

LAPORAN TUGAS AKHIR
(ENV21W003)

PERBAIKAN KUALITAS AIR SUNGAI CIKENDAL
MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *IN-SITU*

Disusun Oleh:
Adrian Firman Rahmansyah
213050007



PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
2026

LAPORAN TUGAS AKHIR
(ENV21W003)

PERBAIKAN KUALITAS AIR SUNGAI CIKENDAL
MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *IN-SITU*

Disusun Oleh:

Adrian Firman Rahmansyah

213050007



Telah disetujui dan disahkan,

Pada, 24 Juli 2026

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

(Prof. Dr. Yonik Meilawati. Y, ST., MT.)

(Ir. Sri Wahyuni, MT.)

Dosen Penguji 1

Dosen Penguji 2

(Prof. Dr. Ir. H. Lili Mulyatna, M.T.)

(Febriansyah, S.T, M.T.)

PERBAIKAN KUALITAS AIR SUNGAI CIKENDAL MENGUNAKAN TEKNOLOGI *IN-SITU*

Adrian Firman Rahmansyah

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan,
Bandung

Email: adrianfirman017@gmail.com

Sungai Cikendal merupakan salah satu anak Sungai Citarum yang saat ini menghadapi masalah pencemaran yang ditandai dengan tingkat polutan organik dan industri yang tinggi, yang berdampak pada kualitas air. Hasil uji kualitas air Sungai Cikendal pada tahun 2025 menunjukkan beberapa parameter masih melebihi baku mutu kualitas air kelas II berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengendalian pencemaran yang efektif, berkelanjutan dan ramah lingkungan, maka dilakukan penerapan teknologi in-situ yaitu kombinasi Floating Treatment Wetland (FTW) dengan biocord. Sistem FTW dirancang menggunakan modul berukuran 1 m x 1 m yang disusun secara zig-zag pada segmen sungai sepanjang 735 m dengan lebar sungai 5,6 m. Jumlah modul yang direncanakan sebanyak 1.692 unit, masing-masing ditanami dengan 9 tanaman dengan menggunakan kombinasi tanaman *Canna indica*, *Chrysopogon zizanioides*, dan *Phragmites karka* dan dilengkapi media biocord yang menggantung di bawah modul untuk meningkatkan pertumbuhan biofilm. Selain itu, direncanakan bendung pengatur muka air dengan tinggi 1,5 m, lebar mercu 1 m dan lebar dasar 1,75 m untuk menjaga kedalaman operasional teknologi. Direncanakan dengan total anggaran yang diperlukan Rp. 1.024.172.480,00. Berdasarkan hasil perencanaan, kombinasi teknologi Floating Treatment Wetland (FTW) dengan biocord diproyeksikan mampu meningkatkan efisiensi penyisihan parameter pencemar organik melalui sinergi proses fitoremediasi, adsorpsi, dan biodegradasi oleh biofilm, sehingga diharapkan mampu menurunkan konsentrasi BOD, COD, TSS, amonia, dan fosfat hingga memenuhi baku mutu kualitas air kelas II sesuai ketentuan yang berlaku. Penerapan teknologi ini diharapkan mampu mengendalikan kualitas air Sungai Cikendal sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Kata kunci: *Floating Treatment Wetland*, Bendungan, Biocord, Sungai Cikendal.

IMPROVEMENT OF CIKENDAL RIVER WATER QUALITY USING IN-SITU TECHNOLOGY

Adrian Firman Rahmansyah

Environmental Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Pasundan
University, Bandung

Email: adrianfirman017@gmail.com

*The Cikendal River is one of the tributaries of the Citarum River that is currently experiencing water pollution problems characterized by high levels of organic and industrial pollutants, resulting in a decline in water quality. Water quality analysis conducted in 2025 indicated that several parameters exceeded the Class II water quality standards established under Government Regulation of the Republic of Indonesia No. 22 of 2021. Therefore, an effective, sustainable, and environmentally friendly pollution control strategy is required. This study proposes the application of an in-situ treatment technology by combining a Floating Treatment Wetland (FTW) with Biocord media. The FTW system was designed using 1 m × 1 m modular units arranged in a zig-zag configuration along a 735 m river segment with a river width of 5.6 m. A total of 1,692 modules were designed, each planted with nine plants consisting of *Canna indica*, *Chrysopogon zizanioides*, and *Phragmites karka*, and equipped with suspended Biocord media beneath the modules to enhance biofilm development. In addition, a water-level control weir with a height of 1.5 m, a crest width of 1.0 m, and a base width of 1.75 m was designed to maintain the operational water depth of the treatment system. The estimated total construction cost of the proposed system is IDR 1,024,172,480.00. The implementation of this technology is expected to improve the water quality of the Cikendal River and enable it to comply with the applicable water quality standards. Based on the design, the integrated Floating Treatment Wetland (FTW) and biocord system is projected to achieve high pollutant removal efficiency through the synergistic effects of phytoremediation, adsorption, and biofilm-mediated biodegradation, thereby reducing the concentrations of BOD, COD, TSS, ammonia, and phosphate to comply with the Class II water quality standards. The implementation of this technology is expected to effectively improve the water quality of the Cikendal River in accordance with the applicable regulations.*

Keywords: Floating Treatment Wetland, Dam, Biocord, Cikendal River

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami ucapkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya maka Laporan Tugas Akhir dengan judul “Perbaikan Kualitas Air Sungai Cikendal Menggunakan Teknologi *In-Situ*” dapat diselesaikan dengan cukup baik, Shalawat dan salam juga tak lupa kami sampaikan pada junjungan kita Nabi Muhammad SAW sebagai pedoman hidup kita hingga akhir zaman.

Laporan ini dibuat sebagai salah satu persyaratan penyelesaian program S1 Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Pasundan Bandung. Selain itu, laporan ini juga sebagai salah satu aplikasi nyata dari mata kuliah yang pernah penulis ambil selama masa perkuliahan dan sebagai latihan dalam mengatasi permasalahan-permasalahan dalam kehidupan. Dalam penyelesaian laporan ini, penulis dibantu dan didukung dari berbagai pihak. Bantuan yang kami dapatkan yaitu bantuan dalam memperoleh masukan, data, sumber informasi, serta bantuan dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.

Untuk itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak berikut:

1. Allah SWT, atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Laporan Tugas Akhir II ini dapat terselesaikan dengan sebaik-baiknya
2. Keluarga, khususnya orang tua yang telah memberikan dukungan, dorongan, doa, dan semangat agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
3. Ibu Dr. Ir. Anni Rochaeni, MT. Selaku ketua Program Studi Teknik Lingkungan dan semua dosen yang telah memberikan semangat, serta dorongan untuk mahasiswa/i-nya.
4. Ibu Prof. Dr. Yonik Meilawati, Y, ST., MT. Selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, semangat, dan dorongan motivasi, serta kesabarannya sehingga laporan ini dapat terselesaikan dengan baik.

5. Ibu Ir. Sri Wahyuni, MT. Selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, semangat, dan dorongan motivasi, serta kesabarannya sehingga laporan ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Rekan - rekan Teknik Lingkungan Angkatan 2021 yang saling membantu dan menyemangati dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penulis mengharapkan Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat serta memberikan informasi akademis maupun sebagai bahan bacaan. Mohon maaf apabila masih terdapat kesalahan maupun kekurangan dalam laporan ini, serta terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung sehingga terselesaikannya laporan ini.

Bandung, 24 Juli 2026

Adrian Firman Rahmansyah

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv

BAB I PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang.....	I-1
1.2	Rumusan Masalah.....	I-2
1.3	Maksud dan Tujuan	I-2
1.4	Ruang Lingkup	I-3
1.5	Lokasi Perencanaan	I-3
1.6	Sistematika Penulisan	I-3

BAB II GAMBAR OBJEK PERENCANAAN

2.1	Gambaran Umum Wilayah Perencanaan	II-1
2.1.1	Letak Geografis dan Batas Administrasi Sungai Cikendal	II-1
2.1.2	Geologi Sungai Cikendal	II-4
2.1.3	Klimatologi Sungai Cikendal.....	II-4
2.2	Daerah Sekitar Sungai Cikendal.....	II-5
2.3	Kondisi Sungai Cikendal	II-7
2.4	Permasalahan Sungai Cikendal	II-7
2.5	Kondisi Sungai Cikendal dan Sampling Air Sungai	II-10
2.5.1	Titik Hulu (Jl. Raya Cijerah)	II-12
2.5.2	Titik Tengah (Jl. Raya Caringin).....	II-13
2.5.3	Titik Hilir (Jl. Sadang Buntu)	II-13
2.6	Kualitas Air Sungai Cikendal	II-14

BAB III TINJAUAN PUSTAKA

3.1	Air Sungai.....	III-1
3.2	Kualitas Air Sungai	III-2
3.2.1	Parameter Fisik Air Sungai	III-5
3.2.2	Parameter Kimia Air Sungai	III-6
3.2.3	Parameter Biologi Air Sungai	III-7
3.3	Teknologi Perbaikan Air Sungai	III-7
3.3.1	<i>Biofilter</i>	III-7
3.3.2	<i>Sequencing Batch Reactor</i>	III-9
3.3.3	<i>Membrane Bioreactor</i>	III-9
3.3.4	<i>Constructed Wetland</i>	III-10
3.3.5	<i>Floating Wetland</i>	III-11
3.3.6	<i>Biocord</i>	III-12
3.3.7	<i>Bar Screen</i>	III-13
3.3.8	<i>Trash Trap</i>	III-14
3.3.9	Alat Perangkap Lemak (<i>Grease Trap</i>)	III-15
3.4	Penelitian Terdahulu	III-16

BAB IV DASAR PERENCANAAN

4.1	Tahapan Perencanaan.....	IV-1
4.2	Uraian Tahapan Perencanaan	IV-3
4.2.1	Studi Pendahuluan.....	IV-3
4.2.2	Lokasi Perencanaan Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai Cikendal	IV-3
4.2.3	Pengumpulan Data	IV-5
4.2.3.1	Data Primer	IV-5
4.2.3.2	Data Sekunder	IV-5
4.2.4	Penetapan Parameter Pencemar Air Sungai.....	IV-5
4.2.5	Penyusunan Alternatif Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai Cikendal.....	IV-5
4.2.6	Perencanaan Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai .	IV-6
4.2.7	Pemilihan Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai Cikendal	IV-6

4.2.8	Perancangan Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai Cikendal	IV-7
4.3	Dasar Perencanaan Pengelolaan Sampah	IV-4
4.3.1	Pemilihan Lokasi Pengolahan Sampah	IV-4
4.3.2	Pemilihan Lahan dan Teknologi Pengolahan Sampah.....	IV-6
4.4	Perancangan Pengolahan Sampah Anorganik	IV-6
BAB V PERENCANAAN TEKNIS		
5.1	Lokasi Perencanaan Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai Cikendal.....	V-1
5.2	Parameter Pencemar Air Sungai.....	V-3
5.3	Alternatif Perbaikan Kualitas Air Sungai Cikendal	V-5
5.4	Pemilihan Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai.....	V-10
5.5	Rancangan Perbaikan Kualitas Air Sungai Cikendal	V-11
5.6	Perhitungan Desain.....	V-16
5.6.1	Perhitungan Dimensi Desain.....	V-16
5.6.2	Analisis Stabilitas Bendung yang Direncanakan	V-19
5.6.3	Perhitungan Dimensi <i>Spillway Overflow</i> tipe <i>Ogee</i>	V-23
5.6.4	Perhitungan Dimensi <i>Floating Treatment Wetland</i> (FTW) dan Biocord	V-34
5.6.5	Pengelolaan pada <i>Floating Treatment Wetland</i> dan Biocord.....	V-43
BAB VI SPESIFIKASI TEKNIS DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA		
6.1	Spesifikasi Teknis.....	VI-1
6.2	Uraian Pekerjaan.....	VI-1
6.2.1	Pekerjaan Awal	VI-1
6.2.2	Pekerjaan Struktur Bendung dan Pelimpah	VI-2
6.2.3	Unit <i>Floating Treatment Wetland</i> dan Biocord	VI-4
6.3	Rencana Anggaran Biaya	VI-5

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

7.1	Kesimpulan	VII-1
7.2	Saran	VII-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Wilayah Administrasi Daerah Tangkapan Air Sungai sub DAS Cikendal	II-2
Tabel 2.2	Curah Hujan Kota Bandung Tahun 2024.....	II-5
Tabel 2.3	Jumlah dan Jenis Sarana Perdagangan	II-9
Tabel 2.4	Hasil Pemeriksaan Kualitas Air Sungai Cikendal.....	II-15
Tabel 3.1	Baku Mutu Kualitas Air Sungai	III-2
Tabel 3.2	Penelitian Terdahulu.....	III-17
Tabel 5.1	Hasil Uji Kualitas Air Sungai Cikendal Pada Titik Hilir (Khusus Parameter yang Melebihi Baku Mutu).....	V-4
Tabel 5.2	Teknologi Berdasarkan Kemampuan Menyisihkan Jenis Parameter Fisik, Kimia, dan Biologi	V-6
Tabel 5.3	Kriteria Desain Perencanaan	V-15
Tabel 5.4	Data Hidrolika Sungai Cikendal	V-16
Tabel 5.5	Rekapitulasi Perhitungan Dimensi Bendung	V-19
Tabel 5.6	Jenis dan Fungsi Tanaman yang Digunakan	V-36
Tabel 6.1	Rencana Anggaran Biaya Perencanaan Perbaikan Sungai Cikendal	VI-7
Tabel 6.2	Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya	VI-10

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Administrasi Daerah Sungai Cikendal	II-3
Gambar 2.2	Peta Penggunaan Lahan di Daerah Sekitar Sungai Cikendal	II-6
Gambar 2.3	Peta Titik Pantau Sungai Cikendal	II-6
Gambar 3.1	Pengolahan Biofilter	III-8
Gambar 3.2	<i>Sequencing Batch Reactor</i>	III-9
Gambar 3.3	<i>Membrane Bioreactor</i>	III-10
Gambar 3.4	<i>Constructed Wetland</i>	III-11
Gambar 3.5	<i>Floating Wetland</i>	III-12
Gambar 3.6	Biocord	III-13
Gambar 3.7	<i>Bar Screen</i>	III-14
Gambar 3.8	<i>Trash Trap</i>	III-15
Gambar 3.9	<i>Grease Trap</i>	III-16
Gambar 4.1	Diagram Alir Perencanaan	IV-2
Gambar 4.2	Peta Segmen Sungai Cikendal dan Titik Perbaikan Kualitas Air	IV-5
Gambar 5.1	Lokasi Perencanaan Perbaikan Kualitas Air Sungai Cikendal	V-2
Gambar 5.2	Diagram Alir Pemilihan Teknologi Perbaikan Air Sungai Cikendal	V-10
Gambar 5.3	Sketsa Bendung Sungai Cikendal	V-23
Gambar 5.4	<i>Site Plan</i> Bendungan dan <i>Floating Treatment Wetland</i> & Biocord Sungai Cikendal	V-28
Gambar 5.5	Sketsa Pelimpah tipe Ogee	V-29
Gambar 5.6	Potongan A – A Sketsa Pelimpah Tipe Ogee	V-30
Gambar 5.7	Potongan B – B Sketsa Pelimpah Tipe Ogee	V-31
Gambar 5.8	Denah Bendungan dan Floating Treatment Wetland & Biocord Sungai Cikendal.....	V-32

Gambar 5.9	Potongan A – A Bendungan dan <i>Floating Treatment Wetland</i> & Biocord Sungai Cikendal	V-33
Gambar 5.10	Gambar <i>Floating Treatment Wetland</i> & Biocord	V-41
Gambar 5.11	Tampak Samping Gambar <i>Floating Treatment Wetland</i> & Biocord	V-42

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai merupakan salah satu sumber daya air yang memiliki peran penting dalam menunjang berbagai kebutuhan kehidupan manusia. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011 tentang Sungai, sungai didefinisikan sebagai alur atau wadah air, baik yang terbentuk secara alami maupun buatan, yang terdiri atas jaringan aliran air beserta air di dalamnya, mulai dari bagian hulu hingga muara, dengan batas batas perlindungan di kiri dan kanan palung sungai yang berfungsi menjaga kelestarian fungsi sungai, mencegah erosi, dan mengatur jarak aman pembangunan (garis sempadan). Sementara itu, menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran air merupakan kondisi masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lainnya ke dalam badan air akibat aktivitas manusia sehingga menyebabkan mutu air melampaui baku mutu yang telah ditetapkan.

Sungai Cikendal merupakan anak sungai dari Sungai Citarum dan terhubung dengan anak sungai lainnya yaitu Sungai Cibeureum. Sungai ini melintasi beberapa kecamatan antara lain Kecamatan Bandung Kulon, Babakan Ciparay, dan Regol (Sudirman, 2023). Sungai Cikendal saat ini mengalami permasalahan yang menyebabkan dampak cukup signifikan yaitu pencemaran yang disebabkan akibat oleh pelaku usaha, dan juga penumpukan sampah. Sampah yang terdapat pada Sungai Cikendal sebagian besar terdiri dari sampah organik dan sampah anorganik yang terbawa oleh arus dari hulu air sungai tersebut, serta sebagian lainnya berasal dari limbah rumah tangga (Satira, 2023)

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air, serta merujuk pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, air sungai yang diperuntukkan sebagai kelas II

seharusnya memenuhi baku mutu untuk parameter fisika, kimia, dan biologi agar aman digunakan untuk keperluan rekreasi air, budidaya ikan air tawar, peternakan, dan pertanian. Namun uji laboratorium terhadap kualitas air Sungai Cikendal menunjukkan bahwa ada lebih dari 3 parameter utama seperti TSS, BOD, COD, Nitrit, Minyak dan Lemak, serta coliform telah melampaui ambang batas baku mutu kelas II, sehingga kondisi sungai ini dikategorikan sebagai tercemar berat. Pencemaran yang terjadi sudah melebihi baku mutu dan dapat menimbulkan dampak terhadap kualitas lingkungan perairan, kesehatan masyarakat, serta keseimbangan ekosistem di sepanjang aliran sungai. (Widhiyatama. Y, 2025)

Untuk mengembalikan fungsi ekologis dan mendukung peruntukan Sungai Cikendal sebagai badan air kelas II, perbaikan kualitas air secara menyeluruh perlu dilakukan melalui instalasi pengolahan air sungai guna meningkatkan daya pulih alami sungai serta menjaga keberlanjutan kualitas air di sepanjang aliran Sungai Cikendal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang mengenai kondisi kualitas air Sungai Cikendal serta perlunya penerapan teknologi pengendalian pencemaran yang efektif dan berkelanjutan, maka penelitian ini merumuskan beberapa permasalahan yang akan dikaji. Rumusan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi kualitas air Sungai Cikendal berdasarkan hasil uji kualitas air dan kesesuaiannya dengan baku mutu air kelas II sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 ?
2. Bagaimana merencanakan teknologi untuk meningkatkan kualitas air Sungai Cikendal ?
3. Berapa kebutuhan anggaran biaya (RAB) yang diperlukan untuk pembangunan teknologi terpilih pada Sungai Cikendal ?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dari Tugas Akhir ini adalah memperbaiki kualitas air Sungai Cikendal dengan penerapan teknologi agar memenuhi baku mutu kelas II Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 berdasarkan hasil penelitian pada Tugas Akhir.

Tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah:

1. Merancang teknologi perbaikan kualitas air Sungai Cikendal pada bagian hilir Jl.Sadang Buntu yang optimal untuk menurunkan parameter *Total Suspended Solid* (TSS), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), serta *Fecal Coliform*.
2. Merencanakan desain teknologi perbaikan kualitas air Sungai Cikendal di bagian hilir Jl. Sadang Buntu
3. Menyusun Rancangan Anggaran Biaya untuk pembuatan teknologi perbaikan kualitas air Sungai Cikendal yang direncanakan.

1.4 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dalam penyusunan Tugas Akhir sebagai berikut:

1. Merencanakan teknologi yang akan digunakan untuk menyisihkan parameter BOD, COD, TSS, Amonia, dan *fecal coliform*.
2. Merencanakan teknologi yang dapat di terapkan secara *in-situ* pada Sungai Cikendal.
3. Merencanakan teknologi perbaikan pada bagian hilir titik sampling Sungai Cikendal.

1.5 Lokasi Perencanaan

Daerah studi yang dilakukan adalah di bagian hilir, Jl. Sadang Buntu

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada Laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, lokasi perencanaan, serta sistematika penulisan.

BAB II GAMBARAN OBJEK PERENCANAAN

Berisi tentang Gambaran mendalam mengenai objek perencanaan seperti letak geografis dan batas administrasi, topografi, kondisi sosial, ekonomi dan budaya, penggunaan lahan, kondisi Sungai Cikendal, identifikasi dan inventarisasi sumber pencemar, serta lokasi perencanaan.

BAB III TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan mengenai deskripsi umum teknologi perbaikan kualitas air sungai yang didapat setelah mempelajari studi pustaka baik berupa literatur maupun jurnal penelitian terdahulu.

BAB IV DASAR PERENCANAAN

Beris ikan teori dasar yang menjadi acuan dalam langkah-langkah merancang dan mendesain teknologi perbaikan kualitas air sungai untuk memperbaiki kualitas Air Sungai Cikendal.

BAB V PERENCANAAN TEKNIS

Berisikan penentuan unit teknologi perbaikan kualitas air sungai yang akan digunakan, penentuan dimensi unit pengolahan serta gambar teknik teknologi perbaikan kualitas air Sungai Cikendal.

BAB VI SPESIFIKASI TEKNIS DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA

Berisikan ketentuan spesifikasi teknis jenis material yang akan digunakan serta rincian anggaran biaya yang dibutuhkan untuk perencanaan teknologi perbaikan kualitas Air Sungai Cikendal.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

GAMBARAN OBJEK PERENCANAAN

2.1 Gambaran Umum Wilayah Perencanaan

Sungai Cikendal merupakan salah satu anak sungai yang termasuk pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum, yang secara administratif melewati wilayah Kecamatan Bandung Kulon Kota Bandung. Sungai Cikendal banyak melewati daerah pemukiman, tanah kosong, persawahan, serta beberapa industri.

2.1.1 Letak Geografis dan Batas Administrasi Sungai Cikendal

Lokasi sampling Sungai Cikendal terbentang sepanjang 5,3 km titik hulu sampai hilir Sungai Cikendal termasuk kedalam wilayah Kota Bandung Kecamatan Bandung Kulon. Seperti **Gambar 2.1** dan **Tabel 2.1** dibawah ini yang menggambarkan letak administrasi wilayah yang termasuk didalam daerah tangkapan air (*catchment area*) sub DAS Sungai Cikendal.

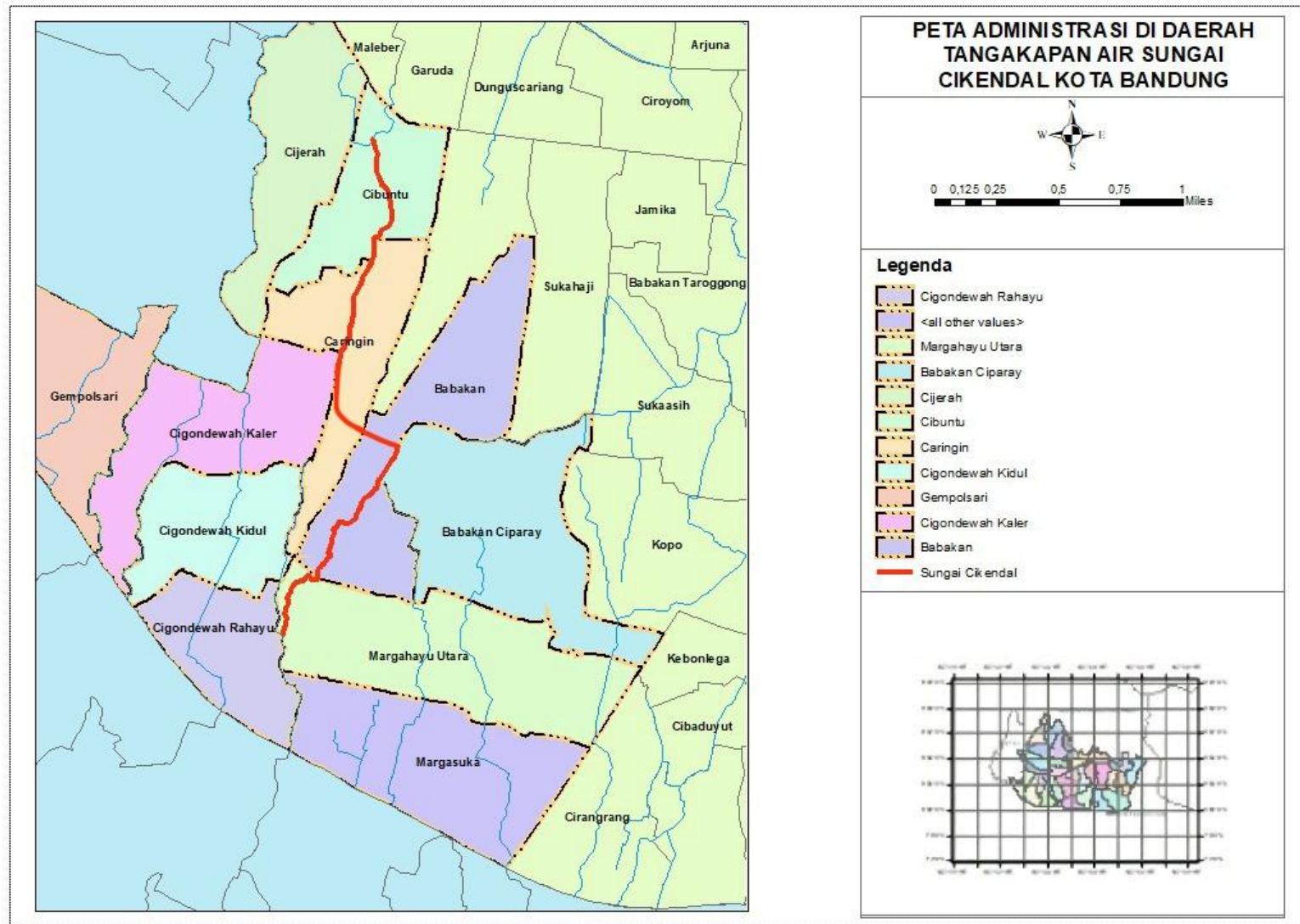
**Tabel 2.1 Wilayah Administrasi Daerah Tangkapan Air Sungai
sub DAS Cikendal**

Kecamatan	Kelurahan	Luas (ha)
Bandung Kulon	Gempolsari	86
	Cigondewah Kaler	142
	Cigondewah Kidul	81
	Cigondewah Rahayu	52
	Caringin	60
	Cibuntu	76
	Cijerah	86
Babakan	Margasuka	161
	Margahayu Utara	105
	Babakan Ciparay	138

Sumber: Badan Pusat Statistik Kota Bandung , 2023.

Secara administrasi wilayah aliran Sungai melewati wilayah sebagai berikut:

1. Sebelah Utara : Kelurahan Cibuntu, Kecamatan Bandung Kulon
2. Sebelah Barat : Kelurahan Cigondewah Kaler, Kecamatan
Bandung Kulon
3. Sebelah Timur : Babakan Ciparay, Kecamatan Babakan
4. Sebelah Selatan : Cigondewah Rahayu, Kecamatan Bandung Kulon



Gambar 2.1 Administrasi Daerah Sungai Cikendal

2.1.2 Geologi Sungai Cikendal

Secara regional, wilayah Kota Bandung berada pada Cekungan Bandung yang terbentuk akibat aktivitas tektonik dan vulkanik pada masa Kuartar. Kondisi geologi wilayah ini didominasi oleh endapan hasil aktivitas gunung api, terutama material yang berasal dari kompleks Gunung Tangkuban Parahu, Gunung Burangrang, dan Gunung Patuha, serta endapan aluvial yang berkembang di sepanjang daerah aliran sungai. Endapan tersebut terdiri atas pasir, lanau, lempung, kerikil, dan material tufaan dengan tingkat pelapukan yang bervariasi.

