,86	Rp 1.669.912,85
6	Pekerjaan Pasang Elbow PVC 2"	8	unit	Rp 33.961,00	1,43%	Rp 275.573,14	Rp 30.313,05	Rp 305.886,18

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan pradesain instalasi pengolahan air limbah domestik di kawasan RW 03 Kelurahan Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, dapat disimpulkan jika:

1. Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T) direncanakan untuk mengolah air limbah kawasan RW 03 Kelurahan Dago dengan debit rata-rata (Q_r) sebesar 533,71 m³/hari (0,00618 m³/detik), debit maksimum (Q_{maks}) sebesar 667,12 m³/hari (0,00772 m³/detik), debit min (Q_{min}) sebesar 445,48 m³/hari (0,00516 m³/detik).
2. Berdasarkan pemilihan ketiga alternatif pengolahan air limbah menggunakan metode *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) menjadi alternatif unit yang terpilih karena memiliki 2 nilai tertinggi prioritas pada metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)
3. Unit pengolahan yang terpilih meliputi Saluran Pembawa, *Bar Screen*, *Grease Trap*, *Settler*, dan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR).
4. Parameter air limbah yang sebelumnya melebihi baku mutu seperti BOD, COD, TSS telah memenuhi baku mutu air limbah sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Limbah Domestik. Adapun kadar parameter-parameter tersebut, yaitu BOD dengan nilai 13,40n mg/l, COD dengan nilai 45,75 mg/l, TSS dengan nilai 7,55 mg/l, sementara minyak dan lemak belum memenuhi baku mutu dengan nilai 10 mg/l.
5. Total kebutuhan anggaran biaya untuk pembangunan keseluruhan infrastruktur fisik SPALDT di kawasan RW 03 Kelurahan Dago adalah sebesar Rp2.030.306.782 (sudah memperhitungkan penyesuaian inflasi 1,43% dan PPN 11%).

7.2 Saran

Berdasarkan hasil perencanaan yang telah dilakukan, masih terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya untuk meningkatkan ketelitian dan kesesuaian hasil perencanaan dengan kondisi di lapangan. Oleh karena itu, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Penggunaan data primer hasil survei lapangan, seperti jumlah penduduk aktual dan karakteristik air limbah domestik, disarankan pada penelitian selanjutnya agar parameter perencanaan yang digunakan lebih akurat dan sesuai dengan kondisi sebenarnya.
2. Karakteristik influen beban pencemar sebaiknya diperoleh melalui pengambilan sampel dan pengujian laboratorium secara langsung, sehingga perancangan setiap unit pengolahan didasarkan pada kualitas air limbah yang benar-benar mewakili kondisi lokasi penelitian.
3. Pradesain yang telah disusun perlu ditinjau kembali apabila akan diterapkan pada kondisi nyata, dengan menyesuaikan kapasitas, dimensi unit, serta tata letak berdasarkan hasil survei lapangan dan kebutuhan aktual.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananta, A. (1993). *Landasan Ilmu Demografi*. Jakarta: Rajawali Pers.
- Brix, H. (1994). Function Of Macrophytes In Constructed Wetlands. *Water Science And Technology*(29 (4)), 71 - 78.
- Crites, R. (1994). Design Criteria And Practice For Constructed Wetlands. *Water Science And Technology*, 1 - 6 .
Doi:<https://doi.org/10.2166/Wst.1994.0145>
- Crites, R. W., & Tchobanoglous, G. (1998). *Small And Decentralized Wastewater Management System*. New York: Mcgraw-Hill.
- Davis, L. (1995). *A Handbook Of Constructed Wetlands: A Guide To Creating Wetlands For Agricultural Wastewater, Domestic Wastewater, Coal Mine Drainage, Stormwater In The Mid-Atlantic Region* (Vol. 1 : General Considerations). Washington, D.C.: United States Environmental Protection Agency Region III.
- Dinas Komunikasi Dan Informatika Kabupaten Malang. (2023). *Proyeksi Penduduk Menurut Kecamatan Di Kabupaten Malang*. Malang: Dinas Komunikasi Dan Informatika Kabupaten Malang.
- Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O., & Sperling, M. V. (2017). *Biological Wastewater Treatment Series: Vol. 7. Treatment Wetlands* (Vol. 7). IWA Publishing.
Doi:[10.2166/9781780408774](https://doi.org/10.2166/9781780408774)
- DPU. (1989). *Tata Cara Perencanaan Tangki Septik*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Cipta Karya.
- Dwiyono, & Dewi, Y. S. (2020). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik System Lumpur Aktif Di Gedung Trans Mart. *Jurnal Techlink* Vol. 2 No.2.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya Dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.

- Green Chemicals Indonesia, P. (2024, November 14). *GREENCHEM*. Diambil Kembali Dari Apa Itu Biological Oxygen Demand (BOD) Dan Chemical Oxygen Demand (COD): <https://Greenchem.Co.Id/Id/News/Apa-Itu-Biological-Oxygen-Demand-Bod-Dan-Chemical-Oxygen-Demand-Cod>
- Gross, A. (2015). *Greywater Reuse*. United States : CRC.
- Gujar, A. (2024). *Constructed Wetlands For Wastewater Treatment*. Diambil Kembali Dari [Mywastesolution.Com: https://Blog.Mywastesolution.Com/Constructed-Wetlands-For-Wastewater-Treatment/](https://Blog.Mywastesolution.Com/Constructed-Wetlands-For-Wastewater-Treatment/)
- Hadidi, L. A. (2021, Agustus 31). CONSTRUCTED WETLANDS A COMPREHENSIVE REVIEW. *International Journal Of Research - GRANTHAALAYA*, 395-417. Doi:10.29121/Granthaalayah.V9.I8.2021.4176
- Halverson, N. (2004). *Review Of Constructed Subsurface Flow Vs. Surface Flow Wetlands*. Springfield, Virginia, Amerika Serikat: Savannah River Company. Diambil Kembali Dari <https://Sti.Srs.Gov/Fulltext/Tr2004509/Tr2004509.Pdf>
- Hammer, D. A. (1989). *Constructed Wetlands For Wastewater Treatment: Municipal, Industrial, And Agricultural*. Chelsea: Lewis Publishers.
- Hammer, D. A. (2020). *Constructed Wetlands For Wastewater Treatment: Municipal, Industrial, And Agricultural*. London: CRC Press (Taylor & Francis Group).
- Herliana, E., Febrion, C., & Wulan, M. R. (2025). Studi Kinerja IPAL Domestik Komunal Wallagri Bandung: Evaluasi Parameter Fisik-Kimia Dan Perspektif Pengelola Lapangan. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 105 - 114.
- Heryadi, E., Rauf, A., & Andini, S. C. (2024). ANALISA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) DI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) MANGGAR KOTA BALIKPAPAN. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*.
- Jauhary, A. M. (2023). *REDESAIN PENGOLAHAN LINDI DI TPA NGIPIK KABUPATEN GRESIK*. Surabaya: Universitas Islam Negeri Sunan Ampel.

