

Pemilihan IPAL *Grey Water* di Rumah Deret Tamansari Kota Bandung

Eka Wardhani, Muhammad Syauqi Rahman*, Yulianti Pratama, Kancitra Pharmawati

Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional Bandung

*Koresponden email: muhammadsyauqirahman@gmail.com

Diterima: 14 Agustus 2025

Disetujui: 17 September 2025

Abstract

The Tamansari Row Houses in Bandung City are part of a relocation and slum revitalization program aimed at providing more organized, healthy, and decent housing for affected communities. Currently, the facility does not have a grey water treatment system. Grey water generated from bathing, laundry, and kitchen activities contains harmful pollutants that could contaminate the Cikapundung River if discharged directly. Therefore, it is necessary to design a grey water treatment plant (WWTP) with the potential reuse of the treated effluent for plant irrigation. The peak grey water flow rate was calculated at 144.872 m³/day, representing 70% of the peak domestic wastewater flow. Grey water characteristics showed a pH of 7.83; BOD of 46.60 mg/L; COD of 134.66 mg/L; TSS of 46 mg/L; oil and grease of 4 mg/L; ammonia of 6.28 mg/L; and total coliform of 8,400 counts/100 mL. The selection of the treatment alternative was carried out using descriptive analysis and the Weighted Ranking Technique (WRT). The selected treatment train consists of an oil and grease separator, Anaerobic Baffled Reactor (ABR), disinfection unit, and storage tank.

Keywords: *wwtp, grey water, row houses, characteristics, wrt method*

Abstrak

Rumah Deret Tamansari, Kota Bandung, merupakan bagian dari program fasilitasi relokasi dan permukiman kawasan kumuh yang bertujuan menyediakan hunian yang lebih teratur, sehat, dan layak bagi masyarakat terdampak. Saat ini, fasilitas tersebut belum memiliki sistem pengolahan *grey water*. *Grey water* yang berasal dari aktivitas mandi, mencuci, dan dapur mengandung polutan berbahaya yang berpotensi mencemari Sungai Cikapundung apabila dibuang langsung. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) *grey water*, dengan pemanfaatan kembali air olahan untuk penyiraman tanaman. Debit puncak *grey water* dihitung sebesar 144,872 m³/hari, yaitu 70% dari debit puncak air limbah domestik. Karakteristik *grey water* menunjukkan nilai pH 7,83; BOD 46,60 mg/L; COD 134,66 mg/L; TSS 46 mg/L; minyak dan lemak 4 mg/L; amonia 6,28 mg/L; serta total coliform 8.400 jumlah/100 mL. Pemilihan alternatif pengolahan dilakukan menggunakan metode analisis deskriptif dan metode *Weighted Ranking Technique* (WRT). Rangkaian unit terpilih terdiri dari unit pemisah minyak dan lemak, *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), unit disinfeksi, dan bak penampung.

Kata Kunci: *ipal, grey water, rumah deret, karakteristik, metode wrt*

1. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk yang pesat di Kota Bandung meningkatkan kebutuhan akan hunian layak dan infrastruktur sanitasi yang memadai. Salah satu kawasan yang menghadapi tantangan tersebut adalah Kelurahan Tamansari, Kecamatan Bandung Wetan, yang pada tahun 2017 ditetapkan sebagai kawasan permukiman kumuh. Kondisi ini disebabkan oleh minimnya infrastruktur sanitasi, buruknya kualitas lingkungan, dan ketidakteraturan tata bangunan yang berdampak pada rendahnya kualitas hidup masyarakat [1].

Sebagai upaya penanganan, pemerintah membangun Rumah Deret Tamansari melalui program fasilitasi relokasi dan permukiman kawasan kumuh untuk menyediakan hunian yang lebih teratur, sehat, dan layak bagi masyarakat terdampak [2]. Hingga Maret 2025, proyek ini masih dalam tahap pembangunan, dengan Blok A, Blok C, dan fasilitas penunjang seperti masjid, taman kanak-kanak, dan gedung serbaguna telah beroperasi.

Keberadaan permukiman baru ini memiliki implikasi terhadap sistem sanitasi, khususnya pengelolaan air limbah, mengingat lokasinya berdekatan dengan Sungai Cikapundung yang merupakan badan air utama di Kota Bandung [3] [4]. Badan air yang telah tercemar tidak boleh menerima tambahan

beban limbah, sehingga pemanfaatan air limbah, misalnya untuk penyiraman tanaman, menjadi solusi yang tepat [5] [3].