Sungai Cikendal sebagai salah satu anak Sungai Citarum mengalir pada dataran aluvial Cekungan Bandung yang tersusun oleh endapan aluvial muda. Material dasar sungai umumnya berupa pasir halus hingga sedang, lanau, dan lempung yang berasal dari hasil pelapukan batuan vulkanik di daerah hulu. Karakteristik geologi tersebut menyebabkan sungai memiliki potensi sedimentasi yang cukup tinggi, terutama pada segmen dengan kecepatan aliran yang rendah.

Selain dipengaruhi oleh kondisi geologi alami, morfologi Sungai Cikendal juga mengalami perubahan akibat aktivitas manusia, seperti pembangunan permukiman, saluran drainase, dan pembuangan sedimen maupun sampah ke badan sungai. Kondisi tersebut mengakibatkan terjadinya pendangkalan sungai yang dapat mengurangi kapasitas aliran serta memengaruhi kualitas air.

2.1.3 Klimatologi Sungai Cikendal

Iklim Kota Bandung dipengaruhi oleh pegunungan sekitarnya, sehingga cuaca yang terbentuk sejuk dan lembab. Pada beberapa tahun terakhir mengalami peningkatan suhu serta musim hujan yang lebih panjang dari biasanya.

1. Curah Hujan

Curah hujan di Kota Bandung pada tahun 2025 diperkirakan mencapai total lebih dari 2.500 mm, yang termasuk dalam kategori tinggi menurut BMKG. Pola musim hujan diprediksi pada bulan Januari hingga April dan kembali meningkat pada Oktober hingga Desember, dengan curah hujan tertinggi kemungkinan pada bulan November, mengikuti tahun 2024 yang mencapai 512 mm. Sementara itu, musim kemarau diperkirakan berlangsung pada bulan Juni hingga Agustus, dengan curah hujan terendah terjadi pada bulan Juli, yaitu sekitar 30

mm. Secara umum, curah hujan di Kota Bandung menunjukkan pola yang fluktuatif, dengan intensitas hujan cenderung meningkat menjelang akhir tahun.

2. Suhu

Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) (2025) suhu udara Kota Bandung tergolong relatif sejuk karena wilayah ini berada pada ketinggian sekitar ± 768 meter di atas permukaan laut (mdpl). Suhu udara harian umumnya berkisar antara 18–30 °C, dengan suhu rata-rata tahunan sekitar 23–24 °C. Variasi suhu dipengaruhi oleh kondisi topografi, ketinggian tempat, musim, serta intensitas penyinaran matahari.

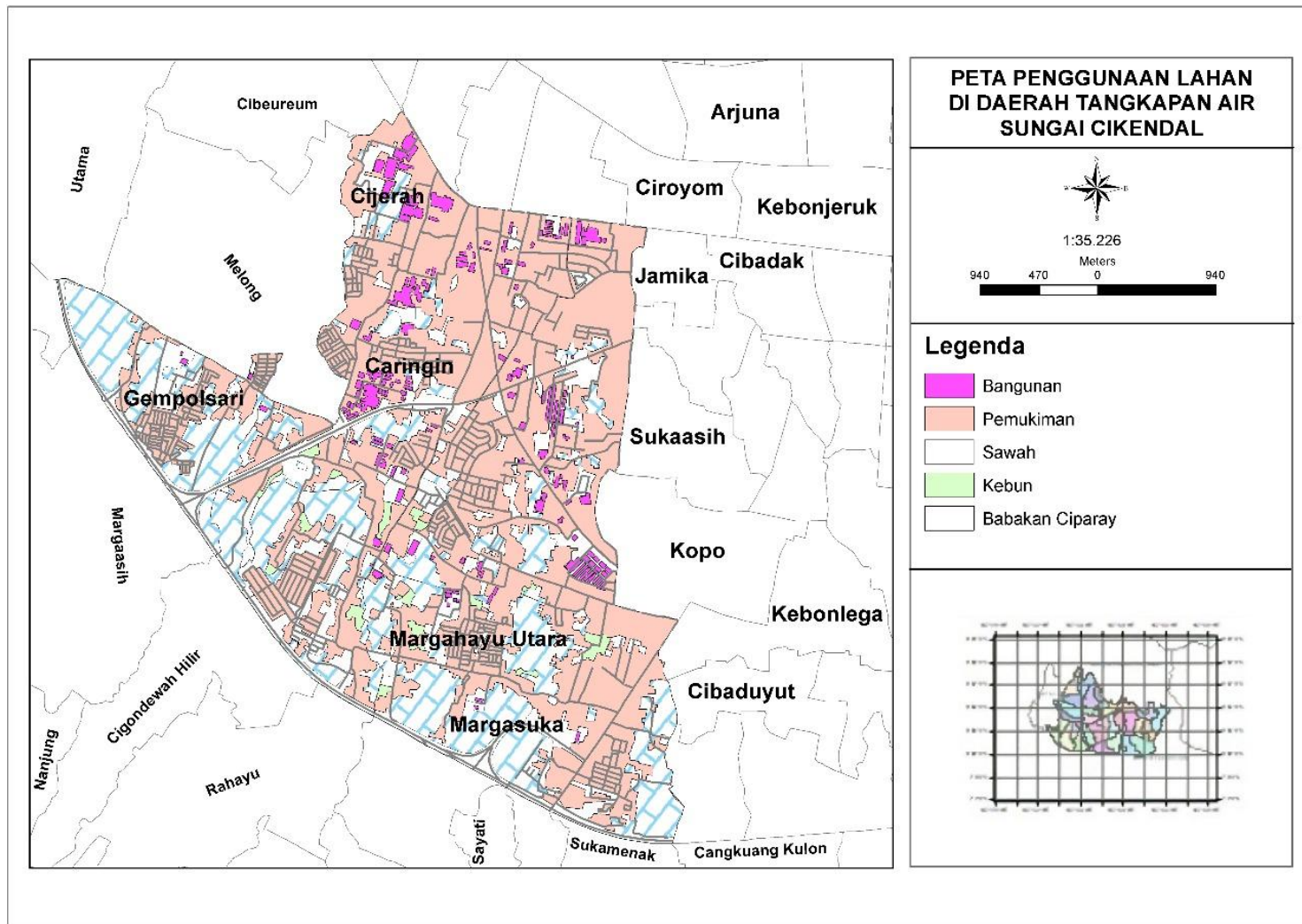
Tabel 2.2 Curah Hujan Kota Bandung Tahun 2024

No	Bulan	Curah Hujan (mm)perbulan di Kota Bandung
1	Januari	335
2	Februari	264
3	Maret	272
4	April	215
5	Mei	71
6	Juni	156
7	Juli	30
8	Agustus	53
9	September	136
10	Oktober	81
11	November	512
12	Desember	90

Sumber: Badan Pusat Statistik Kota Bandung, 2024

2.2 Daerah Sekitar Sungai Cikendal

Wilayah sekitar Sungai Cikendal mempunyai beragam jenis penggunaan lahan yang meliputi lahan terbangun untuk bangunan dan pemukiman penduduk serta lahan tidak terbangun yang digunakan untuk persawahan dan perkebunan, karakter tersebut menjadikan wilayah Sungai Cikendal sebagai kawasan yang mengalami perkembangan pemukiman dan masih mempertahankan aktivitas pertanian secara lokal. **Gambar 2.2** menunjukkan peta penggunaan lahan di daerah Sungai Cikendal.



Gambar 2.2 Peta Penggunaan Lahan di Daerah Sekitar Sungai Cikendal

2.3 Kondisi Sungai Cikendal

Sungai Cikendal menunjukkan perbaikan setelah adanya aksi para Satgas Citarum Harum, petugas kewilayahan, tim gabungan serta relawan Masyarakat. Upaya tersebut difokuskan pada pengangkutan sampah dan sedimentasi yang selama ini menyebabkan pendangkalan sungai dan mengganggu kelancaran air, terutama saat musim hujan ketika sampah dari wilayah hulu terbawa arus dan memperparah kondisi Sungai Cikendal. Sebelumnya, Sungai Cikendal mengalami penurunan kualitas mulai dari fisik, bau, warna akibat pencemaran limbah domestik dan limbah industri yang dibuang langsung ke badan sungai. Keberlanjutan perbaikan kualitas Sungai Cikendal tidak hanya bergantung pada kegiatan teknis pembersihan, tetapi juga memerlukan edukasi masyarakat, pengawasan lingkungan secara konsisten, serta kolaborasi yang kuat antara pemerintah dan warga, mengingat peningkatan kesadaran dan literasi lingkungan masyarakat berperan penting dalam mencegah pencemaran sungai di masa mendatang (Juliandar et al, 2025)

2.4 Permasalahan Sungai Cikendal

Sungai Cikendal mengalir melewati daerah yang padat penduduk, industri dan beberapa lahan pertanian yang melewati Kecamatan Bandung Kulon dan Babakan Ciparay yang berpotensi mengakibatkan pencemaran dan terjadinya penurunan kualitas pada sungai.

Sungai Cikendal melintasi dua kecamatan, diantaranya adalah Kecamatan Bandung Kulon dan Kecamatan Babakan Ciparay. Berdasarkan identifikasi terdapat beberapa sumber pencemaran yang dihasilkan dari dua kecamatan tersebut, dan juga beberapa aktivitas yang berpotensi menimbulkan pencemaran sungai, antara lain:

1. Pembuangan air limbah domestik dan kekurangan fasilitas pengolahan limbah cair

Sungai Cikendal melewati dua kecamatan dengan total 11 kelurahan. Pada sektor domestik, penurunan kualitas air Sungai Cikendal ini disebabkan karena kurangnya fasilitas terkait pengolahan air limbah, kurangnya pemantauan secara berkala, kurangnya ketentuan hukum

yang berlaku, serta kurangnya kesadaran masyarakat akan lingkungan sekitar.

2. Pembuangan limbah industri dan ketidakefektifan dalam pengolahan limbah cair yang baik

Terdapat 11 kelurahan yang memiliki berbagai jenis industri, baik industri kecil, menengah maupun besar. Ini disebabkan karena kurang optimalnya ketentuan hukum yang berlaku terhadap pelaku industri yang membuang limbah secara langsung tanpa adanya proses yang baik dan benar. Pada **Tabel 2.3** terdapat sejumlah industri yang berada di wilayah Kecamatan Bandung Kulon dan Babakan Ciparay.

Tabel 2.3 Jumlah dan Jenis Sarana Perdagangan

Kecamatan	Kelurahan	Kelompok Pertokoan	Pasar dengan Bangunan Permanen	Pasar dengan Bangunan Semi Permanen	Pasar tanpa Bangunan	Mini Market/ Swalayan/Supermar ket	Restoran/Rumah Makan	Toko/Warung Kelontong
Bandung Kulon	Cijerah	-	-	-	-	-	-	-
	Cibuntu	-	-	-	-	-	-	-
	Gempolsari	-	-	-	1	2	-	-
	Cigondewah Kaler	-	-	-	-	2	-	-
	Cigondewah Kidul	-	-	-	-	4	-	-
	Cigondewah Rahayu	-	-	-	-	1	-	-
Babakan Ciparay	Babakan	8	1	-	1	4	-	135
	Babakan Ciparay	7	1	2	1	3	-	873
	Sukahaji	1	-	-	2	4	-	215
	Margahayu Utara	2	-	-	1	2	-	102
	Margasuka	3	-	-		4	-	100

Sumber: Badan Pusat Statistik Kota Bandung, 2023

3. Pembuangan sampah secara ilegal

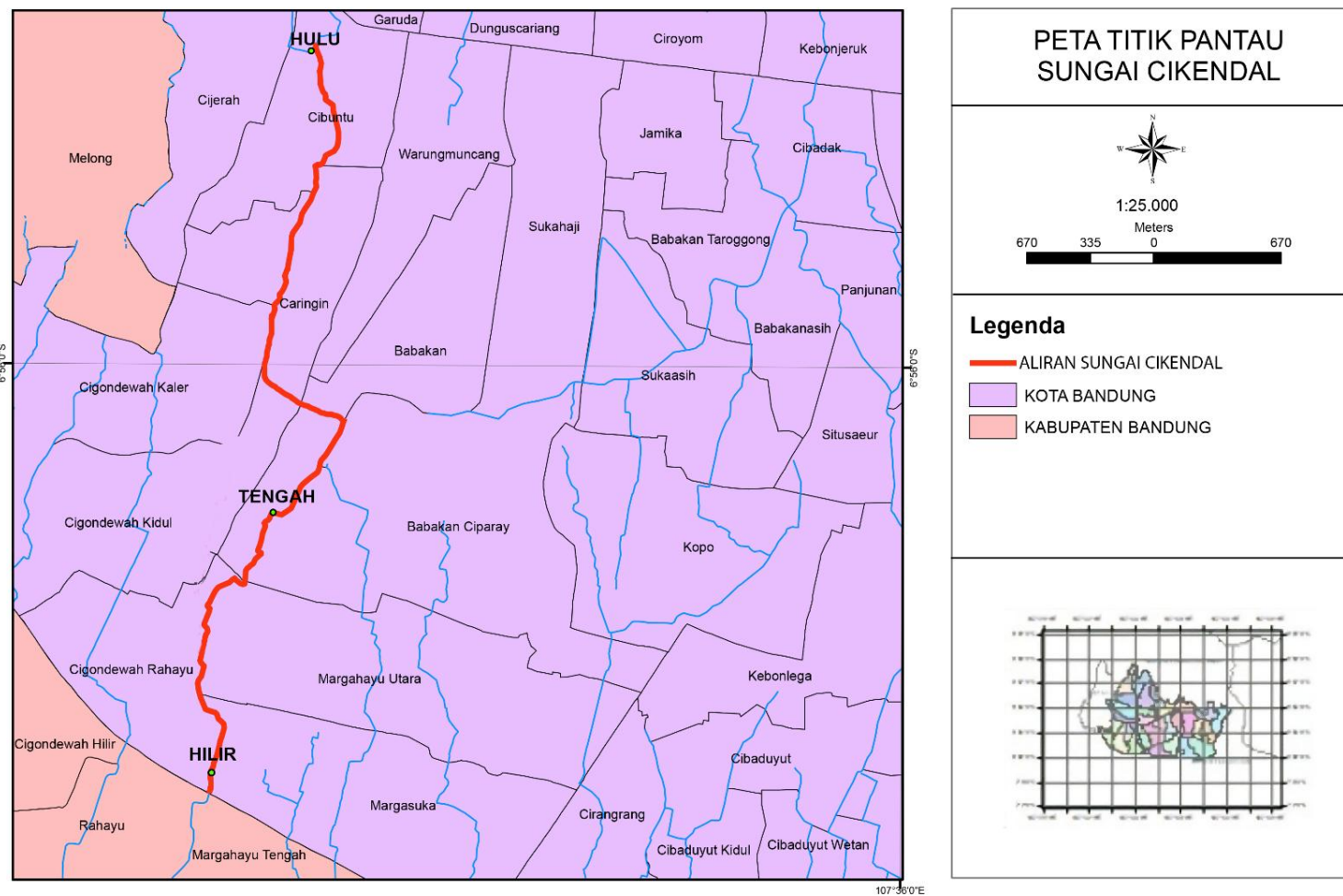
Pembuangan sampah secara ilegal ke badan air ini disebabkan karena kurangnya fasilitas dan kapasitas pengelolaan limbah padat di sekitar sungai, sehingga penduduk sekitar tidak memiliki alternatif lain untuk membuang sampah. Kurangnya pengetahuan dan kesadaran untuk tidak membuang sampah ke Sungai membuat kegiatan membuang sampah di sungai menjadi lebih tinggi.

4. Sedimen dari drainase dan sektor lainnya

Penyebab pencemaran dari sektor ini adalah ekspansi luasan pemukiman sehingga menghasilkan sedimen yang banyak dari *runoff*.

2.5 Kondisi Sungai Cikendal dan Sampling Air Sungai

Dinas Lingkungan Hidup Kota Bandung melakukan survei lapangan dan sampling air Sungai Cikendal menggunakan tiga titik pengambilan sampel, yaitu titik hulu, titik tengah, dan titik hilir. Penentuan ketiga titik sampling tersebut dilakukan dalam rangka pemantauan kondisi kualitas air Sungai Cikendal secara menyeluruh, sehingga dapat menggambarkan perubahan karakteristik air dari bagian hulu hingga hilir. Selain itu, pemilihan lokasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh aktivitas di sekitar sungai terhadap kualitas air pada setiap segmen aliran. Lokasi titik sampling ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Peta Titik Pantau Sungai Cikendal

2.5.1 Titik Hulu (Jl. Raya Cijerah)

Titik hulu berada di Jalan Raya Cijerah, Kelurahan Cijerah, Kecamatan Bandung Kulon, berada di kawasan yang berdekatan dengan aktivitas industri, pemukiman penduduk, dan juga jalan utama yang cukup ramai. Ditemukan adanya beberapa pembuangan limbah secara langsung dari pipa pembuangan pelaku industri ke badan air Sungai Cikendal. Selain itu, adanya juga pembuangan limbah domestik dari pemukiman sekitar titik hulu. Oleh karena itu berdasarkan kondisi lapangan adanya pembuangan limbah industri dan domestik menjadi penyebab sumber utama pencemar terhadap segmen hulu Sungai Cikendal. Berikut **Gambar 2.4** yang menunjukkan titik hulu sampling Sungai Cikendal.



Gambar 2.4 Titik Hulu

Lokasi	Alamat	Koordinat	Permasalahan
Hulu	Jl. Raya Cijerah (PT. Graha Bangun Mandiri)	6° 55' 5.44" S 107° 34' 13.89" E	1) Pembuangan limbah langsung ke badan air 2) Masyarakat masih membuang sampah ke sungai.

2.5.2 Titik Tengah (Jl. Caringin)

Pada titik Tengah Sungai Cikendal berlokasi di Jalan Caringin Nomor 296, Kecamatan Babakan Ciparay, berdekatan dengan pelaku usaha industri tekstil, kondisi ini mengindikasikan adanya potensi pencemaran dari buangan limbah industri tekstil di sekitar titik tengah Sungai Cikendal. Berikut **Gambar 2.5** yang menunjukkan titik tengah sampling Sungai Cikendal.



Gambar 2.5 Titik Tengah

Lokasi	Alamat	Koordinat	Permasalahan
Tengah	Jl. Caringin No.296 (PT. Textile Indo)	6° 56' 25.691" S 107° 34' 11.771" E	Pembuangan limbah industri dan domestik langsung ke badan air dan masyarakat masih membuang sampah ke sungai.

2.5.3 Titik Hilir (Jl. Sadang Buntu)

Pada titik hilir Sungai Cikendal, banyak dilewati oleh lahan pertanian, dan juga industri pemotongan hewan yang membuang langsung limbah ke badan air Sungai Cikendal. Selain itu, beberapa penduduk masih membuang sampah

secara langsung ke sungai yang berpengaruh pada kualitas air. Berikut **Gambar 2.6** yang menunjukkan titik hilir sampling Sungai Cikendal.



Gambar 2.6 Titik Hilir

Lokasi	Alamat	Koordinat	Permasalahan
Hilir	Gang Masjid (Konveksi Tas Yanto)	6° 57' 09" S 107° 34' 01" E	Masyarakat masih membuang limbah langsung ke aliran Sungai Cikendal.

2.6 Kualitas Air Sungai Cikendal

Penelitian kualitas air Sungai Cikendal tahun 2025 dilakukan dengan mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Penilaian kualitas air mengacu pada baku mutu air kelas II, yang digunakan untuk baku mutu Sungai dan sejenisnya. Berikut merupakan hasil dari analisis laboratorium kualitas air Sungai Cikendal di titik Jalan Raya Cijerah, Jalan Caringin, dan Jalan Sadang Buntu yang diperiksa dan dianalisis di laboratorium kualitas air PERUMDA Tirtawening Kota Bandung pada **Tabel 2.4**

Tabel 2.4 Hasil Pemeriksaan Kualitas Air Sungai Cikendal

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Titik Sampel			Metode Acuan
				Hulu	Tengah	Hilir	
Fisika							
1	Suhu	°C	Deviasi 3	23,44*	24,04	22,94	SNI 06-6989.23-2005
2	Padatan Terlarut Total (TDS)	mg/L	1.000	364	558	297	SNI 6989.27:2019
3	Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/L	50	64*	68*	27	SNI 6989.3:2019
4	Warna	PtCo	50	75*	85*	25	SNI 6989.80-2011
Kimia							
1	pH		6,0 - 9,0	7,19	6,77	6,89	SNI 6989.11-2019
2	BOD ₅	mg/L	3	30,15*	35,15*	24,79*	SNI 6989.72:2009
3	COD	mg/L	25	66,06*	74,19*	43,39*	SNI 6989.2:2019
4	Oksigen Terlarut (DO)	mg/L	>4	2,09*	1,85*	1,77*	SNI 06-6989.14-2004
5	Sulfat	mg/L	300	20,27	24,85	70,44	SNI 6989.20:2019
6	Klorida	mg/L	300	52,98	124,96	26,99	SNI 6989.19:2009
7	Nitrat	mg/L	10	0,59	0,75	1,77	SNI 6989.79:2011
8	Nitrit	mg/L	0,06	0,16*	0,19*	0,19*	SNI 06-6989.9-2004
9	Amonia	mg/L	0,2	0,85*	2,64*	3,86*	SNI 06-6989.30-2005
10	Total Nitrogen	mg/L	15	1,59	5,16	5,82	SK Gub KDH Tk I Jabar No 6***
11	Total Fosfat Sebagai P	mg/L	0,2	2,53*	3,08*	3,08*	SNI 6989.31:2021
12	Fluorida	mg/L	1,5	0,28	0,52	0,65	SNI 06-6989.29-2005
13	Belerang sebagai H2S	mg/L	0,002	0,099*	0,222*	0,072*	SNI 6989.70:2009
14	Sianida	mg/L	0,02	<0,0030	<0,0030	<0,0030	SNI 6989>77:2011
15	Klorin Bebas	mg/L	0,03	0,05*	0,20*	0,14*	Colorimetri
16	Boron	mg/L	1	0,27	0,33	0,476	SM 24th Edition APHA-3125-B-2003**
17	Air Raksa	mg/L	0,002	<0,00089	<0,00089	<0,00089	SM 24th Edition APHA-3125-B-2003**
18	Arsen	mg/L	0,05	0,01	0,005	0,016	SM 24th Edition APHA-3125-B-2003**
19	Selenium	mg/L	0,05	0,008	0,007	0,009	SM 24th Edition APHA-3125-B-

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Titik Sampel			Metode Acuan
				Hulu	Tengah	Hilir	
							2003**
20	Kadmium	mg/L	0,01	0,005	0,02	0,006	SM 24th Edition APHA-3125-B- 2003**
21	Kobal	mg/L	0,2	0,012	0,03	0,063	SM 24th Edition APHA-3125-B- 2003**
22	Nikel	mg/L	0,05	0,046	0,051	0,036	SM 24th Edition APHA-3125-B- 2003**
23	Seng	mg/L	0,05	0,136*	0,15*	0,188*	SM 24th Edition APHA-3125-B- 2003**
24	Tembaga	mg/L	0,02	0,01	0,008	0,009	SM 24th Edition APHA-3125-B- 2003**
25	Timbal	mg/L	0,03	0,003	0,004	0,005	SM 24th Edition APHA-3125-B- 2003**
26	Krom Heksavalen	mg/L	0,05	0,22*	0,21*	0,11*	SNI 6989.71:2009
27	Minyak dan Lemak	mg/L	1	4,00*	4,00*	2,00*	SNI 6989.10:2011
28	Deterjen MBAS	mg/L	0,2	1,72*	0,79*	0,82*	SNI 06-6989.51-2005
29	Fenol	mg/L	0,005	0,25*	0,27*	0,26*	SNI 06-6989.21-2004
30	Debit	m ³ /s	-	0,054	0,195	0,143	Perhitungan
Mikrobiologi							
1	Fecal Coliform	MPN/1 000 mL	1.000	3.500*	4.600*	2.100*	SM 24th Edition APHA 9921-B&C 2003**
2	Coliform	MPN/1 000 mL	5.000	12.000*	17.000*	7.000*	SM 24th Edition APHA 9921-B&C 2003**

*) Melebihi Baku Mutu

Sumber: Laboratorium PERUMDA Tirtawening, Kota Bandung, 2025.

Dari **Tabel 2.4** hasil uji kualitas air Sungai Cikendal, menunjukkan bahwa sejumlah parameter fisik, kimia, dan mikrobiologi menunjukkan kondisi yang mengkhawatirkan karena melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Salah satu indikator pencemaran yaitu adalah BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) yang sangat tinggi pada semua titik pengukuran, yang mengindikasikan adanya beban pencemar organik yang besar, kemungkinan yang berasal dari limbah rumah tangga dan limbah industri. Begitu juga dengan COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang menandakan banyaknya zat kimia terlarut yang sulit terurai secara biologis.

Konsentrasi DO (*Dissolve Oxygen*) pada semua titik lebih rendah dari baku mutu yang mengindikasikan bahwa kualitas air di titik pemantauan tidak memenuhi standar baku mutu, hal ini disebabkan adanya beban pencemar organik yang tinggi, aktivitas dekomposisi bahan organik, limbah domestik dan limbah industri yang menyebabkan penurunan kadar oksigen dalam air. Kondisi ini berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem perairan, khususnya organisme yang membutuhkan oksigen terlarut dalam jumlah yang cukup besar untuk bertahan hidup.

Parameter mikrobiologi memperparah hasil uji yang menunjukkan jumlah *Fecal Coliform* dan *Total Coliform* jauh diatas standar, menandakan kontaminasi oleh limbah tinja atau kotoran manusia dan hewan.

Secara keseluruhan hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa air Sungai Cikendal mengalami pencemaran yang cukup serius, terutama dari limbah domestik dan industri sehingga air Sungai Cikendal tidak bisa secara langsung dipergunakan, tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu

Berdasarkan pemodelan yang dilakukan dalam Tugas Akhir I, didapatkan konsentrasi BOD yang tinggi pada titik tengah yaitu sebesar 88,3 mg/L. Untuk defisit oksigen terbesar dengan metode Streeter-Phelps, mencapai 6,57 mg/L, dan konsentrasi DO mengalami penurunan di angka 1,85 dari titik hulu, yang merupakan titik 4km di bagian tengah atau di km 3,5. Hal tersebut menunjukkan bahwa segmen pada sungai ini merupakan fokus utama dalam pengolahan, baik pada sumber pencemar maupun sepanjang segmen aliran sungai.

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Air Sungai

Air merupakan sumber daya alam yang memenuhi hajat hidup orang banyak sehingga perlu dilindungi agar dapat tetap bermanfaat bagi hidup dan kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya. Air digunakan dalam kehidupan sehari-hari, kegiatan industri, kebersihan sanitasi kota, maupun untuk keperluan pertanian dan lain sebagainya (Ardhani, 2014). Salah satu sumber air adalah sungai. Menurut Hendrawan (2005), air sungai adalah air permukaan yang digunakan untuk keperluan masyarakat. Selain itu, sungai dimanfaatkan sebagai tempat penampungan air, sarana transportasi, pengairan sawah, keperluan peternakan, keperluan industri, perumahan, ketersediaan air, irigasi, tempat memelihara ikan dan juga sebagai tempat rekreasi. Dengan berbagai jenis manfaat dari Sungai menyebabkan adanya limbah yang juga masuk ke perairan sungai.

Menurut Peraturan Pemerintah No 38 Tahun 2011, definisi sungai adalah alur atau wadah air alami yang berupa jaringan aliran beserta air di dalamnya, mulai dari hulu sampai ke muara, dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan. Sungai sebagai wadah air mengalir selalu berada di posisi paling rendah dalam lanskap bumi, sehingga kondisi sungai tidak dapat dipisahkan dari kondisi daerah aliran sungai. Keberadaan sungai dapat memberikan manfaat baik pada kehidupan manusia maupun pada alam.

Air sungai telah lama menjadi bagian penting dari kehidupan masyarakat sebagai sumber air baku, sarana transportasi, hingga penunjang ekosistem. Namun, seiring perkembangan kota dan meningkatnya aktivitas industri serta rumah tangga, kualitas air sungai di banyak wilayah perkotaan terus menurun. Berdasarkan data, sekitar 70% sungai berada di wilayah perkotaan Indonesia tidak memenuhi baku mutu air (Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), 2016).