- Kadlec, R., & Wallace, S. (2008). *Treatment Wetlands* (Kedua Ed.). London: CRC Press.
- Kelurahan Dago. (2025). *Profil Kelurahan Dago*. Bandung: Kelurahan Dago.
- Kementerian PUPR. (2018). *Pedoman Perencanaan Teknik Terperinci (DED) Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya.
- Kivaisi, A. K. (2001). The Potential For Constructed Wetlands For Wastewater Treatment And Reuse In Developing Countries: A Review. *Ecological Engineering*, 545 - 560.
- L Marbun. (2019). *Bab II: Tinjauan Pustaka*. Universitas Quality.
- L, N. H., Utomo, B., & Sudarto. (2017). Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Di Kawasan Kumuh Kecamatan Karanganyar. *E-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 787 - 797.
- Laflamme, C. (2006). *Nutrient Removal Using A Constructed Wetland In Southern Québec*. Montreal, Québec, Kanada: Department Of Bioresource Engineering, McGill University. Diambil kembali dari <https://escholarship.mcgill.ca/concern/theses/8s45qb252>
- Maliga, I., Asdak, C., & Winata, E. Y. (2021). ANALISIS KEBERLANJUTAN PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR LIMBAH DOMESTIK GREYWATER MENGGUNAKAN TEKNOLOGI LAHAN BASAH BUATAN. *Jurnal Sumber Daya Air*, Vol. 17 No. 1.
- Masduki, H. (2000). *Penyaluran Air Buangan (PAB) Volume II*. Bandung: Institute Teknologi Bandung.
- Metcalf & Eddy, Inc, Abu-Orf, M., Bowden, G., Burton, F. L., Pfrang, W., Stensel, H., Tchobanoglous, G. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment And Resource Recovery (5th Ed.)*. Mcgraw-Hill Education.
- Naillah, A., Budiarti, L. Y., & Heriyani, F. (2021). Literature Review: Analisis Kualitas Air Sungai Dengan Tinjauan Parameter Ph, Suhu, BOD, COD, DO Terhadap Coliform. *HOMEOSTATIS*, Vol. 4 No. 2.
- Nguyen Tan, P., & Vu, P. T. (2013). *Study on decentralized domestic wastewater treatment by constructed wetland vertical-subsurface flow system for small*

- communities*. ASEAN Engineering Journal, 2(2), 88–96.
<https://doi.org/10.11113/aej.v2.15377>
- Ratnawati, R., Kholif, M. A., & Sugito. (2014). Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Biofilter Untuk Mengolah Air Limbah Poliklinik UNIPA Surabaya. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 73 - 82.
- Rittman, B., & MC Carty, P. (2001). *Environmental Biotechnology Principles And*. Boston: Mc Graw Hill.
- Saputra, W. (2025). *Pengolahan Air Limbah Dengan Trickling Filter*.
- Sperling, M. V. (2007). *WASTEWATER CHARACTERISTICS, TREATMENT AND DISPOSAL*. London: IWA Publishing.
- Stefanakis, A. (2019). The Role Of Constructed Wetlands As Green Infrastructure For Sustainable Urban Water Management. *Sustainability*.
 Doi:10.3390/Su11246981
- Sudewo, A. R. (2016). *Hybrid Constructed Wetland (HCW) For Domestic Wastewater Treatment On Highly Populated Settlements At Riverbanks*. Surabaya: Institute Sepuluh Nopember Surabaya.
- Susanti, M. I. (2020). *Air Dan Kesehatan*. DKI Jakarta: Kementerian Kesehatan.
 Dipetik Desember 23, 2025
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment And Reuse (4th Ed.)*. New York: NY: Mcgraw-Hill.
- Vymazal, J. (2001). Types Of Constructed Wetlands For Wastewater Treatment: Their Potential For Nutrient Removal. *Water Science And Technology*, 1 - 8. Doi: <https://doi.org/10.2166/Wst.2001.0756>
- Vymazal, J. (2010). Constructed Wetlands For Wastewater Treatment. *MDPI*, 530 - 549. Doi: <https://doi.org/10.3390/W2030530>
- Vymazal, J. (2011). Constructed Wetlands For Wastewater Treatment: Five Decades Of Experience. *Environmental Science & Technology*, 61-69.
 Diambil Kembali Dari <https://doi.org/10.1021/Es101403q>
- WHO. (2022). *Guidelines For Drinking-Water Quality (4th Ed.)*. Geneva: World Health Organization.