Hasil peninjauan menunjukkan bahwa kawasan ini belum memiliki sistem pengolahan *grey water*; limbah dari kegiatan mandi, cuci, dan dapur langsung dibuang ke badan air tanpa pengolahan, sedangkan *black water* diarahkan ke tangki septik untuk kemudian dikelola pihak ketiga berizin. Kondisi ini berpotensi memperburuk pencemaran Sungai Cikapundung yang telah tercemar [6] [3]. Pengelolaan air limbah domestik telah dilakukan di beberapa tempat seperti DAS Cikapundung, DAS Cibabat, dan DAS Cisangkan yang menunjukkan bahwa jika dilakukan pengelolaan air limbah domestik akan menurunkan beban pencemaran ke Sungai [7] [8] [3] [9].

Pengolahan *grey water* telah menjadi fokus berbagai penelitian di rumah susun di Indonesia. Teknologi *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) terbukti efektif menurunkan BOD, COD, dan TSS, hemat energi, berdesain kompak, serta mudah dirawat [10]. *Constructed Wetland* dengan tanaman lokal seperti *Canna indica* memiliki keunggulan ramah lingkungan, biaya operasional rendah, dan kemampuan fitoremediasi yang tinggi terhadap logam berat, TSS, dan nutrisi [11]. Sementara itu, Aerobik Biofilter menunjukkan kinerja cepat dan efisien dalam menurunkan BOD, COD, dan bau, serta memerlukan ruang yang relatif sedikit [12].

Dengan mempertimbangkan kondisi tersebut, perencanaan dan penerapan sistem pengolahan *grey water* di Rumah Deret Tamansari menjadi langkah strategis untuk mencegah pencemaran lingkungan sekaligus memanfaatkan kembali air olahan secara berkelanjutan [13] [14].

2. Metode Penelitian

2.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan perencanaan IPAL *grey water* di Rumah Deret Tamansari dilakukan untuk merumuskan masalah dan menyusun konsep perencanaan berdasarkan kajian literatur. Permasalahan utama yang diidentifikasi adalah pembuangan *grey water* langsung ke badan air tanpa pengolahan yang berpotensi mencemari sungai. Studi literatur digunakan untuk mendukung konsep dan teori dalam pengumpulan serta analisis data, dengan sumber dari buku, peraturan, jurnal, dan tugas akhir. Data yang dikaji meliputi definisi dan klasifikasi rumah deret; definisi air limbah domestik, *grey water*, dan *black water*; dampak *grey water* dan *black water*; karakteristik, kuantitas, dan kualitas *grey water*; baku mutu *grey water*; serta teknologi pengolahan air limbah *grey water*.

2.2 Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data untuk perencanaan IPAL *grey water* di Rumah Deret Tamansari dilakukan melalui data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari kondisi eksisting, meliputi pengambilan sampel *grey water* menggunakan metode *grab sampling* sesuai SNI 6989.59-2008 [15], yang kemudian dianalisis di Laboratorium Pengendalian Kualitas Lingkungan PDAM Tirtawening Bandung dengan parameter baku mutu mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016 [16]. Selain itu, dilakukan observasi lapangan untuk mengetahui unit dan fasilitas yang telah terbangun, sistem pengolahan air limbah eksisting, lokasi badan air terdekat, serta ketersediaan lahan untuk pembangunan IPAL, yang didokumentasikan dalam bentuk foto. Data sekunder diperoleh melalui studi literatur, termasuk layout Rumah Deret Tamansari dari Dokumen Final Laporan Akhir Penyusunan AMDAL tahun 2017 yang memuat informasi unit bangunan, luas lahan, fungsi unit, perkiraan populasi, kebutuhan air bersih, dan debit air limbah domestik.

2.3 Tahap Pengolahan Data dan Analisis Data

2.3.1 Perhitungan Jumlah Penghuni

Perhitungan jumlah penghuni Rumah Deret Tamansari dilakukan menggunakan data sekunder dari Dokumen Final Laporan Akhir Penyusunan AMDAL tahun 2017 yang memuat jumlah unit hunian [2]. Selanjutnya, jumlah orang pada setiap unit dihitung untuk menentukan total penghuni yang akan digunakan dalam perhitungan kebutuhan air bersih Rumah Deret Tamansari.