Penurunan kualitas air sungai ditandai oleh penurunan beberapa parameter kualitas air diantaranya adalah parameter fisika, kimia maupun biologi. Penurunan parameter kualitas air sungai ini merupakan indikasi terjadinya pencemaran air

sungai pada area tersebut berasal dari pembuangan limbah rumah tangga (limbah domestik) diantaranya buangan air rumah tangga, air cucian, urin, kotoran manusia (tinja) serta sampah yang dibuang secara langsung di sepanjang aliran sungai. Pembuangan limbah ke sungai merupakan salah satu penyebab kerusakan lingkungan hidup, munculnya berbagai penyakit pada manusia dan menimbulkan pencemaran air (Ngatilah, 2016). Maka dari itu, diperlukan usaha untuk pengendalian pencemaran melalui perbaikan kualitas air sungai agar dapat memenuhi standar yang dipersyaratkan.

3.2 Kualitas Air Sungai

Kualitas air sungai dapat dinyatakan dengan parameter fisika maupun kimia yang menggambarkan bagaimana kualitas air sungai tersebut. Kualitas air sungai diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Berdasarkan peraturan tersebut terdapat empat kategori kelas air sungai, yaitu:

1. Kelas 1 : Sangat baik, untuk air baku dan air minum (harus diolah dahulu).
2. Kelas 2 : Untuk rekreasi air, budidaya ikan air tawar, peternakan, dan air untuk pertanian.
3. Kelas 3 : Untuk budidaya ikan non – konsumsi, irigasi, dan air untuk konsumsi
4. Kelas 4 : Hanya untuk kegiatan industri dan perairan tanaman.

Adapun baku mutu kualitas air sungai dapat dilihat pada **Tabel 3.1** di bawah ini :

Tabel 3.1 Baku Mutu Kualitas Air Sungai

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4
1	Temperatur	°C	Dev 3	Dev 3	Dev 3	Dev 3
2	Padatan terlarut total (TDS)	mg/L	1.000	1.000	1.000	2.000
3	Padatan tersuspensi (TSS)	mg/L	40	50	100	400
4	Warna	Pt-Co Unit	15	50	100	-

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4
5	Derajat keasamaan (pH)		6-9	6-9	6-9	6-9
6	Kebutuhan oksigen biokimia (BOD)	mg/L	2	3	6	12
7	Kebutuhan oksigen kimiawi (COD)	mg/L	10	25	40	80
8	Oksigen terlarut (DO)	mg/L	6	4	3	1
9	Sulfat (SO_4^{2-})	mg/L	300	300	300	400
10	Klorida (Cl^-)	mg/L	300	300	300	600
11	Nitrat (Sebagai N)	mg/L	10	10	20	20
12	Nitrit (Sebagai N)	mg/L	0,06	0,06	0,06	-
13	Amoniak (Sebagai N)	mg/L	0,1	0,2	0,5	-
14	Total Nitrogen	mg/L	15	15	25	-
15	Total Fosfat (Sebagai P)	mg/L	0,2	0,2	1,0	-
16	Fluorida (F^-)	mg/L	1	1,5	1,5	-
17	Belerang sebagai H_2S	mg/L	0,002	0,002	0,002	-
18	Sianida (CN^-)	mg/L	0,02	0,02	0,02	-
19	Klorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	-
20	Barium (Ba) terlarut	mg/L	1,0	-	-	-
21	Boron (B) terlarut	mg/L	1,0	1,0	1,0	1,0
22	Merkuri (Hg) terlarut	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005
23	Arsen (As) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
24	Selenium (Se) terlarut	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05

No	Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4
25	Besi (Fe) terlarut	mg/L	0,3	-	-	-
26	Kadmium (Cd) terlarut	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01
27	Kobalt (Co) terlarut	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2
28	Mangan (Mn) terlarut	mg/L	0,1	-	-	-
29	Nikel (Ni) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
30	Seng (Zn) terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	2
31	Tembaga (Cu) terlarut	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2
32	Timbal (Pb) terlarut	mg/L	0,03	0,03	0,03	0,5
33	Kromium heksavalen (Ce-(VI))	mg/L	0,05	0,05	0,05	1
34	Minyak dan lemak	mg/L	1	1	1	10
35	Deterjen total	mg/L	0,2	0,2	0,2	-
36	Fenol	µg/L	0,002	0,005	0,01	0,02
37	Aldrin/Dieldrin	µg/L	17	-	-	-
38	BHC	µg/L	210	210	210	-
39	Chlordane	µg/L	3	-	-	-
40	DDT	µg/L	2	2	2	2
41	Endrin	µg/L	1	4	4	-
42	Heptachlor	µg/L	18	-	-	-
43	Lindane	µg/L	56	-	-	-
44	Methoxychlor	µg/L	35	-	-	-
45	Toxapan	µg/L	5	-	-	-
46	Fecal coliform	MPN/100 mL	100	1.000	2.000	2.000
47	Total coliform	MPN/100 mL	1.000	5.000	10.000	10.000
48	Sampah		Nihil	Nihil	Nihil	Nihil
49	Radioaktif					
	Gross-A	Bq/L	0,1	0,1	0,1	0,1
	Gross-B	Bq/L	1	1	1	1

3.2.1 Parameter Fisik Air Sungai

Parameter fisik air sungai meliputi suhu, kekeruhan, warna, bau, rasa, padatan tersuspensi, dan padatan terlarut. Parameter ini penting untuk menentukan kualitas air sungai secara keseluruhan dan dapat memengaruhi kehidupan organisme di dalamnya.

a. Suhu

Suhu memperlihatkan kecenderungan aktivitas kimiawi dan biologis di dalam air. Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, dan biologis badan air. Kenaikan suhu air akan menimbulkan beberapa akibat berikut: (1) jumlah oksigen terlarut dalam air menurun; (2) Kecepatan reaksi kimia meningkat; (3) kehidupan ikan dan hewan air lainnya terganggu dan (4) jika batas suhu dilampaui, ikan dan hewan air lainnya mungkin akan mati (Fardiaz, 1992). Peningkatan suhu juga menyebabkan terjadinya peningkatan dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme. Kisaran suhu optimum bagi pertumbuhan fitoplankton di perairan adalah 20°C hingga 30°C (Effendi, 2003).

b. Kekeruhan

Menurut Hendrawan (2005) kekeruhan yaitu suatu keadaan dimana transparansi suatu zat cair berkurang akibat kehadiran zat-zat lainnya. Kekeruhan air dapat dianggap sebagai indikator kemampuan air dalam meloloskan cahaya yang jatuh di atas badan air

c. *Total Suspended Solid (TSS)*

TSS adalah jumlah total partikel padat tersuspensi yang tidak larut dalam air dan dapat disaring melalui penyaringan mekanik. Komponen TSS meliputi partikel anorganik seperti pasir dan lumpur, serta partikel organik seperti sisa tanaman dan mikroorganisme. Nilai TSS yang tinggi biasanya menunjukkan adanya erosi, pencemaran domestik, atau industri. TSS yang berlebihan dapat menyebabkan sedimentasi di dasar sungai, menurunkan kejernihan air, serta mengganggu pernapasan organisme perairan yang berinsang.

d. Warna

Warna air dapat bersifat sejati atau semu. Warna sejati disebabkan oleh adanya zat terlarut seperti tanin dari vegetasi atau logam terlarut seperti besi dan mangan. Sementara itu, warna semu dihasilkan dari gabungan zat terlarut dan partikel tersuspensi. Warna yang tidak normal atau mencolok sering kali merupakan indikator adanya pencemaran oleh limbah rumah tangga, industri, atau aktivitas biologis seperti blooming alga. Warna air biasanya diukur dalam satuan TCU (True Color Unit).

e. Bau

Bau pada air umumnya berasal dari senyawa volatil yang terlarut di dalamnya, seperti senyawa sulfur, amonia, atau senyawa organik hasil dekomposisi. Bau amis, busuk, atau tanah bisa mengindikasikan pencemaran oleh limbah domestik, pertanian, atau industri. Selain sebagai indikator kualitas estetika, bau juga digunakan sebagai indikasi awal terhadap potensi kontaminasi biologis dan kimiawi.

3.2.2 Parameter Kimia Air Sungai

Parameter kimia air sungai adalah ukuran-ukuran yang dapat diukur secara kimiawi yang menunjukkan kualitas air sungai. Parameter ini mencerminkan reaksi kimia yang terjadi di dalam air, seperti pertukaran ion, dan dapat menjadi indikator kesehatan sungai. Beberapa parameter kimia yang umum diuji meliputi oksigen terlarut (DO), pH, kebutuhan oksigen biokimia (BOD), kebutuhan oksigen kimiawi (COD), nitrat, amonia, sulfat, minyak dan lemak, TDS, fosfat, dan logam berat.

- a. pH
- b. *Dissolved Oxygen* (DO)
- c. *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)
- d. *Chemical Oxygen Demand* (COD)
- e. Amonia ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$)
- f. Nitrat (NO_3^-) dan Nitrit (NO_2^-)
- g. Fosfat (PO_4^{3-})
- h. Sulfat (SO_4^{2-})
- i. Logam Berat (Pb, Hg, Cd, Cr, Zn, Cu, dll.)
- j. Minyak dan Lemak
- k. *Total Dissolved Solid* (TDS)

3.2.3 Parameter Biologi Air Sungai

Parameter biologi air sungai adalah ukuran yang digunakan untuk mengevaluasi kondisi kehidupan organisme di dalam sungai, termasuk keberadaan mikroorganisme, fitoplankton, zooplankton, dan bentos, serta indikator pencemaran seperti bakteri Coliform. Parameter-parameter ini penting untuk memahami kualitas air dan Sungai dan ekosistem sungai.

- a. Total Coliform
- b. Fecal Coliform / *Escherichia coli* (*E.coli*)
- c. Plankton
- d. Makrozoobenthos
- e. Algae Bloom

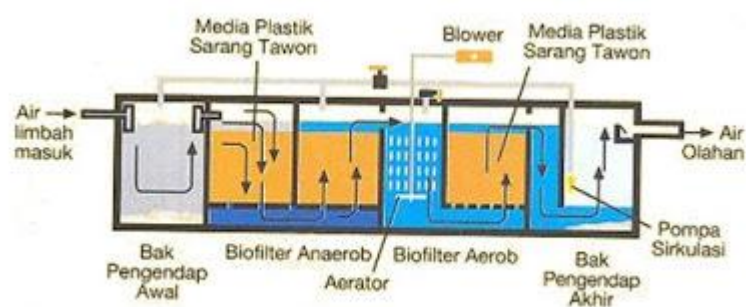
3.3 Teknologi Perbaikan Air Sungai

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengurangi beban pencemar, baik melalui proses biologis, kimiawi, maupun kombinasi keduanya. Pemilihan teknologi pengolahan air limbah biasanya dipengaruhi oleh karakteristik limbah, ketersediaan lahan, biaya operasional, serta tujuan pengolahan. Pada subbab ini akan dibahas beberapa teknologi pengolahan air limbah yang umum digunakan maupun yang masih relatif baru dikembangkan, meliputi biofilter, sequencing batch reactor (SBR), membrane bioreactor (MBR), constructed wetland, floating wetland, serta biocord. Masing-masing teknologi memiliki prinsip kerja, kelebihan, dan keterbatasan yang berbeda, sehingga dapat dijadikan acuan dalam memilih sistem pengolahan yang tepat untuk memperbaiki kualitas air di Sungai Cikendal maupun lingkungan perairan lainnya.

3.3.1 Biofilter

Biofilter adalah reaktor biologis dengan bangun tetap (fixed bed film) dimana mikroorganisme tumbuh dan berkembang menempel pada permukaan media yang kaku misalnya plastic atau batu. Sebagai efektivitas proses biofilter sangat dipengaruhi oleh jenis serta bentuk media yang digunakan sebagai upaya dalam menyediakan area permukaan tempat bakteri atau mikro organisme berkembang biak mengingat peranan bakteri dalam media biofilter sangat penting. Proses biofiltrasi mempunyai beberapa kemampuan antara lain merubah ammonia

menjadi nitrit dan akhirnya menjadi gas nitrogen, menghilangkan polutan organik (BOD,COD), menambah oksigen (untuk proses aerobik), menghilangkan kelebihan nitrogen dan gas inert lainnya, menghilangkan kekeruhan dan menjernihkan air, serta dapat menghilangkan bermacam-macam senyawa organik (Said, N. I. & Ruliasih, 2016). Penggunaan biofilter sangat efektif sebagai pengelolaan limbah dengan kadar BOD5 dan COD dengan rasio diatas 0,5 (Metcalf and Eddy, 2023). Proses yang terjadi dalam media biofilter adalah proses anaerobik- aerobik. Pada proses biofilter tercelup arah aliran searah dengan arah udara yang dipompa dengan menggunakan pompa udara (blower), namun demikian pada pencemar yang sudah terlepas ke udara, arah udara berlawanan dengan arah air, dengan demikian pencemar yang berada dalam udara akan terlarut dalam air dan menempel pada permukaan biofilter, untuk selanjutnya berjalan proses anaerobik aerobik dalam permukaan biofilter. Kedua metode ini sama efisiennya, pemilihan teknologi tergantung keperluan dan jenis pencemarnya (Herlambang, 2005). Pemakaian biofilter untuk penghilangan kadar pencemar dalam air dan udara sudah banyak dilakukan oleh para ahli, dengan daerah aplikasi yang sangat luas. Biofilter sendiri banyak macam dan ragamnya, namun dalam pemilihan jenis biofilter ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan, antara 6 lain: luas permukaan spesifik yang tinggi dibanding volumenya, tahan dan tidak mudah hancur, tidak menggunakan perekat organik, mudah untuk dibersihkan, ringan, dan mudah pemasangannya.

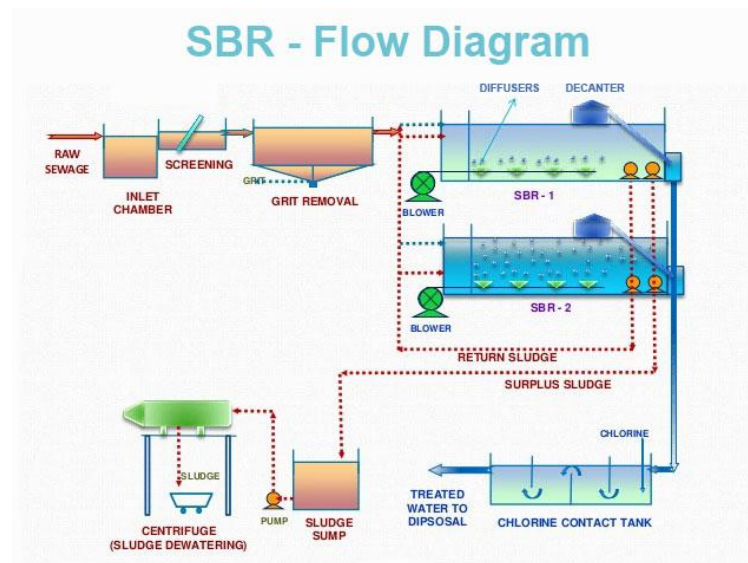


Gambar 3.1 Pengolahan Biofilter

Sumber: <https://www.99.co/id/panduan/cara-membuat-filter-air/>

3.3.2 Sequencing Batch Reactor

Salah satu teknologi pengolahan air limbah tertua adalah *sequencing batch reactor* (SBR). Teknologi SBR konvensional adalah proses pengolahan yang berdasarkan reaktor pengolahan lumpur aktif tunggal. Pada masa lalu pengembangan teknologi ini dihentikan karena penerapan teknologi pengolahan air limbah lebih berfokus kepada sistem pengolahan air dengan sistem input yang terus menerus. Saat ini SBR sering diusulkan untuk mengolah air limbah industri dalam skala kecil. Dibandingkan dengan proses berkelanjutan, SBR dikenal sebagai operasi proses yang lebih stabil, tetapi membutuhkan tingkat kontrol dan otomatisasi proses yang lebih tinggi. Sistem kontrol komputer terbaru juga dapat mengimplementasikan algoritma yang lebih maju, yang berkontribusi pada operasi SBR yang optimal (Brenner, 1997). Dalam pengolahan air limbah menggunakan SBR, terdapat lima tahap satu siklusnya, yaitu tahap fill, tahap react (aeration), tahap settle (sedimentation/clarification), tahap decant/draw dan tahap idle (Metcalf dan Eddy, 2003).



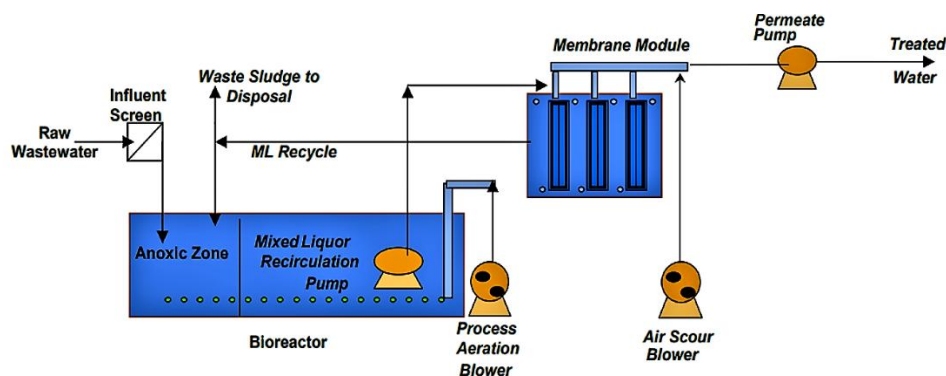
Gambar 3.2 Sequencing Batch Reactor

Sumber: <https://ketavconsultant.com/sequential-batch-reactor-sbr/>

3.3.3 Membrane Bioreactor

Pada prinsipnya *Membrane Bioreactor* (MBR) merupakan suatu sistem pengolahan air limbah yang mengaplikasikan penggunaan membran yang terendam

di dalam bioreaktor. Proses yang terjadi di dalam bioreaktor merupakan kombinasi proses membran untuk pemisahan biomassa. Membran dalam hal ini juga menggantikan peran kolam sedimentasi untuk memisahkan padatan dan cairan pada teknologi konvensional (lumpur aktif). pada MBR proses pemisahan lumpur dilakukan menggunakan membran sementara pada proses lumpur aktif pemisahan lumpur dilakukan secara gravitasi di dalam tangki pengendap. Teknologi ini lebih baik dari pada konvensional lumpur aktif yang tidak dapat mengolah air limbah dengan debit air limbah yang berubah-ubah Selain itu teknologi ini juga dapat mengolah air limbah dengan kualitas air limbah yang lebih buruk dari pada air limbah yang diolah dengan konvensional lumpur aktif



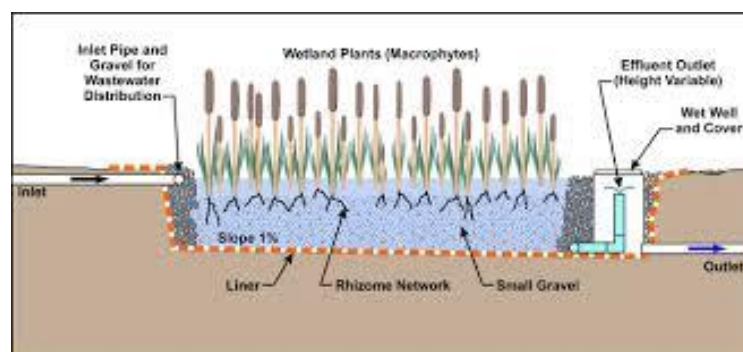
Gambar 3.3 Membrane Bioreactor

Sumber: <https://sswm.info/water-nutrient-cycle/wastewater-treatment/hardwares/semi-centralised-wastewater-treatments/membrane-bioreactor>

3.3.4 Constructed Wetland

Constructed Wetland atau *wetland* buatan merupakan sistem pengolahan air limbah yang dirancang secara teknis untuk meniru proses alami yang terjadi di ekosistem rawa. Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan interaksi kompleks antara tanaman air (makrofita), substrat (seperti pasir, kerikil, atau tanah), dan mikroorganisme, yang bersama-sama berperan dalam menghilangkan atau mengurangi kandungan pencemar dalam air. Air limbah yang dialirkan ke dalam sistem ini akan mengalami proses-proses fisik, kimia, dan biologis seperti sedimentasi, filtrasi, penyerapan nutrisi oleh tanaman, degradasi bahan organik oleh mikroorganisme, serta reaksi kimia yang mengikat logam berat atau zat

berbahaya lainnya. Constructed wetland dibangun dalam bentuk kolam atau saluran yang ditanami dengan jenis-jenis tanaman air tertentu, seperti Typha, Phragmites, atau Cyperus, yang memiliki sistem akar kuat dan mampu bertahan di lingkungan basah. Air limbah masuk melalui bagian inlet dan secara perlahan mengalir melalui media substrat di mana proses pengolahan berlangsung sebelum akhirnya keluar melalui outlet dalam kondisi yang sudah lebih bersih. Terdapat beberapa jenis constructed wetland berdasarkan arah aliran airnya, yaitu tipe permukaan bebas atau *Free Water Surface (FWS)*, di mana air mengalir di atas permukaan substrat menyerupai rawa alami, serta tipe *Subsurface Flow (SSF)*, di mana air mengalir di bawah permukaan substrat, yang terbagi lagi menjadi horizontal flow dan vertical flow. Selain itu, sistem hybrid yang menggabungkan dua atau lebih tipe wetland juga banyak digunakan untuk meningkatkan efisiensi pengolahan limbah yang kompleks.



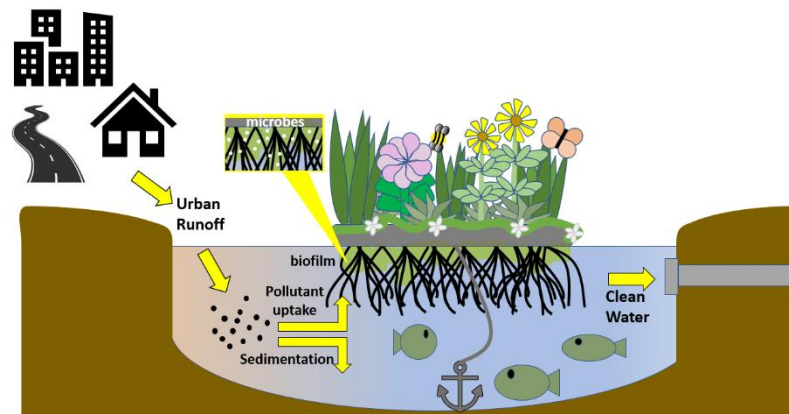
Gambar 3.4 Constructed Wetland

Sumber: <https://www.frtr.gov/matrix/Constructed-Wetlands/>

3.3.5 Floating Wetland

Lahan basah terapung merupakan sistem lahan basah buatan yang menggunakan platform terapung yang ditanami vegetasi untuk memperbaiki kualitas air di berbagai jenis perairan. Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan proses alami, seperti penyerapan nutrisi oleh akar tanaman dan aktivitas mikroorganisme, guna membersihkan air dari berbagai polutan. Fungsi utama lahan basah terapung adalah memperbaiki kualitas air melalui penyerapan nutrisi berlebih, pengurangan limbah organik, dan penurunan kadar polutan. Selain itu,

sistem ini juga menyediakan habitat bagi berbagai jenis satwa air dan darat, meningkatkan keindahan lingkungan perairan, serta membantu mengurangi dampak gelombang dan mencegah erosi, khususnya di daerah pesisir.



Gambar 3.5 Floating Wetland

Sumber: <https://lgpress.clemson.edu/publication/an-introduction-to-floating-wetlands-for-stormwater-ponds/>

3.3.6 Biocord

Biocord merupakan media biofilm (*attached growth media*) yang dirancang untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme pada sistem pengolahan air limbah. Media ini umumnya tersusun dari serat sintesis berbahan polimer seperti *polypropylene* atau *polyester* yang dibentuk menyerupai tali dengan banyak filamen halus. Struktur tersebut menghasilkan luas permukaan spesifik yang tinggi sehingga menyediakan area yang luas bagi mikroorganisme untuk melekat dan membentuk biofilm. Media biofilm dengan luas permukaan tinggi mampu meningkatkan konsentrasi biomassa sehingga proses biodegradasi polutan berlangsung lebih efektif (Metcalf & Eddy, 2014). *Biocord* merupakan salah satu media biofilm yang banyak diterapkan pada instalasi pengolahan air limbah karena memiliki ketahanan mekanis yang baik, ringan, serta mampu mempertahankan pertumbuhan mikroorganisme dalam jangka waktu yang lama (Nathaniel dan Arbaningrum, 2021).

Prinsip kerja *biocord* didasarkan pada pembentukan biofilm, yaitu kumpulan mikroorganisme yang melekat pada permukaan media dan diselubungi oleh *Extracellular Polymeric Substances* (EPS). Lapisan biofilm tersebut berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses biodegradasi pencemar organik maupun

anorganik. Ketika air limbah mengalir melewati media Biocord, senyawa organik dan nutrisi akan berdifusi menuju lapisan biofilm dan dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi untuk pertumbuhan sel (Metcalf & Eddy, 2014). Keberadaan biofilm mampu mempertahankan populasi mikroorganisme lebih stabil dibandingkan sistem lumpur aktif karena biomassa tidak mudah terbawa aliran keluar reaktor (Rusten et al., 2006).

Pada lapisan biofilm yang memperoleh oksigen cukup akan berkembang bakteri aerob yang berperan dalam mengoksidasi bahan organik sehingga dapat menurunkan konsentrasi *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Selain itu, bakteri nitrifikasi seperti *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* akan mengubah amonia menjadi nitrit dan nitrat. Sementara itu, pada lapisan biofilm bagian dalam yang memiliki konsentrasi oksigen lebih rendah dapat berlangsung proses denitrifikasi oleh bakteri fakultatif yang mengubah nitrat menjadi gas nitrogen (Tchobanoglous et al., 2014). Dengan demikian, satu media biofilm mampu mendukung beberapa proses biologis secara bersamaan.

Salah satu keunggulan *biocord* dibandingkan media biofilm konvensional adalah kemampuan mempertahankan biomassa mikroorganisme dalam jumlah besar. Serat-serat halus pada *biocord* memberikan perlindungan terhadap biofilm dari gaya geser akibat aliran air sehingga mikroorganisme tidak mudah terlepas (*sloughing*). Kondisi tersebut menyebabkan konsentrasi biomassa di dalam reaktor menjadi lebih tinggi dibandingkan sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*), sehingga efisiensi penyisihan polutan juga meningkat (Ødegaard, 2006).

Kinerja *biocord* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain luas permukaan media, kecepatan aliran, waktu tinggal hidraulik (*Hydraulic Retention Time/HRT*), konsentrasi oksigen terlarut (DO), suhu, pH, serta beban organik yang masuk ke dalam sistem. Kondisi pH optimum bagi aktivitas bakteri heterotrof dan nitrifikasi berkisar antara 6,5–8,5, sedangkan suhu optimum berada pada rentang 20–35°C (Metcalf & Eddy, 2014). Kecepatan aliran yang terlalu tinggi dapat menyebabkan biofilm terkelupas, sedangkan kecepatan yang terlalu rendah dapat meningkatkan penumpukan padatan tersuspensi pada media sehingga mengurangi efektivitas perpindahan massa (Rusten et al., 2006).

Dibandingkan sistem lumpur aktif, penggunaan *biocord* memiliki beberapa kelebihan, yaitu menghasilkan lumpur yang relatif lebih sedikit, lebih tahan terhadap fluktuasi beban pencemar, tidak memerlukan pengembalian lumpur (*sludge return*), serta mampu mempertahankan populasi mikroorganisme dalam jumlah tinggi. Selain itu, media ini relatif ringan, mudah dipasang, tahan terhadap korosi, dan memiliki umur pakai yang panjang sehingga biaya operasional menjadi lebih rendah dibandingkan media konvensional (Nathaniel & Arbaningrum, 2021; Metcalf & Eddy, 2014).