L

A

M

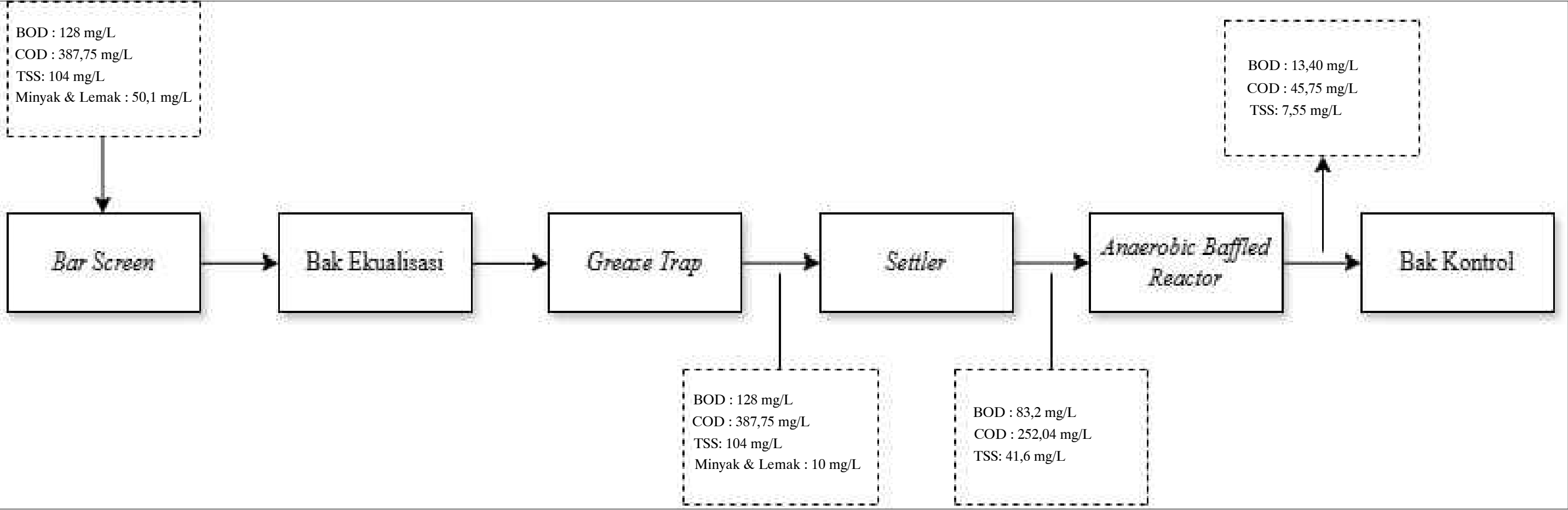
P

I

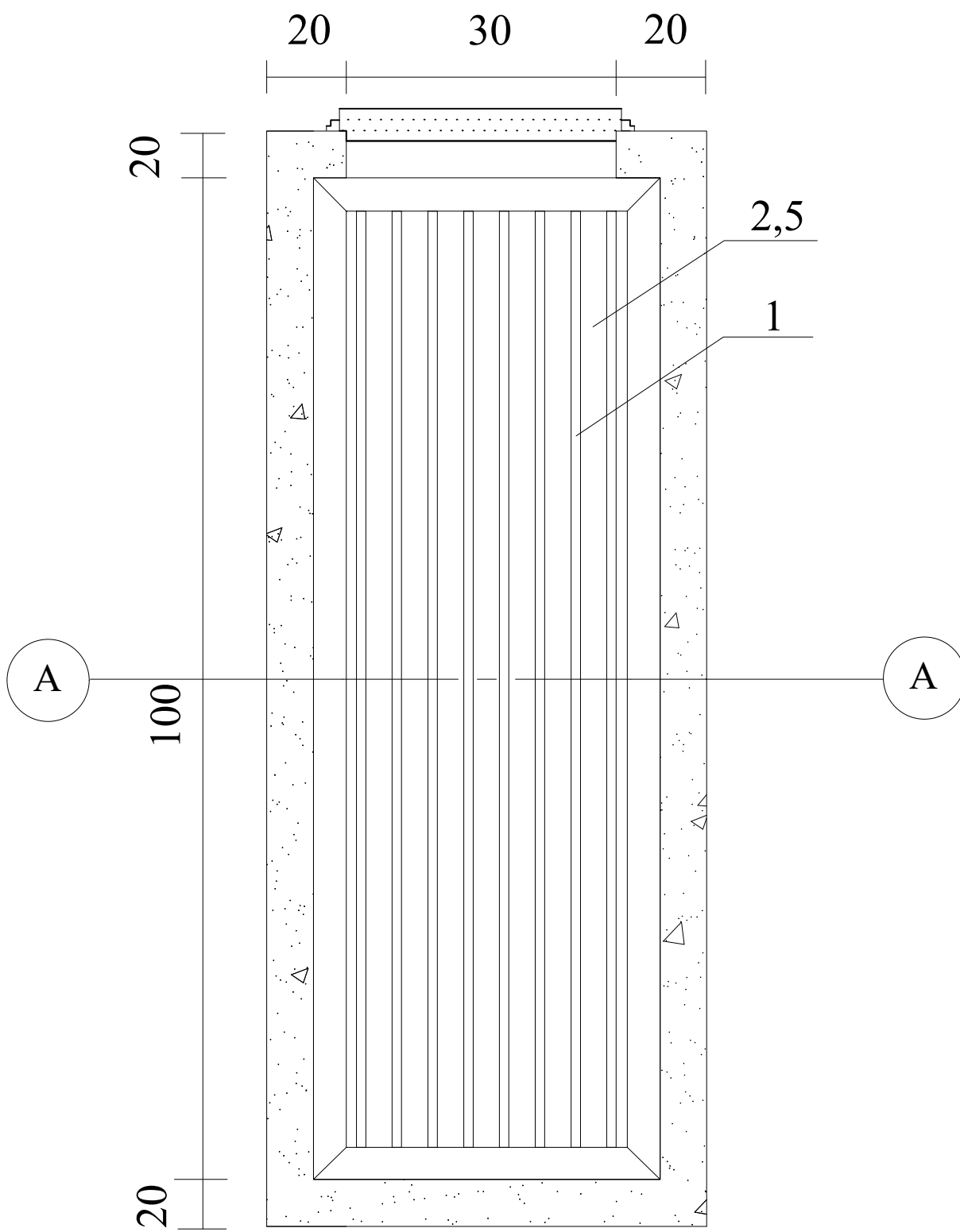
R

A

N



KETERANGAN GAMBAR	 FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN UNIVERSITAS PASUNDAN BANDUNG	TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	SKALA
		PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) DOMESTIK SKALA PERMUKIMAN PADA SUB DAS CIKAPUNDUNG	Astri Widiastuti Hasbiah, S. T., M. Env. Prof. Dr. Lili Mulyatna, S. T., M. T.	
		JUDUL GAMBAR	NAMA/NIM	HALAMAN :
		DIAGRAM ALIR PERENCANAAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK	Ghina Hasna Yunita Akbar 203050035	



Tampak Depan
Skala 1 : 20



FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN
AIR LIMBAH (IPAL)
DOMESTIK SKALA PERMUKIMAN PADA SUB
DAS CIKAPUNDUNG

DOSEN PEMBIMBING

Astri Widiastuti Hasbiah, S. T., M. Env.
Prof. Dr. Lili Mulyatna, S. T., M. T.