2.3.2 Perhitungan Kebutuhan Air Bersih

Perhitungan kebutuhan air bersih Rumah Deret Tamansari dilakukan menggunakan data sekunder jumlah unit hunian dan fasilitas penunjang dari Dokumen Final Laporan Akhir Penyusunan AMDAL tahun 2017 [2]. Standar kebutuhan air bersih mengacu pada Lampiran II Permen PUPR No. 04 Tahun 2017 [17] dan Direktorat Jenderal Cipta Karya (1996) [18] dengan satuan liter/orang/hari dan liter/unit/hari. Berdasarkan data tersebut, kebutuhan air bersih dihitung dalam m³/hari, yang kemudian menjadi dasar untuk perhitungan debit air limbah domestik di Rumah Deret Tamansari. Berikut persamaan [19].

Kebutuhan air bersih = Populasi x Standar kebutuhan air (1)

2.3.3 Perhitungan Debit Grey Water

Perhitungan debit *grey water* Rumah Deret Tamansari diawali dengan data kebutuhan air bersih (m^3/hari) dari perhitungan sebelumnya. Mengacu pada lampiran II Permen PUPR No. 04 Tahun 2017 menggunakan persamaan [17]:

$Q_{\text{air limbah}} = (60 - 80\%) \times \text{Total Kebutuhan air bersih} = \dots \text{ L/hari} \dots (2)$

Debit puncak harian hitung berdasarkan debit rata-rata dikalikan faktor puncak (FP) menurut Lampiran II Permen PUPR No. 04 Tahun 2017 dengan persamaan [17]:

$Q_{\text{peak}} = Q_r \times \text{FP} = \dots \text{ L/hari} \dots (3)$

FP dihitung menggunakan rumus [20]:

$$\text{FP} = \frac{18 + (p)^{0.5}}{4 + (p)^{0.5}} \dots (4)$$

Dimana,

P = Jumlah Orang

Selanjutnya, debit *grey water* dan *black water*, dengan persamaan [11]:

$Q_{\text{grey water}} = Q \times \% \text{ grey water} = \dots \text{ m}^3/\text{hari} \dots (5)$

$Q_{\text{black water}} = Q \times \% \text{ black water} = \dots \text{ m}^3/\text{hari} \dots (6)$

Hasil perhitungan debit *grey water* ini menjadi acuan dalam menentukan kriteria desain dan dimensi unit pengolahan IPAL *grey water* Rumah Deret Tamansari.

2.3.4 Analisis Kualitas Grey Water

Analisis kualitas *grey water* bertujuan menentukan karakteristik, parameter yang tidak memenuhi baku mutu, serta teknologi pengolahan yang tepat agar air hasil olahan aman digunakan kembali untuk penyiraman tanaman. Tahap pertama adalah penentuan baku mutu *effluent* dengan membandingkan kualitas *grey water*. Selanjutnya, kualitas *grey water* Rumah Deret Tamansari dibandingkan dengan baku mutu, kemudian dihitung rasio BOD/COD sesuai [21] untuk mengetahui tingkat biodegradabilitas menggunakan persamaan:

$$\frac{\text{BOD}}{\text{COD}} \dots (7)$$

Hasil rasio ini digunakan sebagai acuan penentuan unit pengolahan sekunder yang tepat. Tahap berikutnya adalah menghitung efisiensi pengolahan untuk mengetahui persentase penurunan parameter agar memenuhi baku mutu dan menilai kebutuhan efisiensi unit pengolahan, menggunakan rumus [22]:

$$\text{efisiensi} = \frac{C_{\text{awal}} - C_{\text{akhir}}}{C_{\text{awal}}} \times 100\% = \dots \% \dots (8)$$

Dimana,

C_{awal} = Konsentrasi air limbah domestik (mg/L)

C_{akhir} = Baku mutu air limbah domestik (mg/L)