Dalam pengolahan air limbah, *biocord* telah diterapkan pada berbagai jenis instalasi, seperti limbah domestik, rumah sakit, industri, hingga pengolahan badan air secara in-situ. Penerapan sistem *biocord* pada instalasi pengolahan air limbah mampu meningkatkan efisiensi penyisihan bahan organik karena pertumbuhan biofilm menjadi lebih optimal (Nathaniel dan Arbaningrum, 2021). Media ini juga banyak diterapkan pada teknologi biologis modern karena mampu mempertahankan aktivitas mikroorganisme meskipun terjadi perubahan debit maupun konsentrasi pencemar (Ødegaard, 2006).

Pada penelitian ini, *biocord* dikombinasikan dengan teknologi *Floating Treatment Wetland* (FTW). Akar tanaman pada FTW menyediakan habitat alami bagi mikroorganisme sekaligus menghasilkan oksigen melalui proses difusi radial oksigen (*radial oxygen loss*), sedangkan *biocord* memperluas area pertumbuhan biofilm di bawah modul terapung. Kombinasi tersebut diharapkan mampu meningkatkan penyisihan bahan organik, nitrogen, fosfor, dan padatan tersuspensi melalui mekanisme adsorpsi, biodegradasi, nitrifikasi – denitrifikasi, serta penyerapan oleh tanaman (Headley & Tanner, 2012; Nathaniel & Arbaningrum, 2021)..



Gambar 3.6 Biocord

Sumber: https://id.made-in-china.com/co_shdubhe/product_Biocord-Media-Maximize-Surface-Area-Maximize-Treatment-Efficiency-_uoennsonsu.html

3.3.7 Bar Screen

Bar Screen berfungsi untuk menangkap sampah-sampah yang terbawa aliran sungai. *Screen* ini berbentuk seperti batangan paralel. Adanya *Screen* ini untuk melindungi sistem pengolahan dari benda-benda yang seharusnya tidak masuk kedalam proses. Pembersih pada *bar screen* dapat dilakukan dengan dua cara yaitu manual dan mekanik (Metcalf & Eddy, 2003). Pembersihan secara manual dengan menggunakan tenaga manusia sedangkan cara mekanik menggunakan mesin.

Jarak antar batang air atau *bar* pada *screen* biasanya 20 mm – 40 mm dan bentuk penampang batang tersebut persegi panjang. *Bar Screen* yang dibersihkan secara manual, biasanya saringan dimiringkan dengan kemiringan 30 hingga 45 terhadap horizontal.

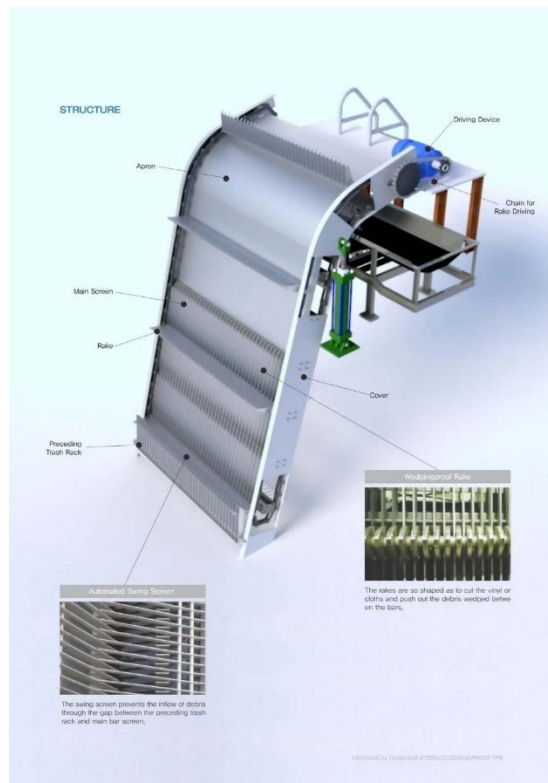


Gambar 3.7 Bar Screen

Sumber: <https://www.indiamart.com/proddetail/bar-screen-for-sewage-treatment-plant-21149855155.html?srsltid=AfmBOor8LmQfCtFT5A7MFRPd2wdmTQPLiFT6DEVeIhjpGS-Xn3WmO7ci>

3.3.8 Trash Trap (Perangkap Sampah)

Trash trap atau perangkap sampah adalah alat inovatif untuk membantu mencegah penumpukan sampah di badan air. Tujuan utama dari *trash trap* adalah untuk menangkap sampah sebelum memasuki daerah pasang surut utama sungai dan lautan. Sehingga secara efektif mengurangi jumlah sampah yang terakumulasi di badan air (Maeda, 2010).



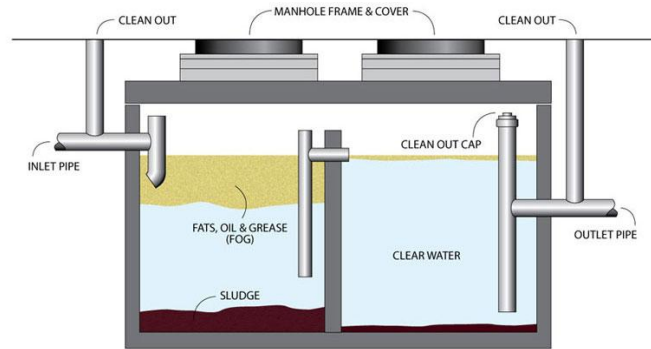
Gambar 3.8 Trash Trap

Sumber: <https://ledengpedia.com/produk/detail/23>

3.3.9 Alat Perangkap Lemak (*Grease Trap*)

Grease Trap adalah salah satu pengolahan fisik dengan memanfaatkan gaya gravitasi serta perbedaan massa jenis antara minyak dan air dalam keadaan kecepatan aliran yang lambat (Wijayanti dan Purnomo, 2021). Kecepatan yang lambat akan memberikan waktu untuk minyak dan lemak terpisah dari air dengan gaya gravitasi. Minyak dan lemak yang telah terpisahkan akan ditampung pada sebuah wadah pembuangan (Maharani, 2017).

Kelebihan *Grease Trap* pada dalam menurunkan kadar minyak dan lemak yaitu minyak dan lemak hasil pemisahan dapat dimanfaatkan kembali, memiliki umur pakai yang relatif lama, biaya operasional dan perawatan rendah, lahan yang dibutuhkan tidak terlalu luas, menghasilkan lumpur yang sedikit (Astuti, 2019).



Gambar 3.9 Grease Trap

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

3.4 Penelitian Terdahulu

Kualitas air Sungai Cikendal khususnya pada segmen tiga (Jl. Sadang Buntu) tercemar berdasarkan hasil uji laboratorium yang menunjukkan adanya beberapa parameter melebihi baku mutu kelas II Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Pelindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Hal tersebut dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kualitas lingkungan perairan, serta keseimbangan ekosistem di sepanjang aliran sungai. Untuk mengubah kualitas air Sungai Cikendal khususnya pada segmen dua sesuai dengan baku mutunya, diperlukan teknologi pengolahan khusus. Beberapa teknologi yang digunakan oleh penelitian terdahulu dapat dilihat pada **Tabel 3.2** berikut ini.

Tabel 3.2 Penelitian Terdahulu

No	Penelitian Terdahulu	Deskripsi Hasil
1	<i>Constructed Wetlands with Floating Emergent Macrophytes: An Innovative Stormwater Treatment Technology</i> (Headley, T. R., & Tanner, C. C., 2012)	Penelitian ini menjelaskan konsep dan mekanisme kerja <i>Floating Treatment Wetland</i> (FTW) sebagai teknologi pengolahan air berbasis alam. Penyisihan pencemar terjadi melalui kombinasi proses sedimentasi, penyerapan unsur hara oleh tanaman, degradasi biologis oleh mikroorganisme pada akar tanaman, serta filtrasi partikel tersuspensi. Selain itu, sistem perakaran tanaman berfungsi sebagai media alami pertumbuhan biofilm sehingga meningkatkan efisiensi penyisihan bahan organik dan nutrien.
2	Analisis Desain Hidrolik IPAL Sistem <i>Biocord</i> dalam Mengatasi Pencemaran Air pada Danau Duta Harapan (Nathaniel, M., & Arbaningrum, R., 2021)	Penambahan bakteri (<i>bioaugmentation</i>) pada FTW mampu meningkatkan efisiensi penyisihan COD, warna, dan logam berat dibandingkan FTW tanpa penambahan mikroorganisme. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan populasi mikroorganisme memberikan kontribusi besar terhadap proses biodegradasi pencemar.
3	Pemanfaatan <i>Floating Treatment Wetland</i> untuk Pengolahan Air Limbah Penatu (Febriana, D. S., Darmayanti, L., & Handayani, Y. L., 2022).	FTW terbukti mampu menurunkan konsentrasi BOD, COD, dan TSS pada air limbah penatu. Efektivitas penyisihan dipengaruhi oleh jenis tanaman yang digunakan, waktu tinggal hidraulik, dan perkembangan sistem perakaran sebagai habitat mikroorganisme.

No	Penelitian Terdahulu	Deskripsi Hasil
4	Penurunan BOD, COD, dan TSS pada Limbah Domestik Menggunakan Kombinasi <i>Floating Treatment Wetland</i> Dilanjutkan <i>Constructed Wetland</i> (Hadi, S. N., & Pungut., 2022)	Kombinasi FTW dan <i>Constructed Wetland</i> menghasilkan efisiensi penyisihan pencemar yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan FTW saja. Sistem ini mampu meningkatkan penyisihan BOD, COD, dan TSS melalui kombinasi proses fitoremediasi, sedimentasi, dan biodegradasi oleh mikroorganisme.
5	Studi Literatur Perencanaan <i>Floating Treatment Wetland</i> di Indonesia (Pusparinda, L., & Santoso, R. I., 2016)	Penelitian ini mengulas berbagai penerapan FTW di Indonesia serta faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan sistem, seperti jenis tanaman, luas area terapung, waktu tinggal hidraulik (HRT), dan kondisi hidrolika. FTW dinilai efektif sebagai alternatif pengolahan air secara <i>in-situ</i> pada sungai, danau, maupun waduk.
6	<i>Enhancing the Water Purification Efficiency of a Floating Treatment Wetland with Biofilm Carriers</i> (Zhang et al., 2016)	Penambahan media biofilm pada FTW meningkatkan luas permukaan pertumbuhan mikroorganisme sehingga penyisihan COD, nitrogen, dan fosfor menjadi lebih baik dibandingkan FTW biasa. Media biofilm juga meningkatkan stabilitas sistem terhadap perubahan beban pencemar.

No	Penelitian Terdahulu	Deskripsi Hasil
7	<i>Performance of Bio-Cord Biofilm Carriers in Ecological Ditches for Nitrogen Removal</i> (Tang et al., 2018)	Penelitian membuktikan bahwa <i>biocord</i> mampu menyediakan habitat yang stabil bagi mikroorganisme sehingga meningkatkan pembentukan biofilm dan efisiensi penyisihan nitrogen serta bahan organik pada saluran ekologis. Bio-cord juga memiliki ketahanan tinggi terhadap aliran air dan mudah dipasang pada sistem pengolahan biologis.

BAB IV

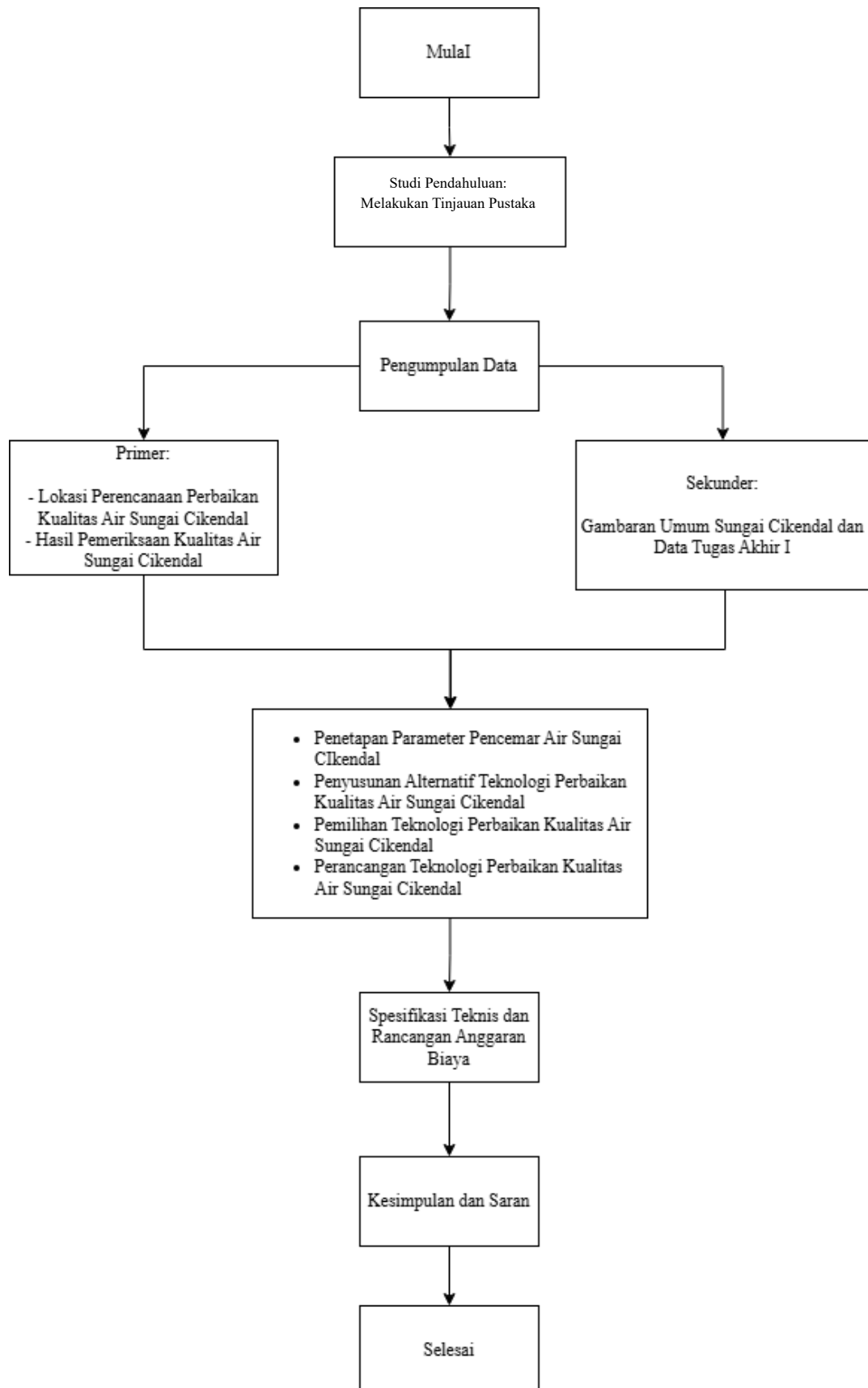
DASAR PERENCANAAN

4.1 Tahapan Perencanaan

Pada tahapan ini dimulai dengan melakukan studi pendahuluan yang di dalamnya memuat mengenai tinjauan pustaka dan pengkajian terhadap penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya serta melakukan pengumpulan data yang meliputi Gambaran umum Sungai Cikendal, serta data lainnya berupa data primer dan sekunder khususnya pada segmen tiga yang dapat mendukung perencanaan perbaikan air Sungai Cikendal. Kemudian selanjutnya masuk ke tahap dasar perencanaan yaitu menjelaskan kualitas air Sungai Cikendal khususnya pada segmen tiga, serta memberikan beberapa alternatif teknologi berdasarkan pada penelitian yang dilakukan sebelumnya untuk mempermudah dalam mempertimbangkan pemilihan teknologi perbaikan air Sungai Cikendal.

Skema pemilihan teknologi dibuat untuk mendapatkan teknologi yang efektif dan efisien untuk memperbaiki kualitas air Sungai Cikendal khususnya pada segmen I. Setelah mendapatkan pengolahan yang terbaik, maka dilakukan perencanaan Teknologi Perbaikan Kualitas air Sungai Cikendal di wilayah segmen tiga. Memberikan penjelasan terkait spesifikasi teknis terhadap perancangan yang telah dilakukan.

Kemudian setelah itu merancang anggaran biaya untuk perencanaan Teknologi Perbaikan Kualitas air Sungai Cikendal. Spesifikasi teknis dan Rancangan Anggaran Biaya (RAB) yang merupakan hal yang sangat penting dalam melakukam perencanaan Teknologi Perbaikan Kualitas air Sungai Cikendal. Keduanya ini saling melengkapi dan memastikan bahwa perencanaan yang dilakukan sesuai dengan rencana dan anggaran yang telah ditetapkan. Setelah itu dihasilkan kesimpulan dan saran dari hasil perancangan tersebut. Berikut diagram alir perencanaan dimana memuat langkah-langkah tersebut yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini



Gambar 4.1 Diagram Alir Perencanaan

4.2 Uraian Tahapan Perencanaan

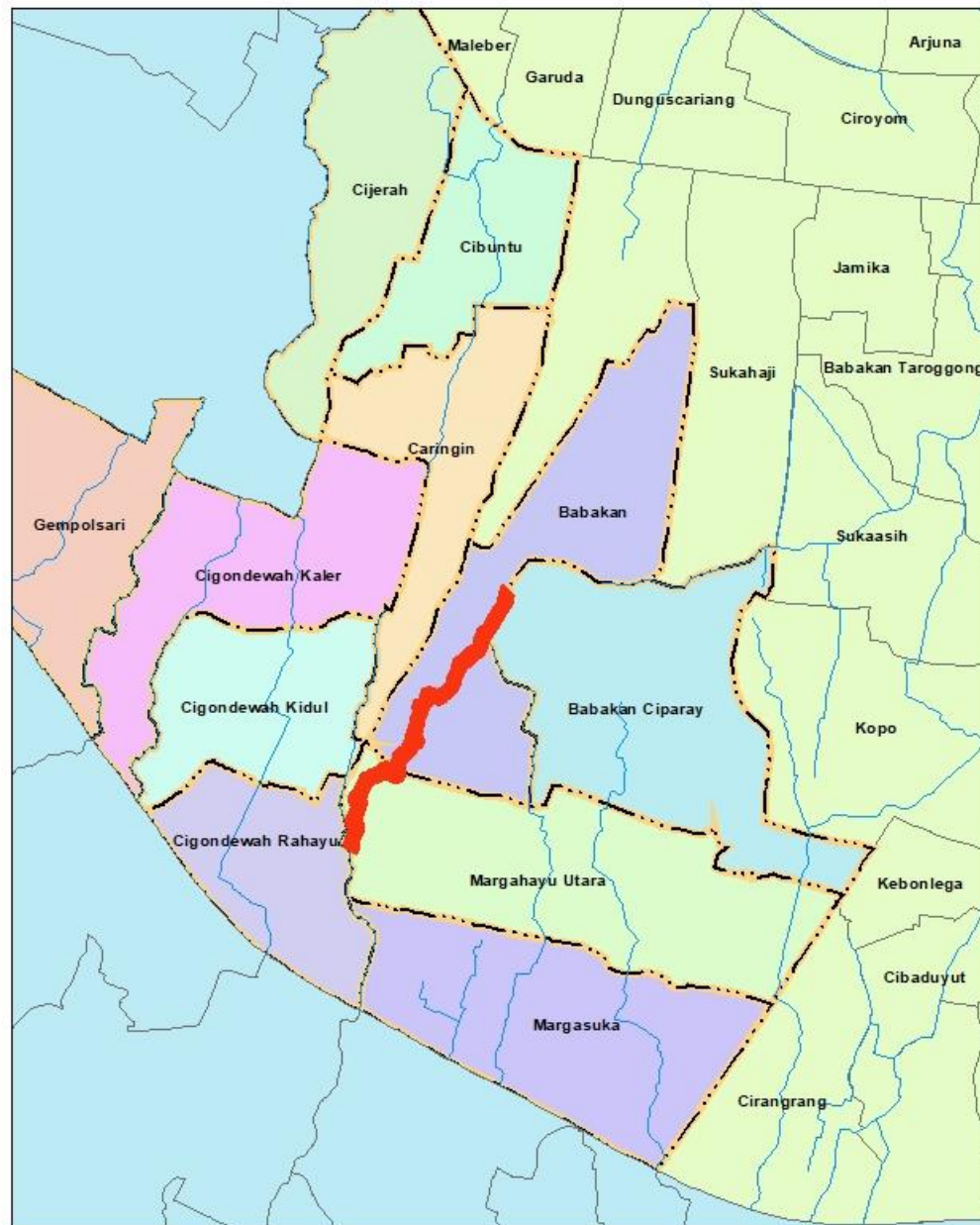
Berikut merupakan uraian tahapan perencanaan perbaikan kualitas air Sungai Cikendal pada bagian Tengah Jl. Caringin No. 296 Kec Babakan Ciparay.

4.2.1 Studi Pendahuluan

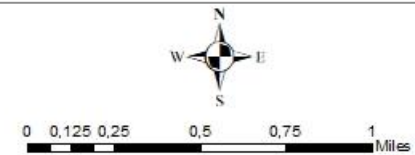
Studi pendahuluan merupakan tahap penting untuk memperoleh informasi yang komprehensif tentang kondisi eksisting dan perbaikan kualitas air sungai di suatu daerah dalam perencanaan perbaikan air sungai. Tahap ini bertujuan untuk mengumpulkan data-data yang relevan dan menyeluruh sebagai dasar dalam mengambil keputusan teknis dan ekonomis. Dengan melakukan studi pendahuluan yang menyeluruh, dapat memastikan bahwa sistem pengolahan air sungai yang akan dibangun dapat menghasilkan air yang memenuhi baku mutu air sungai sesuai dengan kelas yang telah ditentukan.

4.2.2 Lokasi Perencanaan Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai

Lokasi perencanaan teknologi perbaikan kualitas air sungai berada Sungai Cikendal. Pada Sungai Cikendal terdapat 2 (dua) segmen. Segmen pada sungai merupakan pembagian sungai menjadi bagian-bagian yang lebih kecil atau ruas-ruas, biasanya dilakukan untuk mempermudah penelitian atau analisis terkait sungai. Segmen I merupakan segmen yang membentang dari titik hulu sampling sampai ke titik tengah sampling Sungai Cikendal yaitu Jl Raya Cijerah – Jl Caringin Sedangkan Segmen II merupakan segmen yang membentang dari titik tengah sampling sampai ke titik hilir sampling Sungai Cikendal yaitu Jl Caringin - Jl Sadang Buntu. Lokasi yang di pilih dalam perencanaan Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai ini berada pada segmen II antara titik tengah dan hiliryaitu di Jl Caringin – Jl Sadang Buntu



**PETA SEGMENT SUNGAI CIKENDAL DAN
TITIK PERBAIKAN KUALITAS AIR SUNGAI**



Legenda



Inset Kota Bandung



No. Gambar

Halaman

4.2

4.2

4.2.3 Pengumpulan Data

Dalam melakukan perencanaan dibutuhkan data primer dan sekunder untuk menunjang perencanaan perbaikan kualitas air Sungai Cikendal pada bagian hilir Jl. Sadang Buntu. Adapun data primer dan sekunder yang didapat dengan uraian sebagai berikut.

4.2.3.1 Data Primer

Pengumpulan data primer pada perencanaan ini adalah melakukan observasi lapangan secara langsung. Data primer yang digunakan pada perencanaan ini meliputi data kualitas air sungai Cikendal, titik lokasi perencanaan perbaikan air sungai, parameter pencemar air Sungai Cikendal khususnya pada segmen tiga, luas ketersediaan lahan yang dapat menunjang penerapan teknologi perbaikan air Sungai Cikendal khususnya pada segmen hilir Jl. Sadang Buntu

4.2.3.2 Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder pada perencanaan ini mencakup pada proses pengumpulan data yang sudah tersedia dari suatu sumber yang dikumpulkan untuk menunjang perencanaan ini seperti jurnal, maupun peraturan pemerintah yang berlaku. Data sekunde yang digunakan pada percanaan ini meliputi gambaran umum mengenai Sungai Cikendal, data Tugas Akhir I untuk menunjang perencanaan perbaikan kualitas air sungai ini.

4.2.4 Penetapan Parameter Pencemar Air Sungai Cikendal

Parameter pencemar air sungai adalah indikator fisik, kimia, dan biologi yang digunakan untuk menilai kualitas air sungai dan tingkat pencemaran suatu badan sungai. Parameter ini penting dalam menentukan apakah air sungai masih memenuhi baku mutu sesuai peruntukannya serta diperlukan untuk menentukan perencanaan perbaikan kualitas air sungai. Parameter pencemar air Sungai Cikendal ini dilihat ri hasil uji laboratorium yang telah ditentukan pada Tugas Akhir I.

4.2.5 Penyusunan Alternatif Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai Cikendal

Alternatif perbaikan air Sungai Cikendal bergantung pada beberapa faktor, seperti parameter pencemar dan dan ramah lingkungan untuk mengolah air sungai. Perlunya pengembangan perbaikan air sungai bertujuan untuk menghasilkan

teknologi yang lebih baik, dan beelanjutan. Dengan itu, masalah pencemaran air sungai dapat diatasi dengan baik serta memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan.

Tahapan ini dilakukan dengan studi literatur untuk mengumpulkan beberapa jneis teknologi yang dapat menyisihkan parameter pencemar air Sungai Cikendal yang telah diidentifikasi pada hasil uji laboratorium PERUMDA Tirtawening Kota Bandung, dan hasil pada hasil uji sebelumnya yaitu penetapan parameter pencemar air Sungai Cikendal. Maka dari itu disajikan beberapa alternatif teknologi perbaikan air sungai berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya.

4.2.6 Perencanaan Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai

Dasar perencanaan teknologi perbaikan kualitas air sungai yang kompleks melibatkan berbagai aspek yaitu analisis kualitas air baku, pemilihan unit pengolahan air yang sesuai, dan mempertimbangkan teknis lainnya. Perencanaan ini bertujuan untuk menghasilkan air sungai yang memenuhi baku mutu umtuk berbagai keperluan dalam perencanaan ini yaitu baku mutu kelas II. perencanaan teknologi perbaikan kualitas air sungai pada segmen I yakni dibagian hilir di Jl. Sadang Buntu.

4.2.7 Pemilihan Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai Cikendal

Dalam perencanaan Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai terdiri dari rangkaian unit pengolahan air sungai yang berfungsi untuk menyisihkan kandungan parameter dalam air yang belum memenuhi baku mutu air sungai yang terolah sehingga nantinya akan sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditentukan. Pemilihan teknologi perencanaan Perbaikan Kualitas Air Sungai pada dengan cara mempertimbangkan berbagai faktor yaitu efesiensi penyisihan, biaya, pemeliharaan komponen pengolahan dan ketersediaan lahan. Teknologi yang dipilih harus tidak hanya efektif dalam menghilangkan kontaminan tetapi juga berkelanjutan, ekonomis, dan sesuai dengan regulasi yang berlaku. Berikut ini adalah penjelasan mengenai setiap faktor yang di pertimbangkan dalam memilih teknologi perbaikan air sungai:

1. Faktor utama adalah efisiensi penyisihan, yaitu seberapa besar kemampuan sistem atau teknologi dalam menghilangkan polutan dari air, seperti bahan organik (BOD dan COD), padatan tersuspensi (TSS), nutrien seperti nitrogen dan fosfor, serta patogen atau logam berat.

Efisiensi ini sangat bergantung pada jenis teknologi yang digunakan, waktu tinggal air dalam sistem, karakteristik polutan yang ditargetkan, serta kondisi lingkungan seperti suhu dan pH.

2. Biaya investasi awal dan biaya operasional jangka panjang. Biaya investasi meliputi pembangunan infrastruktur, pembebasan lahan, dan pengadaan peralatan, sedangkan biaya operasional mencakup pengeluaran rutin seperti penggunaan listrik, bahan kimia, serta tenaga kerja untuk pengoperasian dan pemeliharaan sistem.
3. Dalam perencanaan ini, kemudahan operasional dan pemeliharaan teknologi pengolahan air sungai menjadi aspek penting yang harus diperhatikan. Teknologi yang dipilih sebaiknya mudah dioperasikan dan dirawat oleh pengelola, termasuk dalam hal pemeliharaan rutin, penanganan kerusakan, serta ketersediaan komponen pengganti ketika kinerja sistem mulai menurun, guna memastikan keberlangsungan fungsi yang efisien dan aman.
4. Ketersediaan lahan ini sangat mempengaruhi pilihan teknologi yang dapat diterapkan dengan memastikan bahwa perencanaan teknologi perbaikan kualitas air sungai tidak mengganggu fungsi lahan yang ada di sekitar.