NAMA/NIM

Ghina Hasna Yunita Akbar
203050035

KETERANGAN GAMBAR

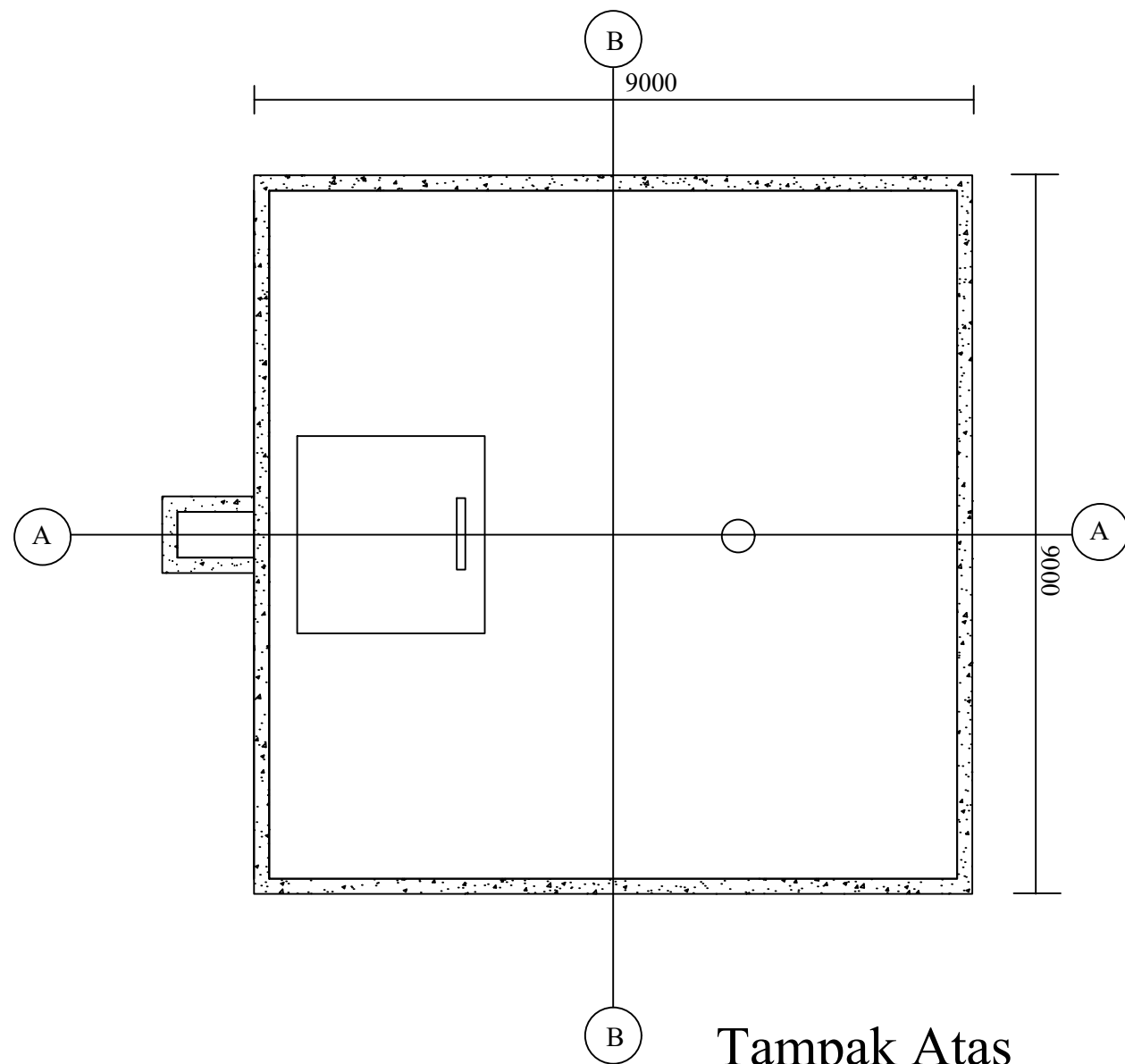
JUDUL GAMBAR

UNIT *BAR SCREEN*

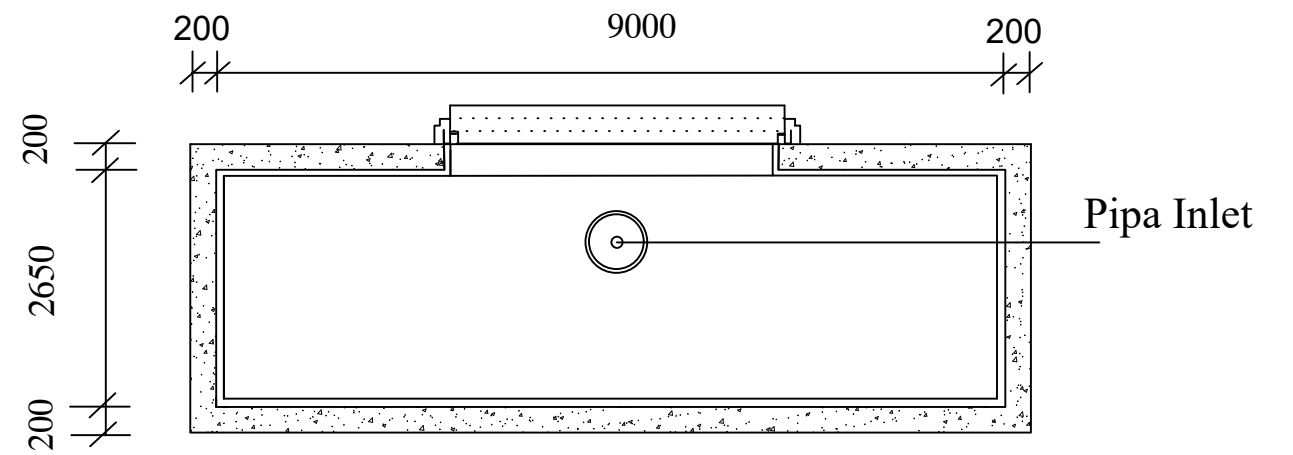
NOMOR GAMBAR:

SKALA:

SATUAN : CM

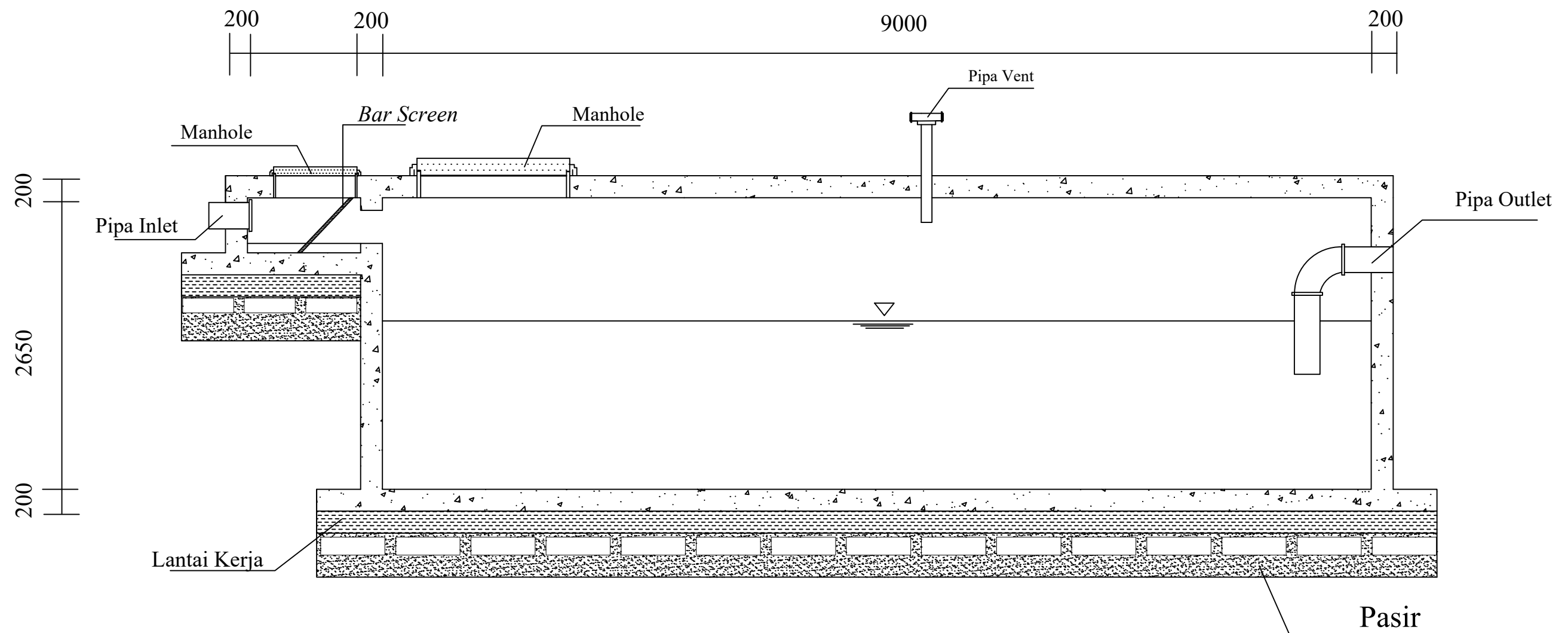


Tampak Atas
Skala 1 : 20



Potongan B - B
Skala 1 : 20

KETERANGAN GAMBAR	 FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN UNIVERSITAS PASUNDAN BANDUNG	TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	SKALA
SATUAN DALAM MM		PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) DOMESTIK SKALA PERMUKIMAN PADA SUB DAS CIKAPUNDUNG	Astri Widiastuti Hasbiah, S. T., M. Env. Prof. Dr. Lili Mulyatna, S. T., M. T.	
		JUDUL GAMBAR	NAMA/NIM	HALAMAN :
		UNIT BAK EKUALISASI	Ghina Hasna Yunita Akbar 203050035	



Potongan A - A
Skala 1 : 20

KETERANGAN GAMBAR		TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	SKALA
SATUAN DALAM MM	 FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN UNIVERSITAS PASUNDAN BANDUNG	PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) DOMESTIK SKALA PERMUKIMAN PADA SUB DAS CIKAPUNDUNG	Astri Widiastuti Hasbiah, S. T., M. Env. Prof. Dr. Lili Mulyatna, S. T., M. T.	
		JUDUL GAMBAR	NAMA/NIM	HALAMAN :
		UNIT BAK EKUALISASI	Ghina Hasna Yunita Akbar 203050035	



FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN
AIR LIMBAH (IPAL)
DOMESTIK SKALA PERMUKIMAN PADA SUB
DAS CIKAPUNDUNG

DOSEN PEMBIMBING

Astri Widiastuti Hasbiah, S. T., M. Env.
Prof. Dr. Lili Mulyatna, S. T., M. T.