2.3.5 Penentuan Teknologi Pengolahan

Pemilihan teknologi pengolahan *grey water* dilakukan melalui analisis deskriptif yang dipadukan dengan metode *Weighted Ranking Technique* (WRT) untuk memperoleh hasil yang objektif sesuai kondisi eksisting [23], dengan penilaian alternatif secara kualitatif dan kuantitatif berdasarkan bobot terstruktur serta parameter teknis dan non-teknis [24]. Tahapan meliputi identifikasi alternatif teknologi melalui studi literatur [25], penetapan parameter penilaian berdasarkan [26] [27][23], serta pembobotan sesuai tingkat urgensi terhadap kondisi eksisting [28]. Nilai Koefisien Pentingnya Faktor (KPF) dihitung dengan rumus [28]:

$$\text{Jumlah kolom} = \frac{N(N-1)}{2} \dots (9)$$

Dimana,

N = Jumlah parameter pembandingan

$$KPF = \frac{\text{Jumlah Nilai}}{\text{Jumlah Kolom}} \dots \dots \dots (10)$$

Penilaian Koefisien Pentingnya Alternatif (KPA) dilakukan dengan membandingkan setiap alternatif terhadap parameter yang ditetapkan, menggunakan rumus [28]:

$$KPA = \frac{\text{Jumlah Nilai}}{\text{Jumlah Alternatif}} \dots \dots \dots (11)$$

Keputusan akhir diperoleh dengan mengalikan KPF dan KPA untuk tiap alternatif, menggunakan persamaan [28]:

$$\text{Skor Alternatif} = KPF \times KPA \dots \dots \dots (12)$$

Alternatif dengan skor tertinggi dipilih sebagai teknologi IPAL *grey water* yang paling sesuai untuk Rumah Deret Tamansari.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Gambaran Umum

Rumah Deret Tamansari memanfaatkan lahan milik Pemkot Bandung yang potensial untuk dijadikan hunian vertikal, dengan tujuan mengatasi minimnya akses dan daya beli masyarakat berpenghasilan rendah (MBR) dalam memiliki rumah layak huni yang dilengkapi Ruang Terbuka Hijau (RTH) dan ruang publik, dirancang sesuai daya dukung lokasi, tata ruang, serta konsep *back to nature* (konservasi lingkungan) [2]. Pembangunan dimulai tahun 2020 dan hingga 2025 masih berlangsung, dengan progres meliputi Masjid Ukhuwah Islamiyah, TK Pasundan Istri, Blok A (173 unit), dan Blok C (18 unit) yang mengadopsi konsep hunian bertingkat seperti rumah susun dengan sistem sewa [2]. Terletak di Jl. Kebon Kembang, Kelurahan Tamansari, Kecamatan Bandung Wetan, Kota Bandung, Jawa Barat 40116 (6°54'8.56" LS, 107°36'34.68" BT), lahan pada Rumah Deret Tamansari memiliki luas ±6.824 m² (BPN) dengan KDB 24,1%, KLB 2,12, dan KDH 40% [2].

Hasil perencanaan jika seluruh hunian dan fasilitas penunjang sudah terbangun akan terdapat 479 unit hunian terdiri dari tipe 39 (319 unit, termasuk mezanin) dan tipe 33 (160 unit, termasuk mezanin, dengan fungsi komersial), serta fasilitas seperti masjid, TK, parkir kolong, area komersial, ruang serbaguna, dan sirkulasi [2]. Saat ini, pengolahan air limbah dilakukan secara terpisah, di mana *black water* dari WC diolah melalui tangki septik, sedangkan *grey water* dari *floor drain* dan *kitchen sink* belum diolah dan langsung dialirkan ke drainase rumah deret, lalu ke drainase perkotaan di bawah Jembatan Layang Pasopati, sebelum bermuara ke Sungai Cikapundung. Berdasarkan observasi lapangan, lahan kosong tersedia untuk pembangunan IPAL *grey water* seluas ±150 m² pengukuran *Google Earth Pro*.

3.2 Hasil Perhitungan Kebutuhan Air Bersih

Kebutuhan air bersih Rumah Deret Tamansari akan mengacu pada data jenis ruang dan jumlah dari ruang. Jumlah unit hunian di Rumah Deret Tamansari sebanyak 479 unit dengan asumsi 4 orang per unit sehingga total penghuni ruang hunian mencapai 1.916 jiwa, ditambah 30 murid Taman Kanak-kanak (TK) dan 25 pegawai yang direncanakan untuk operasional, berdasarkan data dan asumsi dari Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman, Pertahanan dan Pertamanan Kota Bandung dalam Dokumen Final Laporan Akhir Penyusunan AMDAL Rumah Deret Tamansari (2017) [2]. Berikut pada **Tabel 1** merupakan hasil rekapitulasi perhitungan kebutuhan air bersih. Rumus, menggunakan **persamaan (1)**.