Selanjutnya adalah menentukan pilihan alternatif pengolahan, dengan cara menganalisis dalam bentuk diagram penapisan mandiri berdasarkan pertimbangan beberapa faktor yang telah dijelaskan, kemudian dari setiap alternatif akan dibandingkan dengan faktor kinerja terhadap penyisihan parameter, biaya, maintenance komponen pengolahan, dan ketersediaan lahan yang ada di lokasi perencanaan. Alternatif pengolahan yang memenuhi keempat faktor tersebut akan dipilih menjadi teknologi pengolahan pada perencanaan ini.

4.2.8 Perancangan Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai Cikendal

Setelah teknologi perbaikan kualitas air sungai dipilih, tahap perancangan menjadi fase krusial yang menentukan keberhasilan implementasi. Tahapan ini melibatkan penjabaran detail teknis dari konsep teknologi yang telah dipilih menjadi desain yang siap untuk diimplementasikan.

Perancangan teknis meliputi perhitungan dimensi dan kapasitas teknologi berdasarkan debit dan beban pencemar, penentuan waktu tinggal optimal, serta kalkulasi efisiensi penyisihan yang dapat dicapai. *Detail engineering* menghasilkan gambar teknik lengkap, spesifikasi material.

4.3 Spesifikasi Teknis dan Rencana Anggaran Biaya

Spesifikasi teknis dilakukan untuk menentukan standar kualitas, ukuran, bahan dan kinerja yang harus dipenuhi oleh alat atau jasa yang akan dibeli, serta menjadi acuan dalam pelaksanaan perbaikan kualitas air sungai. Perencanaan anggaran biaya juga merupakan hal dasar untuk merencanakan anggaran yang dibutuhkan selama pelaksanaan penempatan teknologi perbaikan kualitas air Sungai Cikendal pada bagian hilir Jl. Sadang Buntu, sehingga dapat diketahui berapa biaya yang harus disiapkan serta menjadi acuan yang jelas agar proyek berjalan efektif dan sesuai anggaran. Standar ini mencakup rincian pekerjaan, volume, harga satuan, serta total biaya material dan upah pekerja.

4.4 Kesimpulan dan Saran

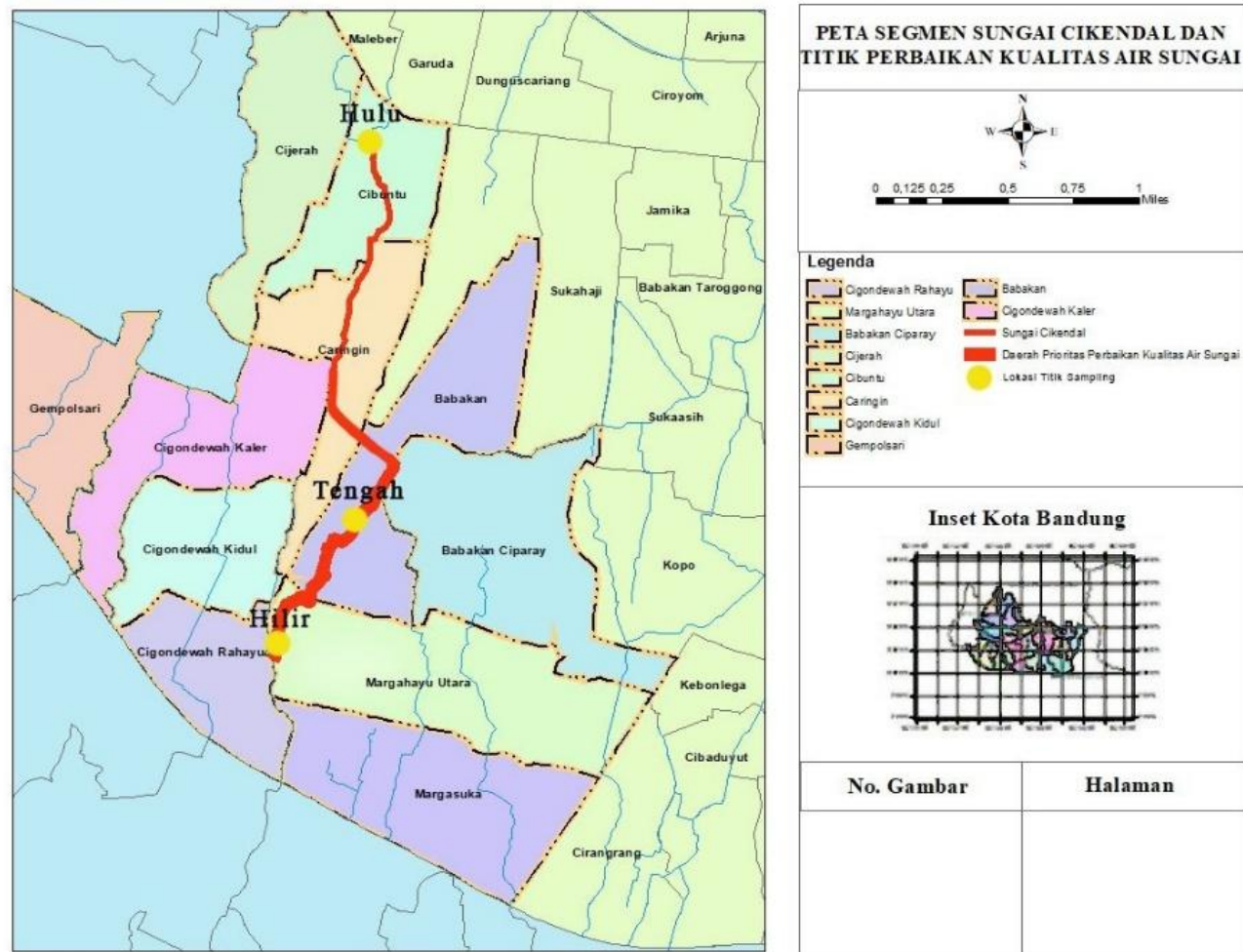
Kesimpulan dihasilkan ketika semua perancangan telah selesai, kesimpulan bertujuan untuk memberikan kembali poin-poin utama yang telah dibahas secara ringkas dan jelas. Saran yang dibuat dalam perancangan ini bertujuan untuk memberikan masukan dalam rangka untuk menetapkan teknologi perbaikan kualitas air Sungai yang lebih efektif dan biaya yang lebih murah.

BAB V

PERENCANAAN TEKNIS

5.1 Lokasi Perencanaan Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai Cikendal

Lokasi perencanaan perbaikan kualitas air Sungai Cikendal berada di titik hilir Jl. Sadang Buntu. Lokasi yang dipilih memiliki akses jalan yang cukup luas di kanan dan kirinya untuk mempermudah transportasi pada tahap pembangunan teknologi. Dalam hal penempatan teknologi, lokasi ini memiliki lebar dan ketinggian dinding yang lebih tinggi dibandingkan titik sampling. Maka ini menjadi pertimbangan dan pemilihan tempat yang sesuai untuk dijadikan lokasi perencanaan perbaikan kualitas air Sungai Cikendal.



Gambar 5.1 Lokasi Perencanaan Perbaikan Kualitas Air Sungai Cikendal



Gambar 5.2 Kondisi Eksisting Lokasi Perencanaan Perbaikan Kualitas Air Sungai

5.2 Parameter Pencemar Air Sungai,

Parameter pencemar pada air sungai digunakan sebagai indikator untuk mengidentifikasi terjadinya pencemaran di suatu perairan. Mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (PERMEN LHK) Nomor 27 Tahun 2021 tentang Indeks Kualitas Lingkungan Hidup, terdapat sejumlah parameter pemantauan yang digunakan dalam perhitungan Indeks Kualitas Air (IKA). IKA sendiri merupakan nilai komposit yang mencerminkan kondisi mutu air di suatu wilayah dalam kurun waktu tertentu. Terdapat delapan parameter utama kualitas air sungai, yaitu:

- a. Tingkat keasaman (pH)
- b. Oksigen terlarut (DO)
- c. Kebutuhan oksigen biokimia (BOD)
- d. Kebutuhan oksigen kimia (COD)
- e. Total padatan tersuspensi (TSS)
- f. Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$)
- g. Total fosfat (T-P)
- h. Fecal coliform (*E. coli*).

Berdasarkan hasil pengujian kualitas air Sungai Cikendal, khususnya pada segmen hilir, ditemukan beberapa parameter yang melampaui baku mutu air kelas II sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup di Indonesia. Rincian data tersebut dapat dilihat pada **Tabel 5.1** berikut ini.

**Tabel 5.1 Hasil Uji Kualitas Air Sungai Cikendal Pada Titik Hilir
(Khusus Parameter yang Melebihi Baku Mutu)**

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Titik Sampel			Metode Acuan
				Hulu	Tengah	Hilir	
Fisika							
3	Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/L	50	64*	68*	27	SNI 6989.3:2019
Kimia							
2	BOD ₅	mg/L	3	30,15*	35,15*	24,79*	SNI 6989.72:2009
3	COD	mg/L	25	66,06*	74,19*	43,39*	SNI 6989.2:2019
4	Oksigen Terlarut (DO)	mg/L	>4	2,09*	1,85*	1,77*	SNI 06-6989.14-2004
8	Nitrit	mg/L	0,06	0,16*	0,19*	0,19*	SNI 06-6989.9-2004
9	Amonia	mg/L	0,2	0,85*	2,64*	3,86*	SNI 06-6989.30-2005
11	Total Fosfat Sebagai P	mg/L	0,2	2,53*	3,08*	3,08*	SNI 6989.31:2021
Mikrobiologi							
1	Fecal Coliform	MPN/1000 mL	1.000	3.500*	4.600*	2.100*	SM 24th Edition APHA 9921-B&C 2003**
2	Coliform	MPN/1000 mL	5.000	12.000*	17.000*	7.000*	SM 24th Edition APHA 9921-B&C 2003**

Sumber: Hasil Uji Lab, 2025

5.3 Alternatif Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai Cikendal

Berdasarkan data parameter pencemarana air Sungai Cikendal pada Tabel 5.1, parameter yang tidak memenuhi baku mutu yaitu TSS, BOD, COD, DO, Nitrit, Amonia, Total Fosfat sebagai P, *Fecal Coliform*, dan *Coliform*. Oleh sebab itu parameter tersebut perlu dilakukan penanganan untuk bisa kembali memenuhi baku mutu air sungai kelas II Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021 melalui penerapan teknologi perbaikan kualitas air sungai. Adapun alternatif teknologi perbaikan kualitas air sungai yang sesuai untuk parameter tersebut dapat dilihat pada **Tabel 5.2** berikut.

Tabel 5.2 Teknologi Berdasarkan Kemampuan Menyisihkan Jenis Parameter Fisik, Kimia, dan Biologi

No	Teknologi	Parameter	Persentase % Penyisihan	Peneliti	Judul Penelitian	Tahun Penelitian	Hasil Penelitian
1	<i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR)	TSS	65,76 - 87,89%	Muhammad Al Kholif dan Erviana Febrianti	Penerapan Teknologi Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Bermedia Kaldness Dalam Menurunkan Pencemar Air Lindi	2019	Penerapan teknologi MBBRbermedia kaldness dalam mengolah beban pencemar pada lindi memberikan pengaruh yang besar terhadap efisiensi penurunan kadar COD dan TSS. Efisiensi penurunan kadar COD tertinggi terjadi pada reaktor A yaitu mencapai 73,13% dan untuk kadar TSS terjadi pada reaktor B dengan nilai efisiensi mencapai 92,07%
		COD	48,67 - 78,31%				
2	Biofilter	BOD	86%	Salamah, U., H., & Rahmanto, T., A.	Efektifitas Media Biofiltrasi Anaerob Untuk Mendegradasi Bahan Organik Pada Limbah Cair Pencucian Ikan	2022	Pada sistem batch efisiensi penyisihan bahan organik dengan jenis media sarang tawon mampu meremoval kadar BOD sebesar 86,0%, COD sebesar 87,1%, TSS sebesar 83,3, dan TDS sebesar 41,0%
		COD	87,1%				
		TSS	83,3%				

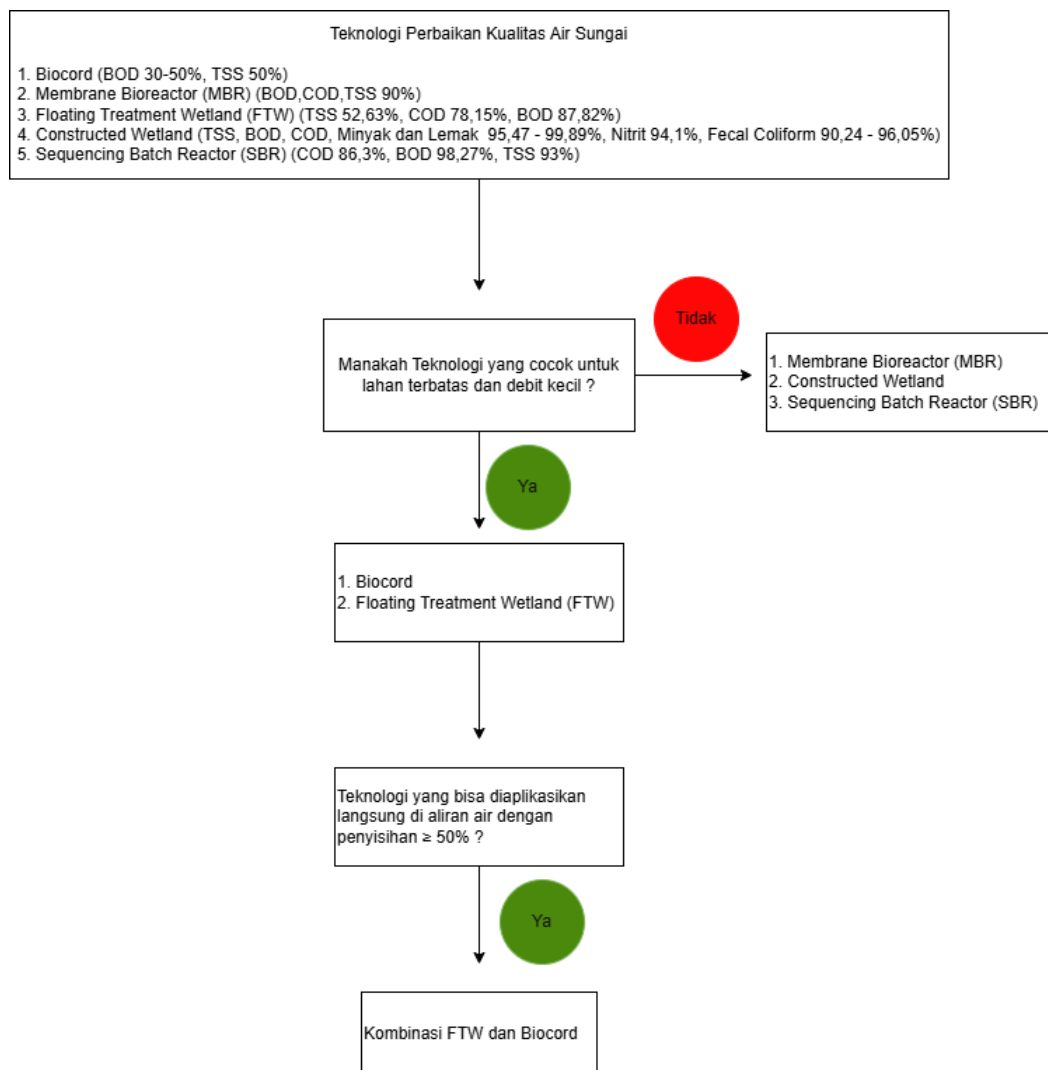
No	Teknologi	Parameter	Persentase % Penyisihan	Peneliti	Judul Penelitian	Tahun Penelitian	Hasil Penelitian
		Minyak dan Lemak	75%	Damayanti, S., dan Mualim,	Pengaruh Biofilter Batu Split Terhadap Penurunan Kadar Minyak dan Lemak Limbah Cair Domestik		Kadar minyak dan lemak dengan metode biofilter aerob media batu split limbah cair domestik yaitu mengalami penurunan sebesar 75%.
3	<i>Membrane Bioreactor (MBR)</i>	BOD	90%	Maulana, M.R., & Marsono, B.D.	Penerapan Teknologi Membran untuk Mengolah Limbah Cair Industri Tahu (Studi Kasus: UKM Sari Bumi, Kabupaten	2021	Karakteristik limbah cair tahu UKM ini adalah COD sebesar 4.529,54 mg/L, BOD 3.207,89 mg/L, TSS 0,946 mg/L. Prapengolahan menggunakan biofilter anaerobik mampu menurunkan beban organik sebesar 70% dilanjutkan dengan pengolahan menggunakan MBR dapat menurunkan sampai 90%.
		COD					
		TSS					
4	Kolam Biocord	BOD	30 - 50%	Asep Sugara	Implementasi Kebijakan Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air Kali Sabi Di Kota Tangerang	2017	Bio Cord dipasang pada dasar saluran atau sungai sejajar dengan arah aliran air, terutama muka air saluran yang rendah. Pada sistem ini dapat diturunkan (direduksi)
		TSS	50%				

No	Teknologi	Parameter	Persentase % Penyisihan	Peneliti	Judul Penelitian	Tahun Penelitian	Hasil Penelitian
							BOD = 50% dan TSS = 50%.
5	<i>Sequencing Batch Reactor (SBR)</i>	COD	86,3%	Wirakusuma, K.Y., Supraba, I., & Budhijanto, W.	Perbandingan Kinerja Sequencing Batch Reactor dengan dan Tanpa Media Bioball untuk Mengolah Limbah Batik	2023	Hasil efisiensi penyisihan konsentrasi COD, yaitu tanpa bioball dapat menyisihkan COD dengan efisiensi 86,3% dan untuk dengan bioball mampu menyisihkan COD dengan efisiensi 87%
		BOD	98,27%	Pratama, A., & Hendrasarie, N.	Efektivitas Penambahan Green Adsorbent Di Sequencing Batch Reactor Untuk Menurunkan Parameter BOD, TSS, dan Warna Pada Limbah Industri Batik	2021	Sequencing Batch Reactor (SBR) dengan penambahan green adsorben untuk efektifitas penyisihan BOD sebesar 98,27%. Kemudian untuk efektifitas penyisihan TSS dengan efektifitas penyisihan TSS sebesar 93%.
		TSS	93%				

No	Teknologi	Parameter	Persentase % Penyisihan	Peneliti	Judul Penelitian	Tahun Penelitian	Hasil Penelitian
6	<i>Floating Treatment Wetland (FTW)</i>	TSS	52,63 %	Lestari, A.S., Iqbal R., & Soewondo	Studi Pengolahan Air Tanggulan Sub DAS Cikapundung Menggunakan <i>Floating Treatment Wetlands</i> Dengan Potensi Partisipasi Masyarakat Sekitar	2013	Efisiensi penyisihan untuk parameter TSS dan COD oleh tanaman I. reptans, yaitung masing – masing sebesar 52,63% dan 78,15%, sementara untuk parameter BOD oleh tanaman L. sativa yaitu sebesar 87,82%
		COD	78,15%				
		BOD	87,82%				

5.4 Pemilihan Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai

Pemilihan teknologi perbaikan kualitas air sungai ini ditentukan berdasarkan skema yang dibuat dalam bentuk diagram alir berdasarkan beberapa faktor yang diuraikan. Dari skema tersebut dijelaskan kinerja teknologi terhadap efisiensi penyisihan parameter TSS, BOD, COD, Nitrit, Minyak dan lemak, *Fecal Coliform* serta *Coliform*, biaya, dan kemudahan perawatan alat, serta dapat diterapkan secara langsung (*in situ*). Kecilnya debit aliran membuat pertimbangan sebaiknya teknologi diterapkan secara langsung di aliran Sungai Cikendal di titik hilir Jl. Sadang Buntu. Adapun diagram alir pemilihan alternatif teknologi perbaikan kualitas Air ungai Cikendal pada **Gambar 5.2** ini.



Gambar 5.2 Diagram Alir Pemilihan Teknologi Perbaikan Air Sungai Cikendal

Berdasarkan diagram alir pada **Gambar 5.2** teknologi yang terpilih untuk perbaikan kualitas air Sungai Cikendal adalah Kombinasi *Floating Wetland* (FTW) dan Biocord. Pemilihan ini mempertimbangkan beberapa aspek penting seperti karakteristik pencemaran di sungai, keterbatasan lahan di badan Sungai Cikendal.

Penerapan teknologi FTW ini merupakan sistem pengolahan air tergolong inovatif dan telah mengimplementasikan di berbagai negara dengan variasi spesies tanaman serta kondisi lingkungan yang berbeda. Keunggulan teknis dari sistem ini terletak pada pembentukan *biofilm* di sepanjang permukaan akar tanamannya yang menyediakan area permukaan yang luas untuk proses degradasi biologi polutan. Teknologi ini terbukti efektif dalam mereduksi parameter BOD, nutrisi, serta logam berat seperti Pb, Mn, Se, dan Zn pada berbagai jenis limbah, mulai dari limbah domestik perkotaan hingga limbah industri dan pertanian.

Selain efektivitasnya dalam memperbaiki kualitas air, FTW memiliki beberapa keunggulan operasional yaitu fleksibilitasnya terhadap fluktuasi muka air sungai dan efisiensi lahan karena dapat diaplikasikan langsung (*in-situ*) di atas badan air. Disamping manfaat tersebut, implementasi FTW ini juga untuk fauna akuatik, perlindungan sempadan sungai, serta peningkatan visual lingkungan (Pusparinda & Santoso, 2016.)

Teknologi Biocord bekerja dengan prinsip pengolahan biologis berbasis biofilm, yaitu mikroorganisme yang tumbuh dan menempel pada media khusus berbentuk tali atau serat sintetis yang digantung di dalam kolam atau aliran air sungai. Media ini berfungsi sebagai tempat tumbuh mikroorganisme aerob dan anaerob yang secara aktif mendegradasi polutan, terutama parameter organik seperti *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Total Suspended Solids* (TSS). Dengan kata lain, Teknologi Biocord dipilih karena merupakan alternatif yang adaptif terhadap kondisi fisik dan lingkungan Sungai Cikendal, sekaligus memiliki potensi besar untuk meningkatkan kualitas air secara berkelanjutan melalui proses biologis alami yang terkontrol.

5.5 Rancangan Teknologi Perbaikan Kualitas Air Sungai Cikendal

Floating Treatment Wetland (FTW) merupakan salah satu teknologi pengolahan air berbasis fitoremediasi yang memanfaatkan tanaman air yang tumbuh pada media terapung. Sistem ini telah banyak diterapkan untuk

meningkatkan kualitas air pada berbagai jenis badan air, seperti sungai, danau, maupun kolam. Efektivitas FTW diperoleh dari interaksi antara tanaman, media terapung, dan komunitas mikroorganisme yang berkembang pada sistem perakaran. Ketiga komponen tersebut bekerja secara sinergis melalui mekanisme fisik, biologis, dan kimia dalam menurunkan konsentrasi pencemar di perairan (Kadlec & Wallace, 2009).

Mekanisme pengolahan pada sistem Floating Treatment Wetland (FTW) meliputi beberapa proses sebagai berikut.

a. Fisik

Sedimentasi terjadi ketika partikel tersuspensi di dalam air mengalami pengendapan akibat berkurangnya kecepatan aliran di sekitar sistem FTW.

Filtrasi berlangsung ketika akar tanaman dan media terapung menahan partikel tersuspensi, sehingga konsentrasi padatan di dalam air berkurang dan tingkat kekeruhan menurun.

b. Biologis

Biodegradasi dilakukan oleh mikroorganisme yang membentuk biofilm pada permukaan akar tanaman. Mikroorganisme tersebut memanfaatkan senyawa organik sebagai sumber energi sehingga kandungan bahan organik di dalam air berkurang.

Serapan tanaman terjadi melalui pengambilan unsur hara, terutama nitrogen dan fosfor, untuk mendukung pertumbuhan tanaman sehingga konsentrasi nutrisi di dalam air menurun.

Nitrifikasi dan denitrifikasi merupakan proses biologis yang mengubah amonia menjadi nitrat pada kondisi aerob, kemudian nitrat direduksi menjadi gas nitrogen pada kondisi anoksik sehingga kandungan nitrogen dalam air dapat dikurangi.

c. Kimia

Adsorpsi berlangsung pada media tanam dan sistem perakaran yang mampu mengikat ion logam maupun senyawa anorganik tertentu, sehingga konsentrasi polutan di dalam air menjadi lebih rendah.

FTW bekerja berdasarkan prinsip fitoremediasi, yaitu pemanfaatan tanaman air untuk memperbaiki kualitas air yang tercemar. Akar tanaman yang terendam menyediakan permukaan bagi pertumbuhan biofilm mikroorganisme, sedangkan tanaman menyerap sebagian nutrisi dan beberapa jenis polutan melalui proses fisiologisnya. Oleh karena itu, FTW mengombinasikan peran tanaman dengan aktivitas mikroorganisme sehingga proses penyisihan pencemar berlangsung lebih efektif dibandingkan hanya mengandalkan salah satu mekanisme saja (Pastevyo, 2012).

Dalam penerapannya, terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan agar sistem Floating Treatment Wetland (FTW) dapat beroperasi secara optimal, seperti pemilihan jenis tanaman, luas area terapung, kondisi hidraulik, serta karakteristik kualitas air yang akan diolah.

Mekanisme biocord gantung di sungai berlangsung melalui tiga aspek utama. Dari sisi fisika, biocord menyediakan luas permukaan yang besar bagi pertumbuhan biofilm, memperlambat aliran air sehingga kontak dengan mikroorganisme lebih lama, serta membantu difusi oksigen ke dalam sistem. Dari sisi kimia, biocord berperan dalam proses adsorpsi polutan, reaksi oksidasi-reduksi, penurunan nilai BOD dan COD, serta transformasi nutrisi seperti nitrogen dan fosfor. Sementara itu, dari sisi biologi, biocord memungkinkan mikroorganisme tumbuh membentuk biofilm yang berfungsi menguraikan pencemar, dukungan peran bakteri, alga, dan protozoa dalam menjaga keseimbangan ekosistem mikro di perairan.

Pada penelitian ini, sistem Floating Treatment Wetland (FTW) dimodifikasi dengan menambahkan biocord sebagai *Biofilm Attachment Surface* (BAS) yang dipasang pada bagian bawah rakit terapung. Penambahan biocord bertujuan untuk memperluas luas permukaan tempat melekatnya mikroorganisme (biofilm) sehingga aktivitas biologis dalam mendegradasi polutan dapat ditingkatkan. Berbeda dengan FTW konvensional yang hanya memanfaatkan akar tanaman sebagai media pertumbuhan biofilm, sistem ini menyediakan media tambahan berupa biocord sehingga jumlah biomassa mikroorganisme yang berkembang di dalam sistem diharapkan menjadi lebih besar.

Biocord dipasang menggantung pada rangka bawah rakit tanpa diikat pada akar tanaman. Posisi tersebut dipilih agar akar tanaman dapat tumbuh secara alami dan berinteraksi dengan biocord pada zona perakaran (rhizosphere). Dengan demikian, akar tanaman dan biocord bekerja secara sinergis sebagai media kolonisasi mikroorganisme. Konsep ini mengacu pada prinsip *attached growth process*, yaitu proses pengolahan biologis yang memanfaatkan media sebagai tempat melekatnya mikroorganisme sehingga konsentrasi biomassa dapat dipertahankan lebih tinggi dibandingkan sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*).