NAMA/NIM

Ghina Hasna Yunita Akbar
203050035

KETERANGAN GAMBAR

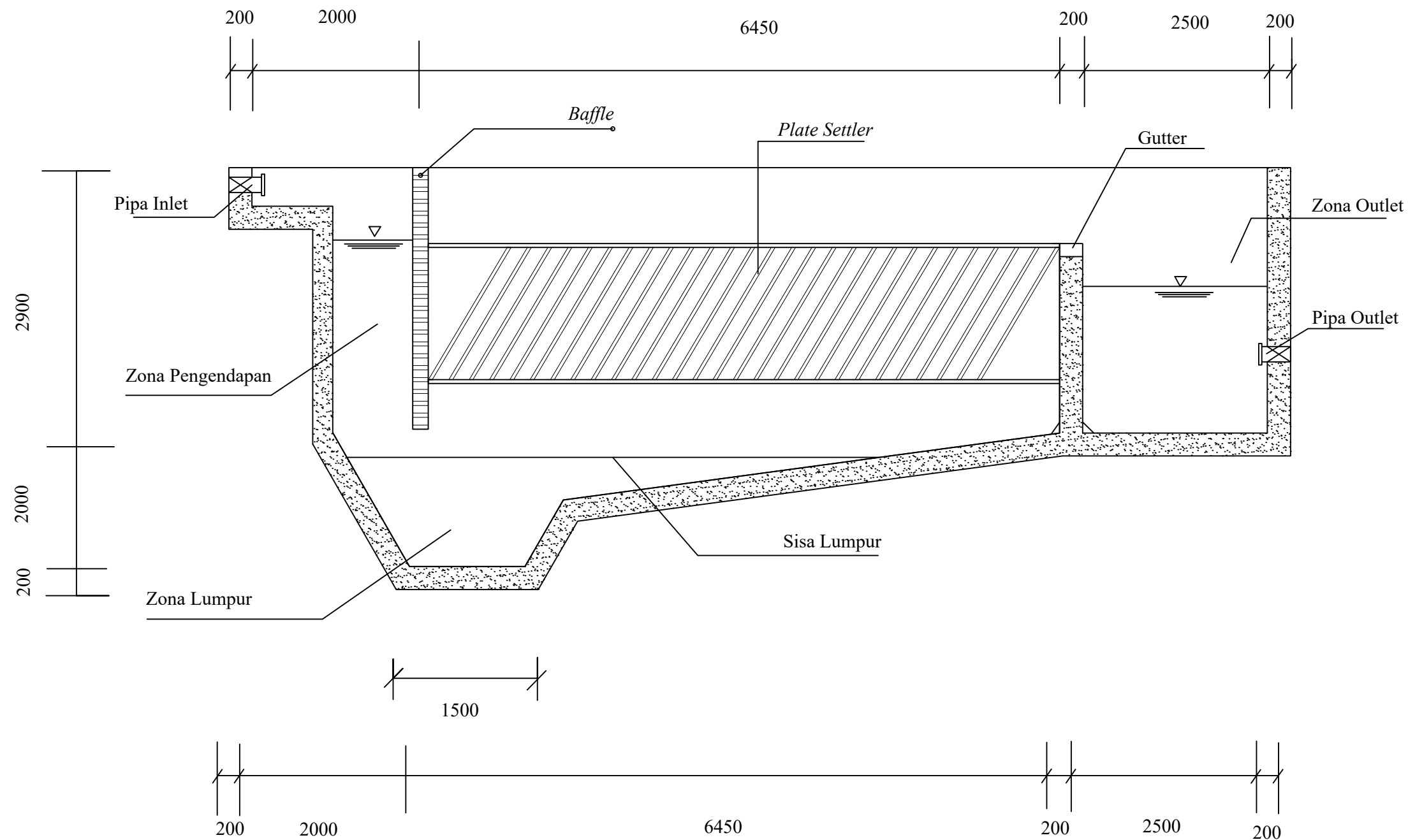
JUDUL GAMBAR

UNIT BAK PENGENDAP

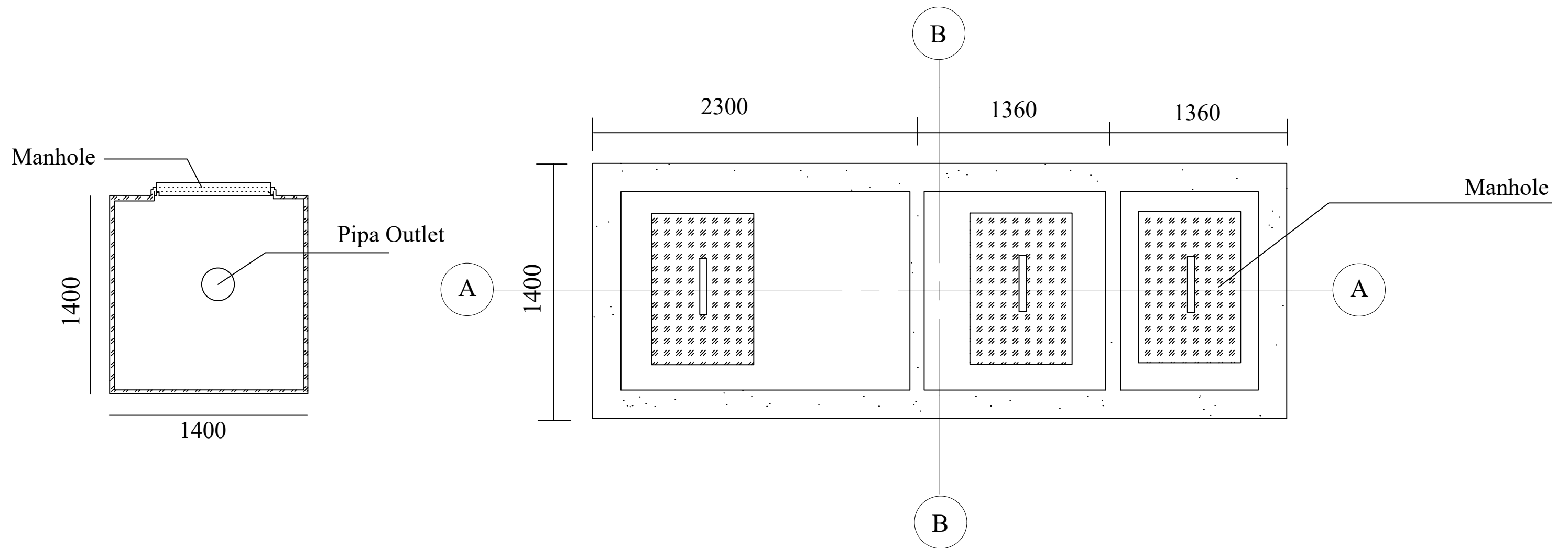
NOMOR GAMBAR:

SKALA:

SATUAN : MM



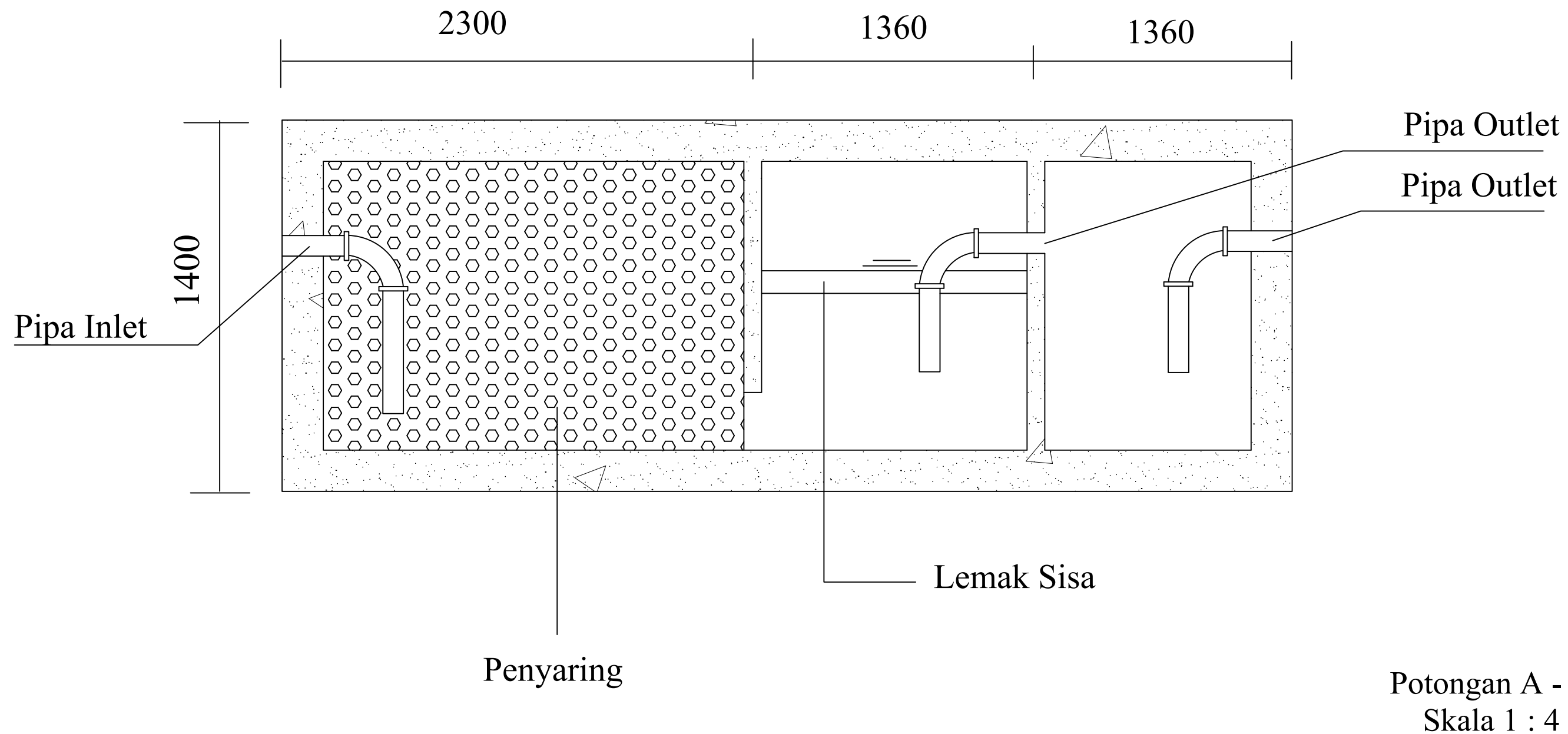
Potongan A - A
Skala 1 : 20



Potongan B - B
Skala 1 : 4

Tampak Atas
Skala 1 : 4

KETERANGAN GAMBAR		TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	SKALA
SATUAN DALAM MM	 FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN UNIVERSITAS PASUNDAN BANDUNG	PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) DOMESTIK SKALA PERMUKIMAN PADA SUB DAS CIKAPUNDUNG	Astri Widiastuti Hasbiah, S. T., M. Env. Prof. Dr. Lili Mulyatna, S. T., M. T.	
		JUDUL GAMBAR	NAMA/NIM	HALAMAN :
		UNIT GREASE TRAP	Ghina Hasna Yunita Akbar 203050035	