Tabel 1. Kebutuhan Air Bersih

No	Ruang	Jumlah (unit atau orang) [2]	Satuan	Standar Kebutuhan Air Bersih	Kebutuhan Air Bersih (m ³ /hari)*
1.	Hunian	1916	L/orang/hari	100 [17]	192
2.	Masjid	1	L/unit/hari	3.000 [18]	3
3.	TK	30	L/murid/hari	10 [18]	0,3
4.	Ruang Serbaguna	1	L/unit/hari	2.000 [18]	2
5.	Jumlah Pegawai	25	L/orang/hari	100 [17]	3
Total Kebutuhan Air Bersih					199

Sumber: *Hasil Perhitungan, 2025

3.3 Hasil Perhitungan Debit Grey Water

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan air bersih, debit air limbah domestik rata-rata harian di Rumah Deret Tamansari dihitung menggunakan asumsi 80% dari total kebutuhan air bersih sebagaimana digunakan untuk rumah susun [12], dengan perhitungan mengacu pada **persamaan (2)**. Perhitungan *Q peak* (Debit Puncak Harian) di Rumah Deret Tamansari dilakukan untuk mengetahui debit air limbah domestik pada jam puncak, yaitu saat penggunaan air terjadi secara serentak, dengan acuan Lampiran II Permen PUPR No. 04, 2017 [17], menggunakan **persamaan (3)** serta perhitungan Faktor Puncak (FP) berdasarkan **persamaan (4)**. Perhitungan debit *black water* dan *grey water* di Rumah Deret Tamansari menggunakan asumsi dari penelitian di Rusunawa Penjaringan Surabaya, yaitu 70% untuk *grey water* dan 30% untuk *black water*, karena jumlah penghuni di lokasi penelitian tersebut (2.032 jiwa) mendekati jumlah penghuni eksisting di Rumah Deret Tamansari (1.971 jiwa) [11].

Persentase ini digunakan untuk menghitung debit rata-rata dan debit puncak harian dengan mengacu pada **persamaan (5)** untuk *Q grey water* dan **persamaan (6)** untuk *Q black water*. Berdasarkan hasil perhitungan, debit air limbah domestik di Rumah Deret Tamansari menunjukkan nilai rata-rata harian sebesar 159,20 m³/hari dengan debit puncak harian sebesar 206,96 m³/hari. Komposisi limbah menunjukkan bahwa *grey water* memiliki debit rata-rata 111,44 m³/hari dan debit puncak 144,87 m³/hari, sedangkan *black water* memiliki debit rata-rata 47,76 m³/hari dan debit puncak 62,09 m³/hari. Data ini memberikan gambaran distribusi beban limbah harian dan fluktuasi puncak yang penting untuk perencanaan sistem pengolahan air limbah yang efektif di kawasan tersebut.

3.4 Hasil Analisis Kualitas Grey Water

Analisis air limbah dilakukan untuk mengetahui karakteristik limbah yang dihasilkan melalui pengambilan sampel dan pengukuran di laboratorium sesuai parameter pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016 [16]. Sampel diambil pada Rabu, 28 Mei 2025 pukul 07.30 menggunakan metode *grab sampling* mengacu pada SNI 6989.59-2008 [15], dilakukan satu kali dan langsung diukur. Titik pengambilan berada di outlet *grey water* Blok A, sebelum mengalir ke drainase eksisting, karena Blok A memiliki akses mudah dan volume limbah lebih besar dibanding Blok C. Pengujian dilakukan di Laboratorium Pengendalian Kualitas Lingkungan (LPKL) PDAM Tirtawening Kota Bandung. Berikut pada **Tabel 2** hasil pengukuran *grey water*.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kualitas Air Limbah Grey Water

Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran*	Metode Acuan	Baku Mutu	Keterangan
pH	-	7,83	SNI 6989.11-2019	6 – 9 [16]	Memenuhi
BOD	mg/L	46,60	SNI 6989.72-2009	12 [5]	Tidak Memenuhi
COD	mg/L	134,66	SNI 6989.2-2019	80 [5]	Tidak Memenuhi
TSS	mg/L	46,00	SNI 6989.3-2019	30 [16]	Tidak Memenuhi
Minyak & lemak	mg/L	4,00	SNI 6989.10-2011	5 [16]	Memenuhi
Amoniak	mg/L	6,28	SNI 06-6989.30-2005	10 [16]	Memenuhi
Total coliform	jumlah/100 mL	8.400	SM 24 th Edition APHA 9221-B&C-2023	3.000 [16]	Tidak Memenuhi