Penambahan biocord sebagai BAS diharapkan memberikan beberapa keuntungan, antara lain:

- meningkatkan luas permukaan pertumbuhan biofilm;
- meningkatkan jumlah dan stabilitas biomassa mikroorganisme;
- memperpanjang waktu kontak antara polutan dengan biofilm;
- meningkatkan efisiensi penyisihan bahan organik dan nutrisi;
- meningkatkan ketahanan sistem terhadap fluktuasi debit maupun beban pencemar.

Secara biologis, mikroorganisme yang tumbuh pada permukaan biocord akan memanfaatkan bahan organik sebagai sumber karbon dan energi sehingga konsentrasi BOD dan COD dapat berkurang. Selain itu, bakteri nitrifikasi akan mengoksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat pada bagian biofilm yang memperoleh oksigen, sedangkan bakteri denitrifikasi dapat mereduksi nitrat menjadi gas nitrogen pada lapisan biofilm yang memiliki kadar oksigen lebih rendah. Oleh karena itu, keberadaan biocord tidak hanya meningkatkan penyisihan bahan organik tetapi juga berpotensi meningkatkan efisiensi penghilangan nitrogen.

Dari sisi hidraulika, biocord yang tersusun atas serat-serat halus mampu memperlambat aliran air di sekitar zona perakaran sehingga meningkatkan peluang kontak antara air sungai dengan biofilm. Serat biocord juga berfungsi sebagai media filtrasi tambahan yang membantu menangkap partikel tersuspensi sebelum mengalami pengendapan atau biodegradasi. Dengan mekanisme tersebut, penyisihan *Total Suspended Solid* (TSS) diperkirakan menjadi lebih baik dibandingkan FTW konvensional.

Secara keseluruhan, modifikasi FTW menggunakan biocord sebagai BAS merupakan pendekatan yang mengintegrasikan proses fitoremediasi, *attached growth* biofilm, dan filtrasi fisik dalam satu sistem terapung. Sinergi antara tanaman, akar, biocord, dan komunitas mikroorganisme diharapkan mampu meningkatkan efisiensi pengolahan air sungai dibandingkan sistem FTW tanpa media biofilm tambahan.

Tabel 5.3 Kriteria Desain Perencanaan

Desain	Keterangan	Nilai	Sumber
FTW	Kedalaman Air	> 0,8 m	Pusparinda & Santoso, 2016
	<i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT)	15 hari	Pusparinda & Santoso, 2016
		1 hari (24 jam)	Sasmita, 2025
		¼ hari (6 jam)	Headly & Tanner, 2012
	<i>Surface Coverage</i>	5 - 50%	Pusparinda & Santoso, 2016
	<i>Hydraulic Loading Rate</i> (HLR)	0,1-0,3 m ³ /m ² .hari	Pusparinda & Santoso, 2016
Biocord	Kedalaman Air	> 0,1 m	Ezzahraoui, S., & Hamza, L., 2021
	<i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT)	4 - 10 Jam	
	Jarak antar Biocord	0,5 - 1,5 m	
	<i>Hydraulic Loading Rate</i> (HLR)	0,5 - 3,0 m ³ /m ² .hari	

5.6 Perhitungan Desain

Perhitungan desain dilakukan untuk menentukan dimensi dan spesifikasi teknis *Floating Treatment Wetland* (FTW) yang dimodifikasi dengan biocord sebagai *Biofilm Attachment Surface* (BAS) sesuai dengan karakteristik Sungai Cikendal dan target kualitas air yang ingin dicapai. Perancangan dilakukan berdasarkan data kualitas air, debit sungai, beban pencemar, serta kriteria desain yang diperoleh dari berbagai literatur.

5.6.1 Perhitungan Dimensi Desain

Tahapan ini dilakukan untuk menentukan dimensi bendung yang diperlukan untuk dapat memenuhi syarat penempatan kombinasi *Floating Treatment Wetland* (FTW) dan biocord sebagai BAS serta bangunan yang kokoh dalam menahan air.

Tabel 5.4 Data Hidrolika Sungai Cikendal

Keterangan	Simbol	Nilai	Satuan
Lebar Sungai Eksisting	b	5,6	m
Kedalaman air sungai eksisting	h_1	0,59	m
Tinggi Dinding Sungai	h_2	2	m
Debit Sungai	Q	0,143	m ³ /s
Kecepatan	V	0,2	m/s
Koefisien Manning	n	0,030	

Kemiringan dasar sungai (S) berfungsi menentukan gaya gravitasi yang menggerakkan aliran air, sehingga sangat memengaruhi kecepatan aliran. Kemiringan dasar Sungai yang tinggi menandakan aliran yang deras dengan potensi erosi yang kuat, sedangkan kemiringan yang landai mengindikasikan aliran yang lebih lambat.

Perhitungan Kemiringan Dasar Sungai (S)

Mencari luas penampang basah (A)

$$\begin{aligned}
 A &= b \times h_1 \\
 &= 5,6 \times 0,59 \\
 &= 3,304 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Mencari keliling basah (P)

$$\begin{aligned} P &= b + 2h_1 \\ &= 5,6 + 2(0,59) \\ &= 6,78 \text{ m} \end{aligned}$$

Mencari jari-jari hidrolis (R)

$$\begin{aligned} R &= \frac{A}{P} = \frac{3,304 \text{ m}^2}{6,78 \text{ m}} \\ &= 0,487 \text{ m} \end{aligned}$$

Kemiringan (S)

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{n} (R)^{\frac{2}{3}} (S)^{\frac{1}{2}} \\ 0,2 &= \frac{1}{0,030} (0,487)^{\frac{2}{3}} (S)^{\frac{1}{2}} \\ S &= 0,0000945 \text{ atau } 0,0094\% \end{aligned}$$

Nilai dari kemiringan dasar didapat yaitu 0,0094%. Kemiringan dengan angka 0,0094% termasuk kedalam kategori landai. Dalam hal ini Sungai Cikendal dapat diasumsikan perubahan terkait kedalaman air (dH/dx) ini mendekati nol, sehingga muka air cenderung datar dan kedalaman tidak banyak berubah seiring panjang sungai..

Menghitung dimensi bendung yang direncanakan

Kedalaman minimum FTW (h_3)	= 0,8 m
Kedalaman minimum Biocord (h_4)	= 1 m
Tinggi bendung yang direncanakan (H)	= 1,5 m
Waktu kontak minimum	= 12 jam
	= 43.200 detik

1. Analisis kedalaman air dalam bendungan

Tinggi sungai eksisting (h_2)	= 2 m
Kedalaman air bendung)	= 1,5 m (menyesuaikan tinggi bendung)
Sisa kedalaman diatas air	= 2 m – 1,5 m
	= 0,5 m (sangat aman karena ada sisa 0,5 m untuk menghindari <i>overflow</i>)

2. Perhitungan volume dan panjang bendungan

V efektif yang dibutuhkan untuk waktu detensi 12 jam

$$\begin{aligned}
 V_{\text{efektif}} &= Q \times t \\
 &= 0,143 \text{ m/s} \times 43.200 \text{ s} \\
 &= 6.177,6 \text{ m}^3 \\
 &= 6.178 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Panjang air yang di bendung

$$\begin{aligned}
 V_{\text{efektif}} &= L \times b \times H \\
 6.177,6 \text{ m}^3 &= L \times 5,6 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \\
 6.177,6 \text{ m}^3 &= 8,4L \\
 L &= 735,43 \text{ m} \\
 &= 735 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tebal dinding bendung

Tekanan air:

$$\begin{aligned}
 \text{Tekanan hidrostatik pada kedalaman h: } P &= \rho \times g \times h \\
 \rho \text{ (densitas air)} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 g \text{ (gravitasi)} &= 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 h \text{ (kedalaman air)} &= 1,5 \text{ m} \\
 \text{maka tekanan masimum di dasar bendung: } P &= \rho \times g \times h \\
 P &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1,5 \text{ m} \\
 P &= 14.715 \text{ N/m}^2 \\
 P &= 14,71 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Gaya horizontal (tekanan air): $P_H = 1/2 \times \gamma_w \times H^2 \times L$

$$\begin{aligned}
 P_H &= 1/2 \times 9,81 \times 1,5^2 \times 735 \\
 &= 1/2 \times 9,81 \times 2,25 \times 735 \\
 &= 8,111 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tebal dinding bendung

$$t_1 = 0,1 \times H + C$$

dimana

t_1 = tebal bagian atas

t_2 = tebal bagian dbawah

H = tinggi bendung = 1,5 m

$C = \text{konstanta minimum} = 0,1 \text{ m}$

maka

$$t_1 = 0,1 \times 1,5 + 0,1$$

$$= 0,25 \text{ meter}$$

$$= 1 \text{ meter}$$

1 meter mengikuti angka minimum sesuai KP-02

$$t_2 = \frac{H}{2} + \text{konstanta}$$

$$= \frac{1,5}{2} + 1$$

$$= 1,75 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka dimensi bendung yang direncanakan yaitu pada **Tabel 5.5**

Tabel 5.5 Rekapitulasi Perhitungan Dimensi Bendung

Keterangan	Nilai	Satuan
Panjang air yang di bendung (L)	735	m
Lebar bendung (b)	5,6	m
Tinggi dinding (H)	1,5	m
<i>Freeboard</i>	0,5	m
Volume tampung	6.178	m ³
Tekanan hidrostatik	14,71	kN/m ²
Gaya horizontal	8,111	kN
Tebal atas dinding	1	m
Tebal dasar dinding	1,75	m

5.6.2 Analisis Stabilitas Bendung yang Direncanakan

Analisis stabilitas ini perlu dilakukan untuk memastikan struktur dinding beton yang direncanakan aman terhadap tiga kondisi kritis, yaitu guling (*overturning*), geser (*sliding*), dan tegangan pondasi. Analisis ini mengacu pada SNI 03-2401-1991 tentang tata cara perencanaan bendung.

Berikut data perencanaan bendung:

- Tinggi air rencana (H) = 1,5 m
- Lebar bendung/sungai (b) = 5,6 m

- Tebal atas dinding (t_1) = 1 m
- Tebal dasar dinding (t_2) = 1,75 m
- Berat jenis beton (γ_c) = 2.400 kg/m³
- Berat jenis air (γ_w) = 1.000 kg/m³
- gravitasi = 9,81 m/s²

1. Menghitung berat dinding bendung (w)

Dinding bendung direncanakan dengan penampang trapesoid (sosrodarsono & takeda, 2002):

Volume dinding per meter panjang (v)

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{1}{2} \times (t_1 + t_2) \times H \\
 &= \frac{1}{2} \times (1 + 1,75) \times 1,5 \\
 &= \frac{1}{2} \times 1,25 \times 1,5 \\
 &= 2,0625 \text{ m}^3/\text{m}
 \end{aligned}$$

Berat dinding per meter panjang (W)

$$\begin{aligned}
 W &= v \times \gamma_c \\
 &= 2,0625 \times 2.400 \\
 &= 4.950 \text{ kg/m} \\
 &= 4,95 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

2. Menghitung tekanan hidrostatik

Gaya horizzontal tekanan hidrostatik bekerja pada sisi dalam dinding bendung dengan distribusi tekanan segitiga sepanjang H :

$$\begin{aligned}
 PH &= \frac{1}{2} \times \gamma_w \times H^2 \\
 &= \frac{1}{2} \times 1.000 \times 1,5^2 \\
 &= \frac{1}{2} \times 2.250 \\
 &= 1.125 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

lengan momen PH terhadap dasar

$$\begin{aligned}
 &= \frac{H}{3} \\
 &= \frac{1,5}{3} \\
 &= 0,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3. Menghitung tekan uplift (U)

Tekanan *uplift* adalah gaya angkat keatas akibat rembesan air di bawah pondasi (SNI – 03-2401-1991):

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{2} \times \gamma_w \times H \times t_2 \\ &= \frac{1}{2} \times 1.000 \times 1,5 \times 1,75 \\ &= 1.312,5 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

Lengan momen

$$\begin{aligned} U &= \frac{2}{3} \times t_2 \\ &= \frac{2}{3} \times 1,75 \\ &= 1,17 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Analisis stabilitas terhadap guling (*overtuning*)

Titik guling berada di ujung hilir dasar dinding bendung. Momen penahan (MR) dan momen guling (MO) dihitung terhadap titik tersebut:

Momen penahan (MR)

$$\begin{aligned} MR &= W \times \left(\frac{t_2}{2}\right) \\ &= 4.950 \times \left(\frac{1,75}{2}\right) \\ &= 4.331,25 \text{ Kg.m/m} \end{aligned}$$

Momen guling (MO)

$$\begin{aligned} MO &= PH \times \left(\frac{H}{3}\right) + U \times \left(\frac{2.t_2}{3}\right) \\ &= 1.125 \times 0,5 + 1.312,5 \times (1,17) \\ &= 2.098,13 \text{ Kg.m/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SF \text{ guling} &= \left(\frac{MR}{MO}\right) \\ &= \left(\frac{4.331,25}{2.098,13}\right) \\ &= 2,06 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai faktor keamanan (*Safety Factor/SF*) terhadap guling sebesar 2,06. Nilai tersebut lebih besar dari nilai minimum yang dipersyaratkan, yaitu 1,2 untuk bendung

kecil dengan tinggi bendung (H) kurang dari 3 m dan debit (Q) kurang dari 1 m³/s (Sosrodarsono & Takeda, 2002). Dengan demikian, bendung yang direncanakan dinyatakan aman terhadap potensi guling.

5. Analisis stabilitas terhadap geser (*sliding*)

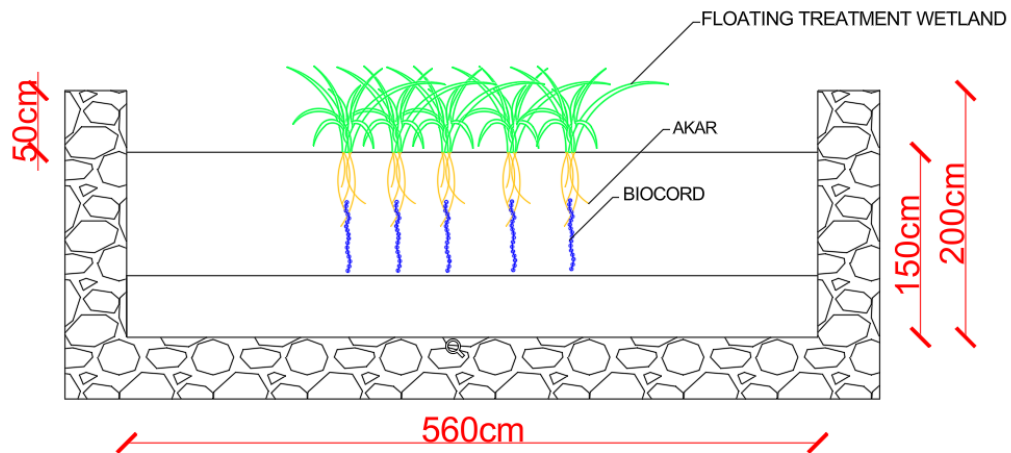
Koefisien geser (f) untuk beton didasar sungai diasumsikan $f = 0,65$ (SNI 03-2401-1991):

$$\begin{aligned}\text{Gaya normal (N)} &= W - U \\ &= 4.950 - 1.312,5 \\ &= 3.637,5 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Gaya penahan geser (FR)} &= f \times N \\ &= 0,65 \times 3.637,5 \\ &= 2.364,3 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{SF}_{\text{geser}} &= \frac{FR}{PH} \\ &= \frac{2.364,3}{1.125} \\ &= 2,1\end{aligned}$$

Nilai SF pada aspek ini didapat nilai $2,1 > 1,0$. Dengan demikian, struktur ini dinyatakan aman terhadap geser. Berikut gambar yang menunjukkan sketsa dari bendung, ditunjukkan pada **Gambar 5.3**



Gambar 5.3 Sketsa Bendung Sungai Cikendal

5.6.3 Perhitungan Dimensi *Spillway Overflow* tipe *Ogee*

Spillway overflow tipe *ogee* merupakan pelimpah dengan profil mercu yang mengikuti bentuk *nappe* bawah aliran bebas. Sistem pelimpah sendiri merupakan pelengkap pada bendung yang berfungsi mengalirkan kelebihan air untuk mencegah *overtopping* (air meluap dari puncak bendung). Profil ini memberikan kapasitas aliran yang besar dengan tekana negatif minimal dan kondisi aliran yang cukup stabil.

Data perencanaan *Spillway*

- Debit (Q) = 0,143 m³/s
- Lebar pelimpah (L) = 5,6 m (sama dengan lebar sungai eksisting)
- Koefisien debit ogee (C) = 2,1 (beton, aliran bebas, P/H > 1,33)
- Tinggi mercu/bendung = 1,5

Nilai C=2,1 menjadi nilai standar untuk pelimpah ogee dengan pendekatan aliran bebas (Sosrodarsono & Takeda, 2002).

1. Menghitung tinggi diatas mercu (Hd)

$$Q = C \times L \times H d^{\frac{3}{2}}$$

$$H d^{\frac{3}{2}} = \frac{Q}{C \times L}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,143}{2,1 \times 5,6} \\
&= 0,052 \text{ m} \\
&= 5,2 \text{ cm}
\end{aligned}$$

Nilai $H_d = 0,052$, menunjukkan bahwa pada kondisi debit normal, ketinggian air yang meluap sangat kecil. Hal ini mengkonfirmasi bahwa kapasitas pelimpah lebih dari cukup.

2. Lebar Puncak Mercu (b)

Bendungan akan stabil dan kokoh, diperlukan lebar puncak yang cukup sesuai menurut Kriteria Perencanaan Irigasi (KP-02) tentang Bangunan Utama. Penetapan lebar yang ditentukan adalah:

$$b = 1,0 \text{ meter} \Rightarrow \text{angka minimum yang digunakan berdasarkan KP-02.}$$

3. Menghitung kecepatan ambang sistem pelimpah

$$\begin{aligned}
V &= \frac{Q}{L \times H_d} \\
&= \frac{0,143}{5,6 \times 0,052} \\
&= 0,49 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

Angka yang didapat dari kecepatan ambang sistem melimpah adalah 0,49 m/s.

4. Bilangan Froude

Nilai dari bilangan Fr digunakan untuk menentukan jenis aliran yang dikelompokkan menjadi tiga yaitu subkritis ($Fr < 1$), kritis ($Fr = 1$), dan superkritis ($Fr > 1$) dan masing masing memiliki kecepatan karakteristik berbeda (Nurhaliza et al., 2022).

$$\begin{aligned}
Fr &= \frac{V}{\sqrt{(g \times H_d)}} \\
&= \frac{0,49}{\sqrt{(9,81 \times 0,052)}} \\
&= 0,714 < 1 \text{ (subkritis, aliran tenang)}
\end{aligned}$$

Hasil yang diperoleh dari bilangan Froude adalah 0,714, dimana aliran ini termasuk kedalam kategori subkritis ($Fr < 1$) memenuhi syarat aliran tenang.

5. Kemiringan sistem pelimpah

Bendung direncanakan dengan muka hulu tegak (90°) dan muka hilir miring. Muka hulu yang dibuat tegak bertujuan untuk mempertahankan elevasi muka air di bagian hulu sehingga kedalaman air yang dibutuhkan untuk pengoperasian *Floating Treatment Wetland* (FTW) tetap terjaga. Sementara itu, muka hilir dibuat miring untuk mengurangi energi aliran setelah melewati mercu bendung sehingga aliran menjadi lebih stabil dan mengurangi potensi gerusan pada bagian hilir.

Sudut kemiringan sisi hilir dihitung berdasarkan dimensi bendung yang telah direncanakan, yaitu tinggi bendung sebesar 1,50 m, lebar mercu 1,00 m, dan lebar dasar 1,75 m.

Lebar horizontal sisi miring diperoleh dari selisih antara lebar dasar dan lebar mercu, yaitu:

$$\begin{aligned} L_h &= 1,75 - 1,00 \\ &= 0,75 \text{ m} \end{aligned}$$

Selanjutnya sudut kemiringan dihitung menggunakan fungsi tangen sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \frac{\text{sisi tegak (vertikal)}}{\text{sisi datar (horizontal)}} \\ \tan \theta &= \frac{1,50 \text{ m}}{0,75 \text{ m}} \\ &= 2 \\ \theta &= \tan^{-1}(2) \\ &= 63,43^\circ \end{aligned}$$

Dengan demikian, sistem pelimpah bendung memiliki muka hulu tegak (90°) dan muka hilir dengan sudut kemiringan sebesar $63,43^\circ$ terhadap bidang horizontal.

Konfigurasi muka hulu tegak dan muka hilir miring dipilih karena sesuai dengan fungsi bendung sebagai bendung rendah (*low weir*) yang bertujuan menaikkan muka air di bagian hulu untuk mendukung operasional *Floating Treatment Wetland* (FTW).

6. Kedalaman air setelah melewati sistem pelimpah

a) Aliran sistem pelimpah

$$\begin{aligned}
 V_2^2 &= V_1^2 + 2 \times g \times \sin \theta \times L \\
 &= V_1^2 + 2 \times g \times \sin (63,43) \times 1,98 \\
 &= (0,49)^2 + 2 \times 9,81 \times 0,894 \times 1,98 \\
 &= 0,24 + 27,46 \\
 &= 34,97 \\
 V_2 &= \sqrt{34,97} \\
 &= 5,91 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

b) Kedalaman di ujung sistem pelimpah

$$\begin{aligned}
 y^2 &= \frac{Q}{\sqrt{(b \times V_2)}} \\
 &= \frac{0,143}{\sqrt{(1,5 \times 5,91)}} \\
 &= 0,048 \text{ m}
 \end{aligned}$$

c) Bilangan froude di ujung sistem pelimpah

$$\begin{aligned}
 Fr_2 &= \frac{5,26}{\sqrt{(9,81 \times 0,048)}} \\
 &= 7,67 \text{ (Superkritis, } Fr > 1)
 \end{aligned}$$

d) Kedalaman setelah loncatan hidraulik

$$\begin{aligned}
 y_3 &= \frac{y^2}{2} \times \sqrt{(1 + 8Fr_2^2)} - 1 \\
 &= \frac{0,051}{2} \times \sqrt{(1 + 8(7,67)^2)} - 1 \\
 &= 0,528 \text{ m} \\
 &= 53 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

7. Dimensi sistem pelimpah

- tinggi sistem pelimpah = tinggi bendung (P1) => 1,5 m
- panjang alas kemiringan (P_{2 slope}) => 0,75 m
- panjang horizontal dasar total (P_{2 total}) => 1,75 m
- panjang miring sistem pelimpah (p₃)

$$\begin{aligned}
 P_3 &= \sqrt{(P_{2 \text{ slope}})^2 + (P_1)^2} \\
 &= \sqrt{(0,75)^2 + (1,50)^2} \\
 &= 1,68 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- lebar sistem melimpah (L) = 5,6 m
- tinggi air normal diatas sistem pelimpah (Hd)

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow 1 \times h_d &= 1 \times 0,052 \\
 &= 0,052 \text{ m}
 \end{aligned}$$
- Sudut 63,43°



PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2026

TUGAS AKHIR

PERBAIKAN KUALITAS AIR SUNGAI CIKENDAL
MENGUNAKAN TEKNOLOGI IN-SITU

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. YONIK MEILAWATI Y, S.T., M.T

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. SRI WAHYUNI, M.T

NAMA

ADRIAN FIRMAN RAHMANSYAH

NPM

213050007

JUDUL GAMBAR

SITE PLAN BENDUNGAN DAN FLOATING TREATMENT
WETLAND & BIOCORD SUNGAI CIKENDAL

SKALA

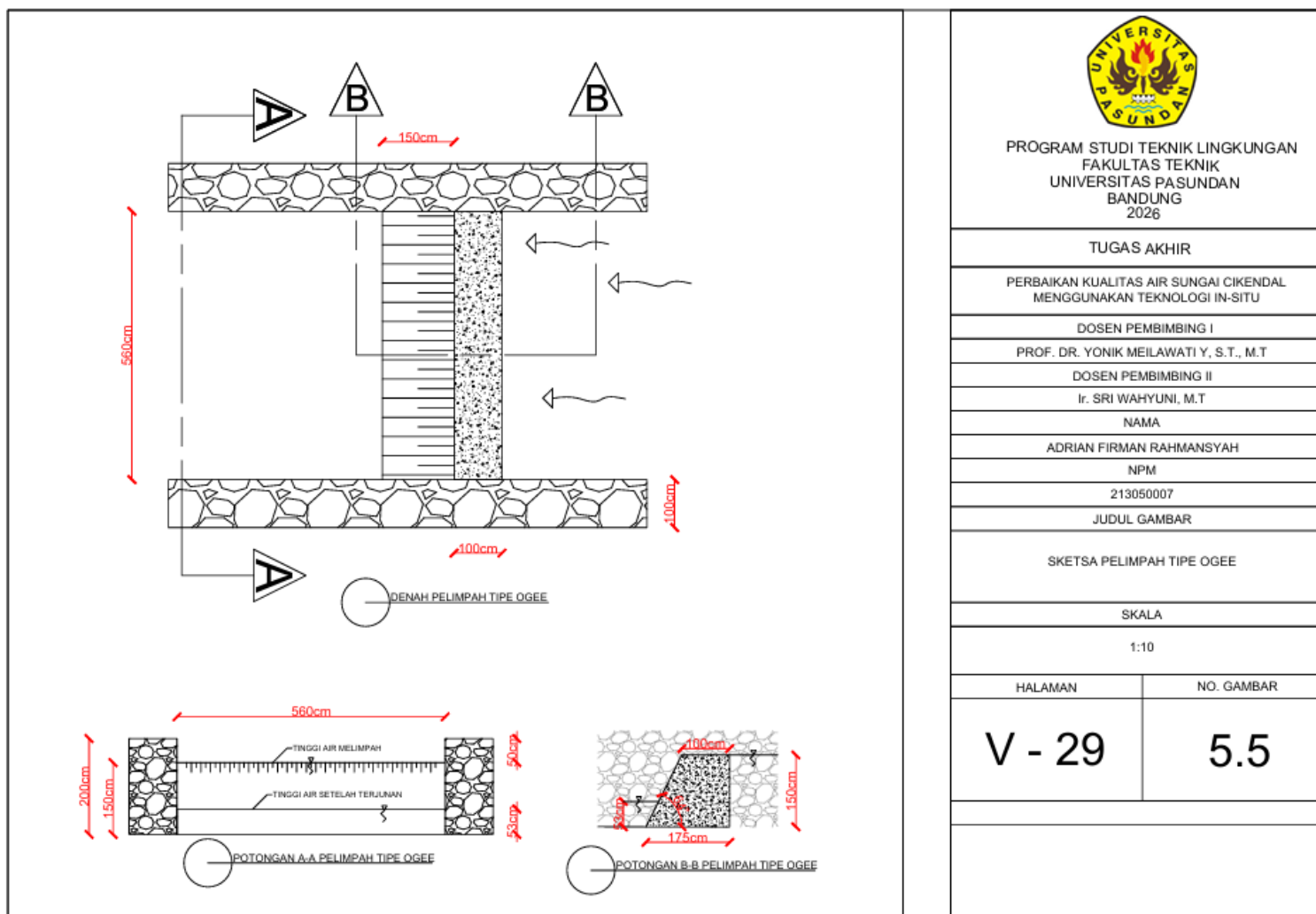
1:50

HALAMAN

NO. GAMBAR

V - 28

5.4



PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2026

TUGAS AKHIR

PERBAIKAN KUALITAS AIR SUNGAI CIKENDAL
MENGGUNAKAN TEKNOLOGI IN-SITU

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. YONIK MEILAWATI Y, S.T., M.T