KETERANGAN GAMBAR		TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	SKALA
SATUAN DALAM MM	 FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN UNIVERSITAS PASUNDAN BANDUNG	PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) DOMESTIK SKALA PERMUKIMAN PADA SUB DAS CIKAPUNDUNG	Astri Widiastuti Hasbiah, S. T., M. Env. Prof. Dr. Lili Mulyatna, S. T., M. T.	
		JUDUL GAMBAR	NAMA/NIM	HALAMAN :
		UNIT GREASE TRAP	Ghina Hasna Yunita Akbar 203050035	



FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN
AIR LIMBAH (IPAL)
DOMESTIK SKALA PEMUKIMAN PADA SUB
DAS CIKAPUNDUNG

DOSEN PEMBIMBING

Astri Widiastuti Hasbiah, S. T., M. Env.
Prof. Dr. Lili Mulyatna S.T., M. T.

NAMA/NIM

Ghina Hasna Yunita Akbar
(203050035)

KETERANGAN GAMBAR

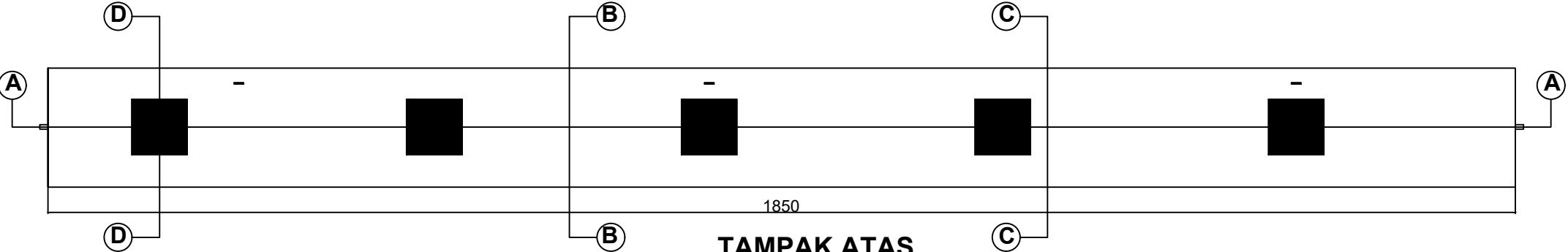
JUDUL GAMBAR

BAK ANAEROBIC BAFFLED
REACTOR

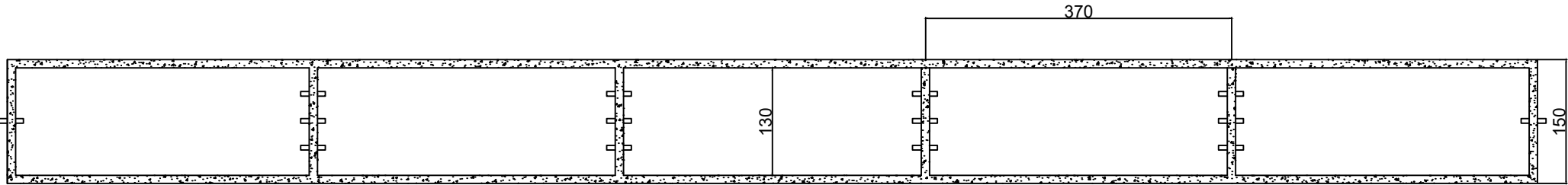
NOMOR GAMBAR:

SKALA:

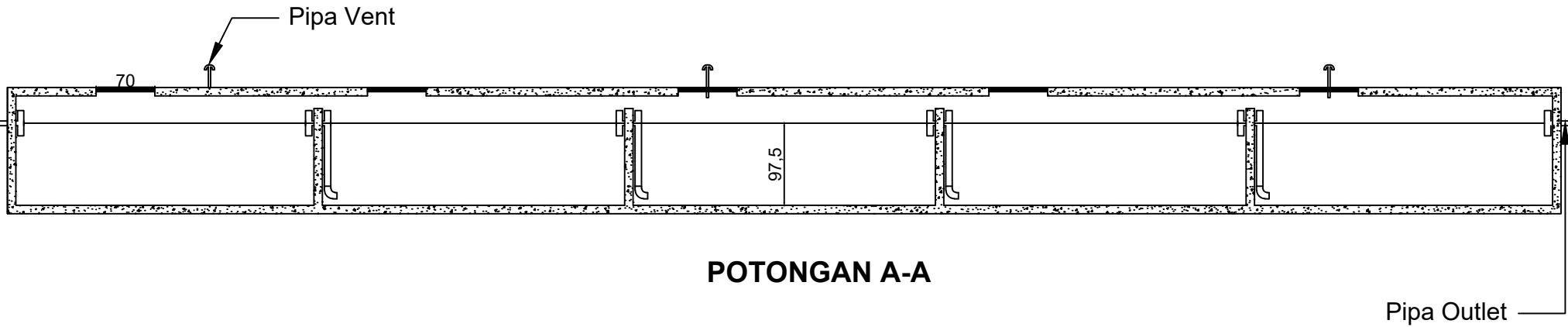
SATUAN:



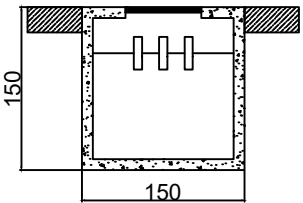
TAMPAK ATAS



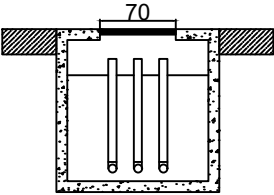
DENAH BANGUNAN



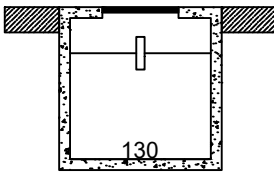
POTONGAN A-A



POTONGAN B-B



POTONGAN C-C



POTONGAN D-D