Sumber: *Hasil Pengukuran Laboratorium PDAM, 2025

Penentuan baku mutu *effluent grey water* untuk kualitas di Rumah Deret Tamansari mengacu pada Lampiran II Permen LHK No. 68 Tahun 2016 tentang baku mutu limbah domestik [16], serta dokumen “Draft Standar Teknis Pemenuhan Baku Mutu Air Limbah untuk Pemanfaatan Penyiraman dan Pencucian,” dengan dasar PP No. 22 Tahun 2022 untuk pemanfaatan penyiraman tanaman berdasarkan baku mutu air sungai kelas IV. Parameter acuan meliputi BOD, COD, TSS, minyak dan lemak, amoniak, pH, dan total coliform dengan pemilihan nilai baku mutu paling ketat [29]. Perbandingan antara kualitas *grey water* eksisting dengan baku mutu tertera pada **Tabel 2**.

Rasio BOD/COD, yang menjadi indikator tingkat degradasi organik dan mempengaruhi pemilihan proses pengolahan air limbah [21], dihitung sebesar 0,4 dengan BOD 46,60 mg/L dan COD 134,66 mg/L menggunakan **persamaan (7)**, termasuk dalam zona *biodegradable* (0,2–0,5) [21]. Nilai ini menunjukkan korelasi kuat antara BOD dan COD serta mengindikasikan bahwa metode pengolahan yang tepat untuk

grey water tersebut adalah pengolahan biologis. perhitungan efisiensi pengolahan parameter BOD yang dibutuhkan menggunakan **persamaan (8)**

Tabel 3. Efisiensi Pengolahan yang Dibutuhkan

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Konsentrasi	Efisiensi (%) *
BOD	mg/L	12 [5]	46,60**	74
COD	mg/L	80 [5]	134,66**	41
TSS	mg/L	30 [16]	46	35
Minyak dan lemak	mg/L	5 [16]	29 [30]	83
Total coliform	jumlah/100 mL	3000 [16]	8.400**	64

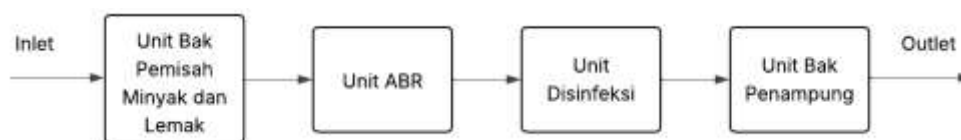
Sumber: *Hasil Perhitungan, 2025

**Hasil Pengukuran Laboratorium PDAM, 2025

Hasil perhitungan efisiensi pada **Tabel 3** pengolahan menunjukkan bahwa diperlukan unit pengolahan dengan efisiensi 74% untuk menyisihkan BOD pada *grey water* agar memenuhi baku mutu untuk penyiraman tanaman. Meskipun konsentrasi minyak dan lemak pada kondisi eksisting sebesar 4 mg/L masih di bawah baku mutu 5 mg/L, nilainya cukup mendekati ambang batas. Berdasarkan penelitian di Rusunawa Tanah Merah Kota Surabaya, yang memiliki kondisi serupa dengan Rumah Deret Tamansari karena tidak adanya bak pemisah minyak dan lemak, diperoleh konsentrasi minyak dan lemak sebesar 29 mg/L [30], sehingga nilai tersebut diasumsikan berlaku pula di Rumah Deret Tamansari.