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. SRI WAHYUNI, M.T

NAMA

ADRIAN FIRMAN RAHMANSYAH

NPM

213050007

JUDUL GAMBAR

SKETSA PELIMPAH TIPE OGEE

SKALA

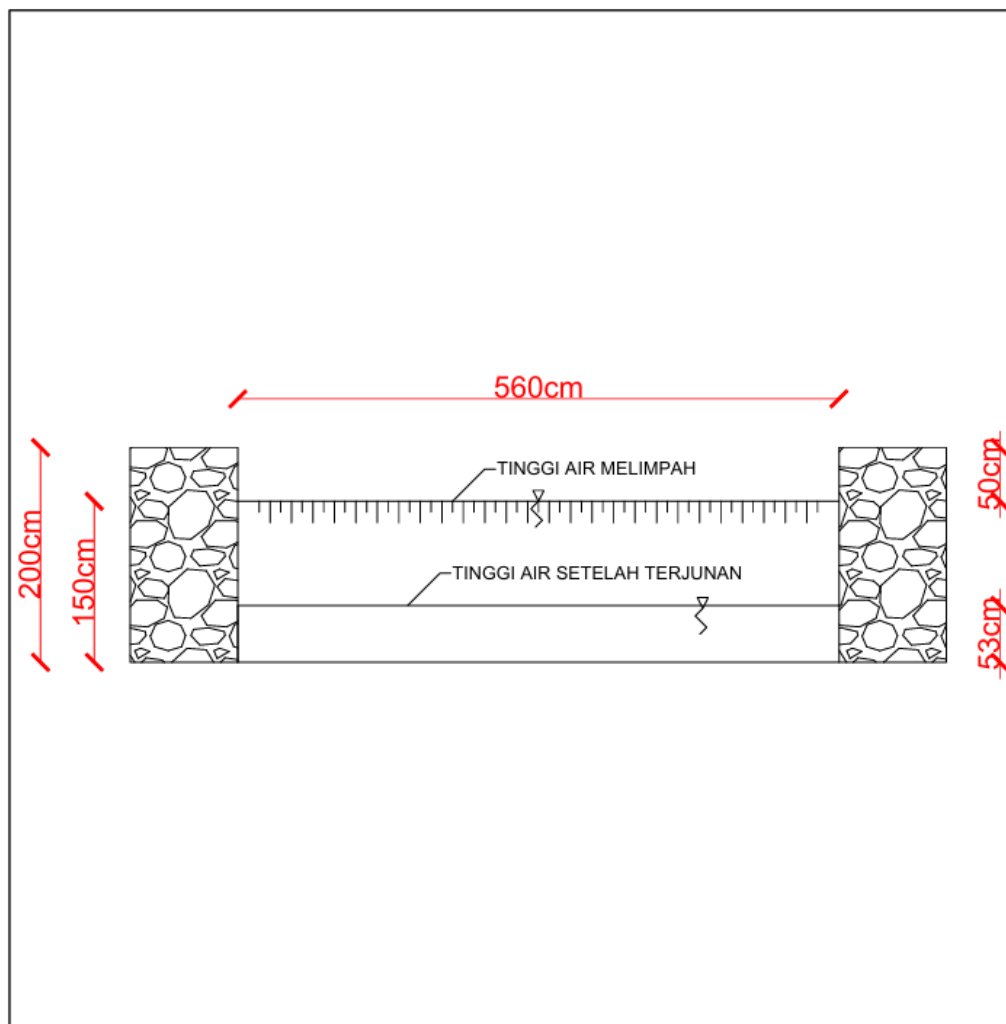
1:10

HALAMAN

NO. GAMBAR

V - 29

5.5



PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2026

TUGAS AKHIR

PERBAIKAN KUALITAS AIR SUNGAI CIKENDAL
MENGUNAKAN TEKNOLOGI IN-SITU

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. YONIK MEILAWATI Y, S.T., M.T

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. SRI WAHYUNI, M.T

NAMA

ADRIAN FIRMAN RAHMANSYAH

NPM

213050007

JUDUL GAMBAR

POTONGAN A - A SKETSA PELIMPAH TIPE OGEE

SKALA

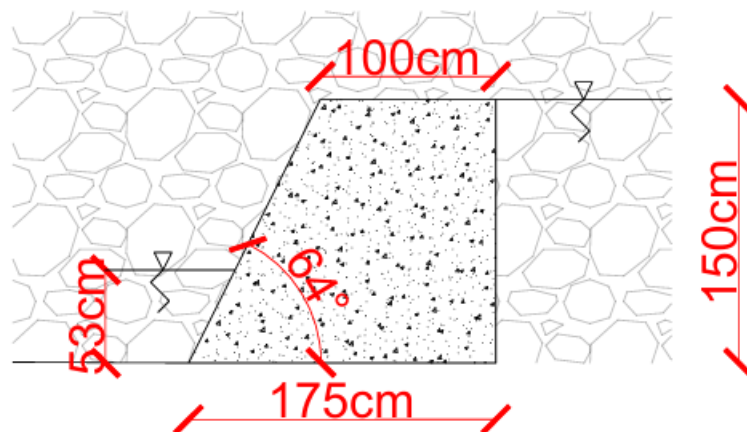
1:5

HALAMAN

NO. GAMBAR

V - 30

5.6



PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2026

TUGAS AKHIR

PERBAIKAN KUALITAS AIR SUNGAI CIKENDAL
MENGUNAKAN TEKNOLOGI IN-SITU

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. YONIK MEILAWATI Y, S.T., M.T

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. SRI WAHYUNI, M.T

NAMA

ADRIAN FIRMAN RAHMANSYAH

NPM

213050007

JUDUL GAMBAR

POTONGAN B - B SKETSA PELIMPAH TIPE OGEE

SKALA

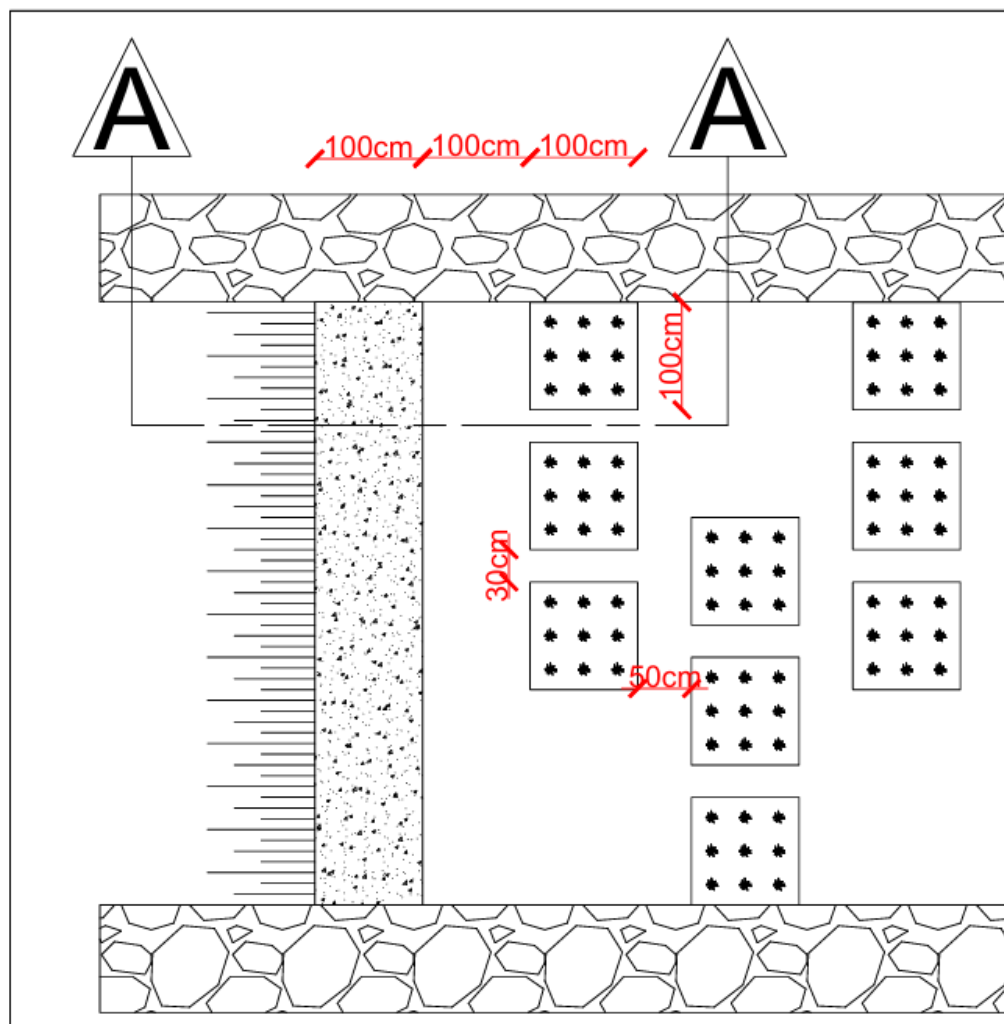
1:3

HALAMAN

NO. GAMBAR

V - 31

5.7



PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2026

TUGAS AKHIR

PERBAIKAN KUALITAS AIR SUNGAI CIKENDAL
MENGGUNAKAN TEKNOLOGI IN-SITU

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. YONIK MEILAWATI Y, S.T., M.T

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. SRI WAHYUNI, M.T

NAMA

ADRIAN FIRMAN RAHMANSYAH

NPM

213050007

JUDUL GAMBAR

DENAH BENDUNGAN DAN FLOATING TREATMENT
WETLAND & BIOCORD SUNGAI CIKENDAL

SKALA

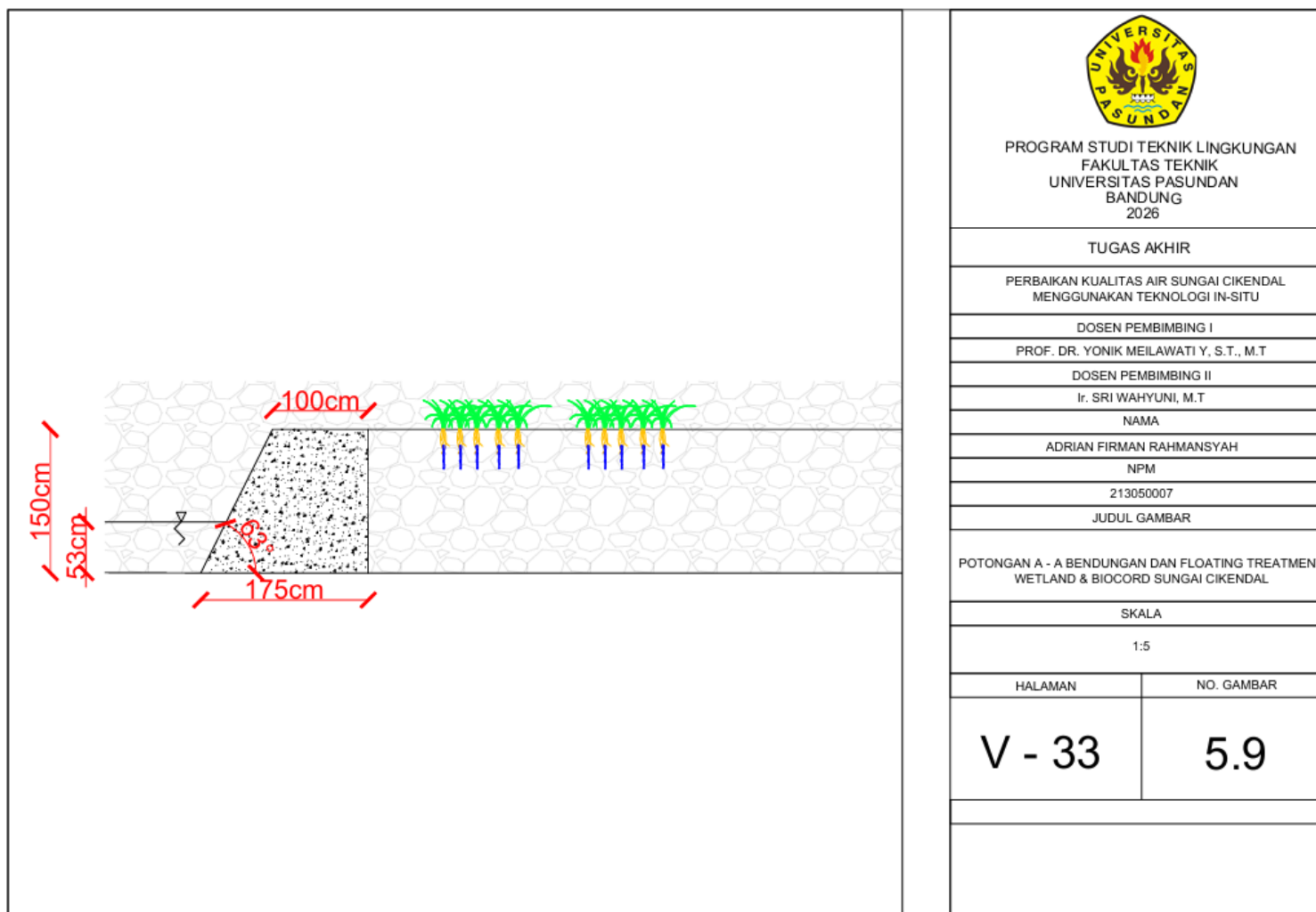
1:5

HALAMAN

NO. GAMBAR

V - 32

5.8



5.6.4 Perhitungan Dimensi *Floating Treatment Wetland* (FTW) dan *Biocord*

a. Luas Permukaan Yang Dibutuhkan

konversi debit ke satuan perhari

$$\begin{aligned} Q \text{ perhari} &= 0,143 \text{ m}^3/\text{s} \times 43.200 \text{ s/hari} \\ &= 6.177,6 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Luas permukaan minimal FTW:

0,1 – 0,3 m³/m².hari (Pusparinda & Santoso, 2016)

$$A = (6.177,6 \text{ m}^3/\text{hari}) / (0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}) = 20.592 \text{ m}^2$$

Luas Bendung:

$$735 \times 5,6 = 4.116 \text{ m}^2$$

$$4.116 \text{ m}^2 < 41.184 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{HLR aktual} &= (6.177,6 \text{ m}^3/\text{hari}) / (4.116 \text{ m}^2) \\ &= 1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} \end{aligned}$$

b. Menghitung dimensi teknologi

Asumsi:

Dalam memudahkan maintenance dan efektivitas: 1 m x 1 m = 2 m²/unit

c. Menghitung unit yang dibutuhkan

$$\text{Luas bendung} = 735 \text{ m} \times 5,6 \text{ m} = 4.116 \text{ m}^2$$

Surface coverage 5-50% (Pusparinda & Santoso, 2016)

$$\begin{aligned} \text{Luas FTW + biocord} &= 4.116 \text{ m}^2 \times 50\% \\ &= 2.058 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2.058 m² adalah batas maksimum area yang diizinkan tertutup oleh modul FTW biocord sesuai kriteria *surface coverage*

d. Menghitung jumlah tanaman dan biocord yang diperlukan

Untuk FTW berukuran 1m x 1m

Jarak antar tanaman untuk FTW

- Dari tepi ke tanaman = 12,5 cm
- Jarak antar tanaman = 20 cm -25 cm (Headly & Tanner, 2012).

Pakai Jarak 25 cm x 25 cm:

Grid unit 1 FTW (1 m x 1 m)

$$\begin{aligned} \text{- Arah panjang} &= \frac{(100 \text{ cm} - 2(12,5))}{25} \\ &= 3 \text{ kolom} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Arah Lebar} &= \frac{(100 \text{ cm} - 2(12,5))}{25} \\
 &= 3 \text{ baris}
 \end{aligned}$$

Karena di setiap jarak 25 cm akan dipasang biocord, sehingga jarak tanaman dan utas tali yaitu 25 cm x 25 cm dengan jumlah biocord yang sama dengan tanaman yaitu 9 utas tali.

Berikut adalah tabel yang menunjukkan jenis tanaman yang akan digunakan pada *Floating Treatment Wetland* ditunjukkan pada **Tabel 5.6**

Tabel 5.6 Jenis dan Fungsi Tanaman yang Digunakan

Jenis	Fungsi	Gambar Tanaman
<i>Canna indica</i> (Bunga Tasbih)	Menurunkan kadar BOD, COD, TSS dan Amonia	
<i>Chrysopagon zizanioides</i> (Vetiver)	Menurunkan kadar BOD, COD, TSS dan Amonia	
<i>Phragmites karka</i> (perumpung)	Menurunkan <i>fecal coliform</i>	
Biocord	Memaksimalkan penyisihan BOD, dan COD	

e. Perhitungan Layout zig-zag

- Lebar sungai 5,6 meter dan lebar modul 1 meter
- Lebar yang digunakan FTW + Biocord:
(jumlah modul x lebar modul) + (jumlah celah modul x lebar jarak baris) + jarak tepi kiri + jarak tepi kanan
- 3 kolom per baris $= (3 \times 1) + (2 \times 0,3) + 1 + 1 = 5,6 \text{ m}$
- Jarak antar baris (pitch) $= 1 \text{ m (panjang modul)} + (0,3 \text{ m jarak antar baris})$
 $= 1,3 \text{ m}$
- Jumlah baris $= \frac{735 \text{ m} - 1 \text{ m (jarak awal)} - 1 \text{ m (modul terakhir)}}{1,3}$
 $= 564 \text{ baris}$
- Total layout $= 564 \times 3 \text{ kolom}$
 $= 1.692 \text{ modul}$
- Luas aktual $= A \text{ aktual} / A \text{ sungai}$
 $= \frac{1.692}{4.116}$
 $= 0,41 \% \text{ (memenuhi syarat } < 50\%)$
- Berdasarkan jumlah modul actual 1.692 modul, jumlah tanaman yang dibutuhkan secara keseluruhan Adalah
9 tanaman per unit x 1.692 FTW = 15.228 jenis tanaman yang dibutuhkan

f. Menentukan struktur modul

a. Tanaman

Secara umum, *Floating Treatment Wetland* menggunakan sistem hidroponik. Dalam perencanaan ini menggunakan tiga tanaman yaitu *Canna Indica* (Bunga Tasbih), *Chrysopagon ziznioides* (Vetiver), *Phragmites karka* (Perumpung).

b. Media Tanam

Prinsip apung FTW ini menggunakan hukum archimides. Terdapat dua pendekatan yang dilakukan untuk FTW ini mengapung yaitu dengan penggunaan media tanam apung (*bouyant material*) atau penggunaan bingkai apung (*bouyant frame*). Penggunaan pipa pvc

dan bambu akan lebih efektif digunakan sebagai rangkaian apung di Indonesia. Adapun beberapa media tanam yang dapat diaplikasikan untuk FTW, antara lain sekam padi, *cocopeat*, dan *rockwool*. Syarat penting untuk media tanam FTW adalah harus ringan dan porus sehingga mampu melarutkan nutrisi dengan baik. Pada perencanaan ini menggunakan media yaitu netpot dengan diameter 10 cm, tinggi 8 cm, dan media tanam *rockwool* dengan tebal 5 cm (Pusparinda & Santoso, 2016).

- Netpot dan *Rockwool*

Netpot = Diameter 10 cm, tinggi 8 cm

Rockwool = Ketebalan 5 cm

Volume *rockwool* per netpot

$$V = \pi \times r^2 \times t = 3,14 \times 5^2 \times 5 = 392,5 \text{ cm}^3$$

- Bulk density *rockwool*

$$= 60 \text{ kg/m}^3 = 0,06 \text{ g/cm}^3 \text{ (Headly \& Tanner, 2012).}$$

- Berat *rockwool* per netpot

$$W_{\text{rockwool/netpot}} = 392,5 \times 0,06 = 23,6 \text{ g}$$

- Berat *rockwool* per unit FTW (9 netpot)

$$W_{\text{rockwool/unit}} = 9 \times 23,6$$

$$= 212,4 \text{ g}$$

$$= 0,212 \Rightarrow 0,21 \text{ kg}$$

- c. Berat rata rata tanaman

Menggunakan 3 jenis tanaman berbeda dengan jumlah penempatan berbeda:

Jumlah unit $\times$ berat tanaman

- *Canna indica* = $3 \times 50\text{g} = 150\text{g}$

- *Chrysipigon zizanioides* = $3 \times 60\text{g} = 180\text{g}$

- *Typha angustifolia* = $3 \times 80\text{g} = 240\text{g}$

$$= 150\text{g} + 180\text{g} + 240\text{g} = 570\text{g} = 0,57 \text{ kg}$$

- Total berat tanaman $\times$ jumlah netpot unit (9)

$$= 0,57 \times 9 = 5,13 \text{ kg}$$

d. Total beban per unit FTW

- *Rockwool* (9 netpot $\times$ 23,6g) = 0,21 Kg

- Berat total rata rata tanaman = 4,92 Kg

$$\text{Total per unit FTW} = 0,21 + 4,92 = 5,13 \text{ kg}$$

e. Biocord

Rata – rata berat biocord per utas tali adalah 150g

Berat rata – rata biocord per modul adalah 1,35 kg

f. Beban total 1 modul tanpa pipa

$$= 5,13 \text{ kg} + 1,35 \text{ kg}$$

$$= 6,48 \text{ kg}$$

g. Perhitungan daya apung pipa

Berat total keseluruhan modul

$$W_{\text{total tanpa pipa}} = 6,48 \times 624 = 4.043,52 \text{ Kg}$$

Volume pipa yang diperlukan

- Rasio terbenam = 70% = 0,7

- $\rho_{\text{air}} = 1.000 \text{ kg/m}^3$

$$V_{\text{diperlukan}} = \frac{W_{\text{total}}}{\rho_{\text{air}} \times f} = \frac{4.043,52}{1000 \times 0,7} = \frac{4.043,52}{700}$$

$$= 5,77 \text{ m}^3$$

- Permodul

$$V_{\text{diperlukan/modul}} = \frac{5,77}{624} = 0,00925 \text{ m}^3$$

h. Diameter ideal dari volume yang diperlukan

- Hitung luas penampang:

$$A = \frac{V}{L} = \frac{0,00925}{7} = 0,0132 \text{ m}^2$$

- Rumus volume silinder :

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

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,0132}{3,14}} = \sqrt{\frac{0,0528}{3,14}} = 0,1297 \text{ m} = 12,97 \text{ cm}$$

Pemilihan pipa standar

Diameter yang didapat 12,67 cm

Pipa yang dipilih adalah pipa ukuran 5inch => D = 14,13

Berat pipa = 20,5 kg

Total beban keseluruhan = beban modul tanpa pipa +

berat pipa = **6,48 + 20,5 = 26,98 Kg**

Panjang pipa per modul = 4 m (untuk 1 modul ftw)

Panjang pipa yang dibutuhkan = dibutuhkan 1.692 modul

maka = 1.692 x 4

Panjang pipa yang dibutuhkan = 6.768 m

Volume aktual pipa inch yang dipilih

○ Rumus volume silinder:

$$V = \frac{\pi \times D^2}{4} \times L = \frac{3,14 \times (0,1413)^2}{4} \times 7 = 0,109 \text{ m}^3$$

Submergence Ratio Aktual (Archimides)

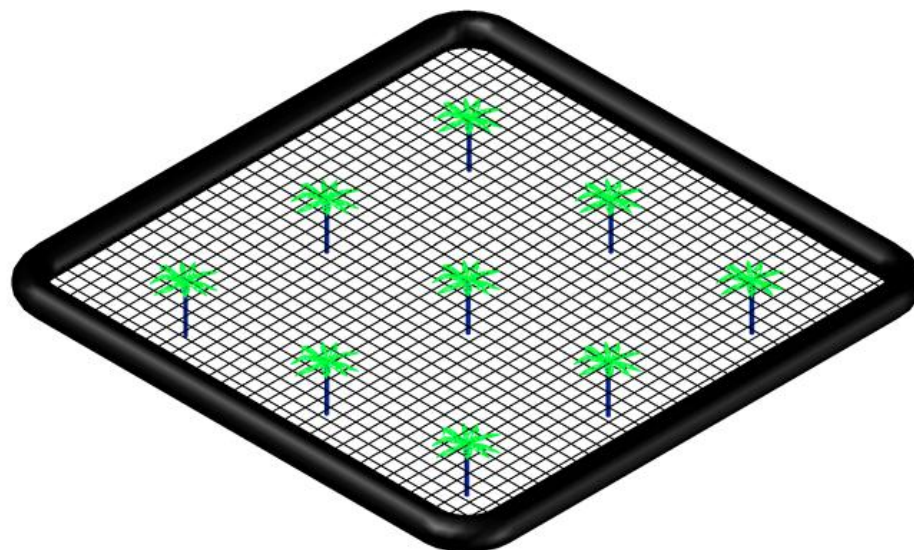
$$\begin{aligned} F_{\text{aktual}} &= \frac{W_{\text{modul total}}}{\rho_{\text{air}} \times V_{\text{aktual}}} = \\ &= \frac{26,98}{1000 \times 0,109} \\ &= 0,24 \\ &= 24\% \end{aligned}$$

Safety Factor (SF)

$$\begin{aligned} SF &= \frac{F_{\text{apung maks}}}{W_{\text{modul}}} = \frac{\rho \times g \times V_{\text{aktual}}}{W_{\text{modul}}} \\ SF &= \frac{\rho \times V_{\text{aktual}}}{W_{\text{modul}}} = \frac{1000 \times 0,109}{26,98} = 4,04 \end{aligned}$$

⇒ SF = 4,04 sangat aman ((Headly & Tanner, 2012)

Berikut gambar yang menunjukkan detail desain FTW + Biocord, ditunjukkan pada **Gambar 5.10** dan **Gambar 5.11**



PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2026

TUGAS AKHIR

PERBAIKAN KUALITAS AIR SUNGAI CIKENDAL
MENGUNAKAN TEKNOLOGI IN-SITU

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. YONIK MEILAWATI Y., S.T., M.T

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. SRI WAHYUNI, M.T

NAMA

ADRIAN FIRMAN RAHMANSYAH

NPM

213050007

JUDUL GAMBAR

GAMBAR FLOATING TREATMENT WETLAND & BIOCORD

SKALA

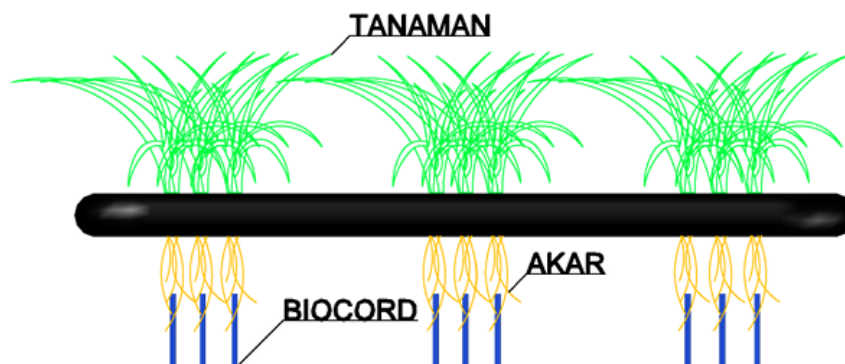
NTS

HALAMAN

NO. GAMBAR

V - 41

5.10



PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2026

TUGAS AKHIR

PERBAIKAN KUALITAS AIR SUNGAI CIKENDAL
MENGUNAKAN TEKNOLOGI IN-SITU

DOSEN PEMBIMBING I

PROF. DR. YONIK MEILAWATI Y. S.T., M.T

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. SRI WAHYUNI, M.T

NAMA

ADRIAN FIRMAN RAHMANSYAH

NPM

213050007

JUDUL GAMBAR

TAMPAK SAMPING FLOATING TREATMENT WETLAND &
BIOCORD

SKALA

NTS

HALAMAN

NO. GAMBAR

V - 42

5.11

- g. Rangka dan media apung
 - 4 pipa PVC = 100 cm horizontal + horizontal (*frame*)
 - Diameter PVC = 5 *inch* = 14,13 cm
 - Diameter Mesh galvanis FTW = 90mm

h. *Anchor* dengan sistem tali:

Berdasarkan karakteristik hidrolika sungai yang memiliki debit dan kecepatan aliran relatif kecil, penggunaan sistem tali *polyethylene* dipilih sebagai penambatan unit FTW dan Biocord yang praktis. Tali tersebut diikatkan pada setiap baris modul, kemudian dihubungkan ke sekrup tertutup yang tertanam pada sisi kanan dan kiri dinding sungai. sistem ini dirancang untuk meminimalkan pergeseran posisi modul akibat gangguan hidrodinamis seperti arus, gelombang, dan fluktuasi elevasi air, guna memastikan teknologi ini tetap berada di lokasi yang telah ditentukan secara konsisten. (Pusparinda & Santoso, 2016; Prajapati *et al.*, 2017).

5.6.5 Pengelolaan pada *Floating Treatment Wetland* dan Biocord

Berikut pengelolaan umum yang dapat digunakan pada modul *Floating Treatment Wetland* (FTW) dan biocord, sebagai berikut:

- a. Pemeliharaan struktural modul apung

Memastikan kekuatan sambungan antara media tanam (netpot), dan bingkai pvc sebagai media apung. Pemeriksaan berkala juga perlu dilakukan pada sistem penambatan tali *polyethylene* untuk memastikan seluruh rangkaian tidak bergeser dari posisi penempatan akibat fluktuasi arus sungai (Headly & Tanner, 2012).
- b. Monitoring kualitas air berkala

Melakukan pengambilan sampel air secara berkala setiap 1 bulan sekali pada titik *inlet* dan *outlet* modul. Hal ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi dari penyisihan polutan target yang dilakukan oleh FTW dan biocord

c. Manajemen vegetasi FTW

Pemilihan umur tanaman untuk tahap awal pembuatan FTW perlu diperhatikan. Vegetasi yang cocok untuk aplikasi reaktor FTW ditentukan dengan melihat kemampuan penyisihan pencemar rata-rata pada umur tanaman 3-6 minggu yang terbesar untuk setiap m³ limbah perhari (Lestari *et al.*,2013). Melakukan pembibitan terlebih dahulu sebelum dipindahkan kedalam badan air.

d. Pengelolaan dan pembersihan media Biocord

Pembersihan dilakukan secara hati-hati agar sebagian biofilm tetap melekat pada permukaan media, sehingga aktivitas mikroorganisme dapat segera kembali berlangsung setelah proses pemeliharaan selesai. Pemeriksaan media disarankan dilakukan secara berkala setiap 1–2 bulan, sedangkan pembersihan dilakukan sesuai kondisi operasional atau ketika terjadi penurunan kinerja sistem yang ditandai dengan berkurangnya kualitas efluen, meningkatnya kehilangan tinggi tekan (*head loss*), atau tersumbatnya media. Apabila media Biocord mengalami kerusakan fisik atau tidak lagi mampu mendukung pertumbuhan biofilm secara optimal, media perlu diganti dengan yang baru. Pengelolaan dan pembersihan yang dilakukan secara rutin akan menjaga stabilitas proses biologis, meningkatkan efisiensi penyisihan pencemar, serta memperpanjang umur pakai media Biocord.

BAB VI

SPESIFIKASI TEKNIS DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA

6.1 Spesifikasi Teknis

Spesifikasi teknis merupakan acuan dasar yang digunakan sebagai pedoman dalam pelaksanaan konstruksi dan pemasangan seluruh komponen teknologi pengolahan air pada Sungai Cikendal. Spesifikasi ini disusun berdasarkan hasil analisis hidrolika, perhitungan struktural, serta kajian terhadap kebutuhan teknis dari masing-masing unit pengolahan yang direncanakan, yaitu bendung penahan air, sistem pelimpah tipe ogee, unit *Floating Treatment Wetland* (FTW), dan media biocord.

6.2 Uraian Pekerjaan

Uraian pekerjaan dalam perencanaan teknologi perbaikan kualitas air Sungai Cikendal ini disusun secara sistematis mengikuti tahapan pelaksanaan konstruksi yang terstruktur. Secara garis besar, lingkup pekerjaan dibagi menjadi tiga tahapan utama, yaitu pekerjaan awal (persiapan), pekerjaan struktur bendung dan sistem pelimpah, serta pemasangan unit Floating Treatment Wetland dan biocord. Setiap tahapan memiliki ruang lingkup, metode kerja, dan standar kualitas tersendiri yang harus dipenuhi selama proses pelaksanaan.

6.2.1 Pekerjaan Awal

Pekerjaan awal merupakan tahapan paling mendasar yang harus diselesaikan sebelum pelaksanaan konstruksi fisik dimulai. Tahapan ini mencakup seluruh kegiatan persiapan lapangan yang bertujuan untuk memastikan kesiapan lokasi, sumber daya, serta administrasi proyek sebelum pekerjaan inti berlangsung. Kegiatan yang dilaksanakan pada tahap ini meliputi:

a. Mobilisasi dan Demobilisasi Alat

Seluruh peralatan kerja yang dibutuhkan, seperti alat berat, peralatan pengecoran, dan peralatan pemasangan, dimobilisasi ke lokasi proyek. Pada akhir pekerjaan, seluruh alat dikembalikan (demobilisasi) ke tempat semula. Proses ini mencakup koordinasi

dengan pihak pengelola jalan dan izin penggunaan jalur transportasi material.

b. Pembersihan Lokasi dan Pengukuran Lapangan

Lokasi sepanjang 735 m koridor sungai dibersihkan dari vegetasi liar, sampah, dan hambatan fisik lainnya yang dapat mengganggu proses konstruksi. Setelah pembersihan, dilakukan pengukuran dan pematokan (staking out) menggunakan alat theodolite atau waterpass untuk menetapkan as-as bangunan sesuai gambar rencana.

c. Pemasangan Papan Nama Proyek

Papan nama proyek dipasang di lokasi yang mudah terlihat, memuat informasi proyek meliputi nama kegiatan, nilai kontrak, waktu pelaksanaan, dan instansi pengguna anggaran, sesuai ketentuan yang berlaku.

d. Pembuatan Direksi Keet dan Gudang Material

Direksi keet berfungsi sebagai kantor lapangan bagi konsultan pengawas dan kontraktor pelaksana. Gudang material dibangun secara terpisah untuk menyimpan material konstruksi agar terlindung dari cuaca dan kehilangan. Kedua bangunan sementara ini dibongkar setelah seluruh pekerjaan selesai.

6.2.2 Pekerjaan Struktur Bendung dan Sistem Pelimpah

Tahap ini merupakan inti dari pekerjaan konstruksi sipil yang mencakup pembangunan struktur bendung penahan air beserta sistem pelimpah tipe ogee sebagai satu kesatuan sistem hidraulis.

a. Galian Tanah Pondasi

Pekerjaan dimulai dengan galian tanah pada lokasi yang telah ditentukan sesuai gambar rencana. Galian dilakukan menggunakan alat berat (excavator) hingga elevasi dasar pondasi yang direncanakan. Tanah hasil galian yang tidak digunakan dibuang ke lokasi yang telah ditentukan dan tidak mengganggu aliran sungai.

b. Urugan Pasir Bawah Pondasi

Setelah galian mencapai kedalaman yang ditentukan, dilakukan urugan pasir setebal yang direncanakan dan dipadatkan secara merata. Lapisan

pasir berfungsi sebagai leveling layer sekaligus drainase pondasi untuk mencegah pengangkatan akibat tekanan air tanah (uplift pressure).

c. Pekerjaan Beton Dinding Bendung (K-225)

Pengecoran dinding bendung menggunakan beton mutu K-225 dengan dimensi penampang trapesoid, lebar atas 1,0 m dan lebar dasar 1,75 m, serta tinggi total 2,0 m. Pengecoran dilakukan secara bertahap dengan memperhatikan waktu pengerasan beton (curing time) untuk menghindari retakan termal. Seluruh pekerjaan beton harus memenuhi ketentuan SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural.

d. Pekerjaan Bekisting

Bekisting menggunakan papan multipleks atau baja yang dipasang sesuai profil rencana dinding bendung. Bekisting harus kuat, kaku, dan kedap agar tidak terjadi kebocoran adukan beton. Pembongkaran bekisting dilakukan setelah beton mencapai kekuatan yang cukup, minimal setelah 24 jam untuk sisi vertikal.

e. Pemasangan (Besi Tulangan)

Pemasangan besi tulangan menggunakan besi diameter D16 dengan jarak dan pola sesuai gambar detail struktur. Seluruh sambungan tulangan menggunakan kawat bendrat dan memenuhi persyaratan panjang penyaluran sesuai standar yang berlaku.

f. Pekerjaan Spillway Ogee (K-250)

Setelah dinding bendung selesai, dilanjutkan dengan pembangunan pelimpah tipe ogee menggunakan beton mutu K-250. Profil ogee dibentuk menggunakan bekisting khusus yang telah dicetak sesuai dengan koordinat geometri kurva ogee hasil perhitungan hidraulika. Pemasangan waterstop karet lebar 15 cm dipasang pada setiap sambungan konstruksi untuk mencegah rembesan air.

g. Finishing Permukaan Beton

Seluruh permukaan beton bendung dan pelimpah yang terekspos dirapikan (finishing) menggunakan acian halus atau waterproof coating untuk meningkatkan ketahanan terhadap abrasi aliran air dan perembesan.

6.2.3 Unit *Floating Treatment Wetland* dan Biocord

Pemasangan unit FTW dan biocord dilaksanakan setelah struktur bendung selesai dibangun dan permukaan air bendung telah mencapai elevasi operasional yang direncanakan. Tahapan ini bersifat modular, sehingga pemasangan dapat dilakukan secara bertahap sesuai dengan ketersediaan material dan kondisi lapangan.

a. **Fabrikasi Modul FTW**

Setiap modul FTW berukuran $1 \times 1 \text{ m}^2$ dirakit di luar lokasi (*pre-fabrication*) sebelum dipasang di atas permukaan air. Proses fabrikasi meliputi pemotongan pipa PVC diameter 5 inci sesuai panjang yang direncanakan (100 cm per sisi), perangkaian menjadi bingkai persegi, pemasangan mesh kawat galvanis di atas bingkai sebagai landasan, serta pemasangan netpot yang telah diisi rockwool pada titik-titik yang telah ditentukan (9 netpot per modul). Seluruh sambungan pipa menggunakan lem PVC dan dikuatkan dengan kawat pengikat untuk memastikan kekakuan struktur modul.

b. **Penanaman pada Modul FTW**

Setelah modul selesai dirakit, dilakukan penanaman tiga jenis tanaman akuatik pada setiap modul, yaitu *Canna indica*, *Chrysopogon zizanioides*, dan *Typha angustifolia*, masing-masing tiga tanaman per modul. Bibit tanaman yang digunakan harus dalam kondisi sehat, bebas hama penyakit, dan telah melewati proses aklimatisasi selama minimal 7 hari sebelum pemasangan di lapangan.

c. **Pemasangan Modul FTW di Permukaan Air**

Modul FTW yang telah dirakit dan ditanami diturunkan ke permukaan air bendung secara hati-hati. Penempatan dilakukan secara berurutan mulai dari arah hulu menuju hilir. Setiap modul ditambatkan menggunakan tali polyethylene yang dihubungkan ke titik-titik sekrup tanam yang telah dipasang pada dinding sungai, dengan jarak antarsekrup disesuaikan dengan konfigurasi modul agar posisi FTW tetap stabil dan tidak bertumpukan. Total modul yang dipasang adalah 1.692 unit.

d. Pemasangan Biocord

Biocord dipasang secara vertikal menggantung di bawah setiap modul FTW, dengan kedalaman minimum 1 m dari permukaan air. Pemasangan dilakukan menggunakan rangka modul biocord yang dihubungkan ke bagian bawah bingkai pipa FTW. Orientasi pemasangan sejajar dengan arah aliran air untuk memaksimalkan luas kontak antara media biofilm dengan aliran air yang mengandung polutan. Setiap modul FTW dilengkapi dengan satu modul biocord, sehingga total biocord yang dipasang adalah **1.692** unit

e. Pengujian Operasional Awal

Setelah seluruh modul FTW dan biocord terpasang, dilakukan pengujian operasional awal (*commissioning*) yang meliputi pengecekan kestabilan apung modul, pemeriksaan kondisi penambatan, serta pengukuran kualitas air inlet dan outlet sebagai data *baseline* awal operasi. Pengujian ini dilakukan bersama tim konsultan pengawas dan perwakilan pengguna anggaran.

6.3 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB) disusun berdasarkan volume pekerjaan yang telah dihitung dari hasil perencanaan teknis, dengan menggunakan harga satuan yang mengacu pada harga material dan upah tenaga kerja yang berlaku di wilayah lokasi proyek. Penyusunan RAB ini bertujuan untuk memberikan gambaran kebutuhan biaya yang diperlukan dalam pelaksanaan seluruh lingkup pekerjaan, mulai dari pekerjaan persiapan hingga pemasangan unit pengolahan.

RAB disusun secara rinci per item pekerjaan dan dikelompokkan berdasarkan jenis pekerjaan, kemudian direkapitulasi untuk mendapatkan total biaya keseluruhan. Komponen biaya yang diperhitungkan mencakup biaya langsung (*direct cost*) yang meliputi material, upah tenaga kerja, dan peralatan, serta biaya tidak langsung (*indirect cost*) yang meliputi overhead kontraktor, biaya konsultan perencanaan dan pengawasan, serta Pajak Pertambahan Nilai (PPN) sebesar 11% sesuai peraturan perpajakan yang berlaku.

Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada perencanaan pembangunan bendung dan sistem Floating Treatment Wetland (FTW) dengan

Biocord dilakukan berdasarkan harga satuan yang mengacu pada harga pasar material, peralatan, dan upah tenaga kerja yang berlaku pada tahun penyusunan. Harga tersebut diperoleh melalui survei harga di toko bangunan, distributor material, serta referensi harga pasar daring yang relevan. Penggunaan harga pasar bertujuan untuk memperoleh estimasi biaya yang realistis dan mendekati kondisi aktual pelaksanaan pekerjaan. Oleh karena itu, nilai RAB yang disajikan merupakan perkiraan biaya pelaksanaan yang dapat berubah mengikuti fluktuasi harga material, upah tenaga kerja, kondisi lokasi pekerjaan, serta kebijakan ekonomi yang berlaku pada saat pelaksanaan konstruksi.

Tabel 6.1 Rencana Anggaran Biaya Perencanaan Perbaikan Sungai Cikendal

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Pekerjaan Persiapan					
1	Mobilisasi & demobilisasi alat	LS	1	15.000.000	15.000.000
2	Pembersihan lokasi & pengukuran	m ²	735	25.000	18.375.000
3	Pemasangan papan nama proyek	Unit	1	2.500.000	2.500.000
4	Direksi keet & gudang material	LS	1	10.000.000	10.000.000
Subtotal					45.875.000
Pekerjaan Bendung					
1	Galian tanah pondasi	m ³	18	85.000	1.530.000
2	Urugan pasir bawah pondasi	m ³	2	120.000	240.000
3	Pekerjaan beton K-225 (dinding bendung)	m ³	16	1.200.000	19.200.000
4	Bekisting dinding bendung	m ²	30	180.000	396.900.000
5	Pembesian (besi tulangan D16)	kg	2.000	18.000	36.000.000
6	Pekerjaan finishing permukaan beton	m ²	20	75.000	1.500.000
Subtotal					63.870.000
Pekerjaan <i>Spillway</i> (Pelimpah ogee)					
1	Pekerjaan Beton K-250 profil ogee	m ³	58,2	1.350.000	78.570.000

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
2	Bekisting profil ogee	m ²	94,1	350.000	32.935.000
3	Pembesian <i>spillway</i>	kg	2.910	18.000	52.380.000
4	<i>Waterstop</i> karet 15 cm	m	11,2	125.000	1.400.000
	Subtotal				165.735.000
Pekerjaan <i>Floating Treatment Wetland</i>					
1	Pipa PVC 5 inch (rangka modul FTW)	m	2.058	85.000	174.930.000
2	Mesh kawat <i>gaslvanish</i> 90mm	m	564	95.000	53.580.000
3	Netpot plastik diameter 5 cm	pcs	15.228	3.500	53.298.000
4	Rockwool growing media	kg	436	45.000	19.620.000
5	Tanaman Canna indica	pcs	5.076	15.000	76.140.000
6	Tanaman Chrysopogon zizanioides	pcs	5.076	12.000	60.912.000
7	Tanaman Typha angustifolia	pcs	5.076	18.000	91.368.000
8	Tali Polythelene sistem anchor	m	4.950	25.000	123.750.000
9	Sekrup tanam dinding sungai (anchor point)	pcs	120	85.000	10.200.000
10	Upah perakitan & pemasangan modul FTW	unit	1.692	150.000	84.600.000
	Subtotal				748.668.000
Pekerjaan Biocord					

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Media Biocord (utas tali biofilm)	m	15.228	35.000	532.980.000
2	Rangka modul biocord	unit	1.692	75.000	126.900.000
3	Upah pemasangan biocord	unit	1.692	50.000	84.600.000
Subtotal					744.480.000

Tabel 6.2 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

No	Uraian Pekerjaan	Jumlah Harga (Rp)
1	Pekerjaan Persiapan	45.875.000
2	Pekerjaan Bendung	63.870.000
3	Pekerjaan <i>Spillway</i> (Pelimpah ogee)	165.285.000
4	Pekerjaan <i>Floating Treatment Wetland</i>	748.398.000
5	Pekerjaan Biocord	744.480.000
Total		1.024.172.480

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan yang dilakukan, sistem kombinasi *Floating Treatment Wetland* (FTW) + biocord, sebagai salah satu teknologi pengendalian pencemaran air Sungai Cikendal, maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Lokasi perencanaan teknologi perbaikan kualitas air Sungai Cikendal ditetapkan di titik hilir Jl. Sadang Buntu. Lokasi ini dipilih karena memiliki akses jalan yang memadai untuk mendukung tahap pembangunan, serta lebar yang lebih dan ketinggian dinding sungai yang lebih besar dibanding titik sampling lainnya sehingga sesuai untuk penempatan teknologi
2. Hasil uji kualitas air pada segmen hilir Sungai Cikendal menunjukkan bahwa terdapat delapan parameter yang melampaui baku mutu air kelas II sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, yaitu Total Suspended Solid (TSS), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Oksigen Terlarut (DO), Nitrit, Amonia, Total Fosfat sebagai P, Fecal Coliform, dan Coliform. Kondisi ini mengindikasikan bahwa Sungai Cikendal telah mengalami pencemaran organik dan mikrobiologi yang memerlukan penanganan melalui teknologi perbaikan kualitas air.
3. Teknologi yang dipilih untuk memperbaiki kualitas air Sungai Cikendal adalah kombinasi *Floating Treatment Wetland* (FTW) dan Biocord. Pemilihan ini didasarkan pada hasil analisis diagram alir yang mempertimbangkan efisiensi penyisihan parameter pencemar, kemudahan perawatan, serta kesesuaian penerapan secara *in situ* pada kondisi debit aliran Sungai Cikendal yang relatif kecil. Penambahan Biocord sebagai *Biofilm Attachment Surface* (BAS) pada bagian bawah rakit FTW bertujuan memperluas area pertumbuhan

biofilm sehingga meningkatkan efisiensi penyisihan bahan organik dan nutrisi dibandingkan sistem FTW konvensional.

4. Hasil perhitungan dimensi bendung yang direncanakan diperoleh panjang badan air yang dibendung sebesar 735 m, lebar 5,6 m, tinggi dinding 1,5 m dengan *freeboard* 0,5 m, volume tampungan 6.178 m³, tebal dinding bagian atas 1 m, dan tebal dinding bagian dasar 1,75 m. Analisis stabilitas bendung menunjukkan bendung aman terhadap guling dengan nilai *Safety Factor* (SF) sebesar 2,06 dan aman terhadap geser dengan nilai SF sebesar 2,1, di mana keduanya telah memenuhi syarat minimum yang disyaratkan. Perhitungan dimensi *spillway overflow* tipe *ogee* menghasilkan tinggi air di atas mercu (Hd) sebesar 0,052 m, kecepatan ambang pelimpah 0,49 m/s, dan bilangan Froude sebesar 0,96 yang menunjukkan aliran bersifat subkritis dan tenang. Konfigurasi muka hulu tegak (90°) dan muka hilir miring dengan sudut kemiringan 63,43° dirancang untuk mempertahankan elevasi muka air di hulu sekaligus mengurangi energi aliran di hilir guna meminimalkan potensi gerusan. Modul FTW direncanakan dengan ukuran 1 m x 1 m dengan 9 tanaman dan kombinasi 3 tanaman di setiap modulnya.
5. Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang direncanakan untuk perbaikan kualitas air Sungai Cikendal menggunakan teknologi *Floating Treatment Wetland* + biocord sebesar **Rp. 5.535.038.000**

7.2 Saran

Berdasarkan hasil perencanaan yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat menjadi pertimbangan untuk penelitian dan implementasi selanjutnya, yaitu sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan analisis kondisi hidrologi musiman, khususnya pada musim hujan, untuk memastikan dimensi bendung dan sistem pelimpah mampu menampung fluktuasi debit sungai secara aman tanpa menimbulkan risiko banjir di area hulu.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai jenis dan kombinasi tanaman lain yang berpotensi meningkatkan efisiensi penyisihan

parameter Nitrit, Amonia, dan Total Fosfat, sehingga perbaikan kualitas air dapat menyeluruh

3. Perlu dilakukan pemantauan dan evaluasi kinerja teknologi secara berkala setelah konstruksi terpasang, untuk memastikan efisiensi penyisihan parameter pencemar tetap konsisten memenuhi baku mutu air kelas II sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, serta sebagai dasar perbaikan desain pada penerapan di lokasi lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Afan, M. M., Kurniawan, A. N., Setiawan, Y. A., Wijaya, O. D., & Rohman, M. (2022). Penerapan teknologi filter untuk perbaikan kualitas air Sungai Deket, Kabupaten Lamongan. *Jurnal Pelayanan dan Pengabdian Masyarakat Indonesia (JPPMI)*, 149–157.
- Akhmad, A. G., Darman, S., & Hamsens, W. P. (2021). Removal of total coliform and TSS for hospital wastewater by optimizing the role of *Typha angustifolia* and fine sand–gravel media in horizontal subsurface flow constructed wetland. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 20–31.
- Al Kholif, M., Pungut, & & Nezarudin, S. I. (2023). Penerapan Teknologi Constructed Wetland (CW) dalam Menurunkan Kadar Cemar pada Air Limbah Domestik. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 1–11.
- Anwar, E. N., & Wendi, &. (2020). Pemeriksaan Bilangan Peroksida pada Minyak Goreng yang Sudah Dipakai Beberapa Kali oleh Penjual Gorengan di Simpang Empat Pagar Dewa Kota Bengkulu. *Akademi Farmasi Al-Fatah*, 45-58.
- Ardhani, D. C. (2014). Pengelolaan Sungai Batanghari Kabupaten Dharmasraya Berdasarkan Daya Tampung Beban Pencemaran dengan Metode QUAL2Kw. *Skripsi Universitas Diponegoro*.
- Astuti, D., & & Rosemalia, I. (2022). Review: Penurunan BOD (Biological Oxygen Demand) Limbah Cair Domestik dengan Teknik Fitoremediasi. *Review: Penurunan BOD (Biological Oxygen Demand) Limbah Cair Domestik dengan Teknik Fitoremediasi*, 59-72.
- Aurellyya, A. R. (2022). Unjuk Kerja Hybrid Constructed Wetland Kombinasi dengan Konsorsium Bakteri untuk Removal Kandungan BOD, COD, dan Amonia. *Skripsi Universitas Islam Indonesia*.
- Ayuningtyas, E., Muyasaroh, N., Hermawan, H. B., Arum, I., Susetyaningsih, R., Jumiaty, & & Nurwahid, M. (2023). Pengolahan Limbah Domestik Secara Fitoremediasi Sistem Constructed Wetland dengan Tanaman Hias Iris (*Iris pseudacorus*) dan Melati Air (*Echinodorus palaefolius*). *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 80-87.
- Chairulia, P. A. (2024, September 20). *Antara*. Diambil kembali dari Antaranews: <https://www.antaranews.com/>
- Chandra, R., & & Yadav, S. (2010). Potential of *Typha angustifolia* for Phytoremediation of Heavy Metals from Aqueous Solution of Phenol and Melanoidin. *Ecological Engineering*, 1277–1284.

- Fauzi, R., Tarwaca, E., Putra, S., & Ambarwati, D. E. (2013). Pengayaan Oksigen di Zona Perakaran untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Hasil Selada (*Lactuca sativa* L.) Secara Hidroponik. *Jurnal Vegetalika*, 63-74.
- Febriana, D. S., Darmayanti, L., & Handayani, Y. L. (2022). manfaat Floating Treatment Wetland untuk Pengolahan Air Limbah Penatu. *Techno*, 19–28.
- Filiazati, M., Apriani, I., & Zahara, T. A. (2013). Pengolahan Limbah Cair Domestik dengan Biofilter Aerob Menggunakan Media Bioball dan Tanaman Kiambang. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 1-10.
- Hadi, S. N., & Pungut., &. (2022). Penurunan BOD, COD, dan TSS pada Limbah Domestik Menggunakan Kombinasi Floating Treatment Wetland Dilanjutkan Constructed Wetland. *Jurnal Teknik*, 94–102.
- Headley, T. R., & Tanner, C. C. (2012). Constructed Wetlands with Floating Emergent Macrophytes: An Innovative Stormwater Treatment Technology. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(21), 2261–2310.
- Hendrasarie, N., Putro, R. K., Rosariawari, F., Purnama, Y. S., & Ramlan, R. M. (2022). Efektivitas Penambahan Sludge Zone pada Sequencing Batch Reactor untuk Mengolah Limbah Cair Rumah Makan. *ournal of Research and Technology*, 121-131.
- Hernaningsih, T. (2014). Aplikasi Membrane Bioreactor (MBR) untuk Proses Daur Ulang Air Limbah. *Jurnal Air Indonesia*, 109-118.
- Hidayat, M. S. (2016). Kenyamanan Termal pada Ruang Terbuka Hijau di Jakarta Pusat. *Jurnal Arsitektur*, 1–8.
- Kasman, M., Riyanti, A., Salmariza, & Ridwan, M. (2018). Reduksi Pencemaran Limbah Cair Industri Tahu dengan Tumbuhan Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) dalam Sistem Kombinasi Constructed Wetland dan Filtrasi. *Jurnal Litbang Industri*, 39-46.
- Masyruroh, A., & Ramadhan, A. (2024). Penurunan Beban Pencemar Limbah Cair Rumah Sakit Menggunakan Rancang Moving Bed Biofilter Reactor (MBBR) sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Medis di Provinsi Banten. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Kebijakan Pembangunan Daerah*, 60-77.
- Nathaniel, M., & Arbaningrum, R. (2021). Analisis Desain Hidrolik IPAL Sistem Biocord dalam Mengatasi Pencemaran Air pada Danau Duta Harapan. *Jurnal Proyek Teknik Sipil*, 72–82.
- Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Pusparinda, L., & Santoso, R. I. (2016). Studi Literatur Perencanaan Floating Treatment Wetland di Indonesia. *Jurnal Teknik ITS*, 471–475.
- Rusnam, Puari, A. T., & Yanti, N. R. (2022). Utilisation of Exhausted Coffee Husk as Low-Cost Biosorbent for Adsorption of Pb²⁺. *Tropical Life Sciences Research*, 229–252.

- Salmin. (2005). Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Oseana*, 21–26.
- Sendari, A. A. (n.d.).
- Syafila, M., Setiadi, T., Aditiawati, P., & Elizabeth, H. R. (2003). Kinerja Sequencing Batch Reactor (SBR) Aerob pada Degradasi Glukosan dengan Variasi Rasio Waktu Pengisian terhadap Waktu Retensi. *Jurnal Purifikasi*, 109–114.
- Tara, N., Iqbal, M., Mahmood Khan, Q., & Afzal, M. (2019). Bioaugmentation of Floating Treatment Wetland for the Remediation of Textile Effluent. *Water and Environment Journal*, 124-134.
- Widiyanti, B. L. (2019). Studi Kandungan Bakteri Escherichia coli pada Air Tanah (Confined Aquifer) di Permukiman Padat Desa Dasan Lekong Kecamatan Sukamulya. *Jurnal Geodika*, 1-19.
- Yustiani, Y. M., Wahyuni, S., & Kadir, A. A. (2019). Identifikasi Nilai Laju Deoksigenasi di Daerah Padat Penduduk (Studi Kasus Sungai Cicadas, Bandung). *Journal of Community Based Environmental Engineering and Management*, 9-14.
- Zaman, N., Nasution, N. N., Susilawaty, I. A., Sitorus, E., Rodhiyah, E. M., Syam, M. A., & Haryanti, S. (2023). Manajemen Kualitas Air. *Makassar: Yayasan Kita Menulis*.

L

A

M

P

I

R

A

N