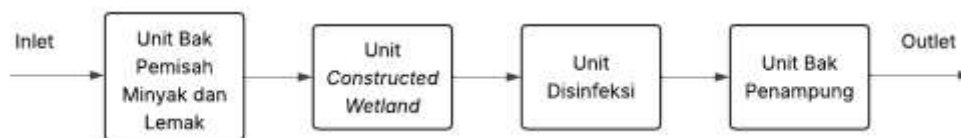
3.5 Hasil Penentuan Teknologi Pengolahan

Berdasarkan studi literatur dan analisis kondisi eksisting, mayoritas pengolahan *grey water* di Rusunawa pada penelitian sejenis menggunakan sistem sederhana modular seperti bak pemisah minyak dan lemak, *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), *Constructed Wetland*, dan *Aerobic Biofilter* dengan disinfeksi akhir untuk memenuhi baku mutu mikrobiologis [25]. Rumah Deret Tamansari memiliki kesamaan karakteristik dengan beberapa studi terdahulu, terutama pada kepadatan penghuni dan keterbatasan fasilitas, sehingga pendekatan pengolahan terdesentralisasi modular menjadi relevan. Mengacu pada karakteristik *grey water* yang melebihi ambang batas BOD, COD, TSS, dan Total Coliform, serta potensi peningkatan kadar minyak dan lemak akibat ketiadaan unit pemisah [30], diperlukan bak pemisah minyak dan lemak dan pengolahan lanjutan berbasis biologis sesuai rasio BOD/COD sebesar 0,4 yang menunjukkan sifat *biodegradable* [21]. Dengan ketersediaan lahan $\pm 150 \text{ m}^2$ yang membatasi penggunaan kombinasi sistem kompleks, dirancang tiga alternatif teknologi tunggal berbasis biologi yang kompatibel dengan keterbatasan ruang dan beban pencemar yang tertera pada **Gambar 1, 2 dan 3**.



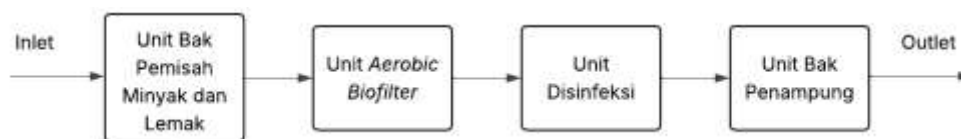
Gambar 1. Rangkaian Alternatif Pengolahan I

Sumber: Hasil Perencanaan, 2025



Gambar 2. Rangkaian Alternatif Pengolahan II

Sumber: Hasil Perencanaan, 2025



Gambar 3. Rangkaian Alternatif Pengolahan III

Sumber: Hasil Perencanaan, 2025

Tiga alternatif pengolahan *grey water* dirancang berdasarkan studi pada beberapa Rusunawa, dengan tahapan *pre-treatment* berupa bak pemisah minyak dan lemak, *secondary treatment* yang berbeda untuk

tiap alternatif, dan *tertiary treatment* berupa unit disinfeksi. Alternatif I mengacu pada penerapan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) di Rusunawa Randu, Gunungsari, dan Sombo yang efektif menyisihkan BOD, COD, dan TSS melalui proses anaerobik bertingkat [12] [10]. Alternatif II menggunakan *Constructed Wetland* dengan tanaman lokal seperti *Cyperus* atau *Canna indica* sebagaimana di Rusunawa Grudo dan Penjaringan Sari, yang mampu menurunkan COD, TSS, dan BOD, melalui biofiltrasi akar [31] [11]. Alternatif III memanfaatkan *Aerobic Biofilter* seperti di Rusunawa Graha Bina Harapan yang efektif meningkatkan efisiensi penyisihan BOD, COD, dan TSS secara aerobik [32].

Pada tahap analisis metode WRT, hanya unit *secondary treatment* yang akan dibandingkan. Perbandingan antara kebutuhan efisiensi pengolahan berdasarkan **Tabel 3**, yaitu 74% untuk BOD, 41% untuk COD, 35% untuk TSS, 83% untuk minyak dan lemak, serta 64% untuk Total Coliform, dengan data efisiensi *removal* pada **Tabel 4** menunjukkan bahwa seluruh unit pengolahan yang direncanakan mampu memenuhi atau melampaui target efisiensi yang dibutuhkan untuk memastikan kualitas *grey water* sesuai baku mutu.

Tabel 4. Efisiensi *Removal* Unit Pengolahan yang Direncanakan

Unit Pengolahan	BOD (%)	COD (%)	TSS (%)	Minyak dan Lemak (%)	Total Coliform (%)
Pemisah Minyak dan Lemak	-	-	-	95 [33]	-
ABR	95 [12] [22]	90 [12] [34]	90 [12] [34]	-	-
<i>Constructed Wetland</i>	90 [35]	85 [35]	95 [35]	-	-
<i>Aerobic Biofilter</i>	95 [12] [22]	90 [12] [22]	96 [22]	-	-
Disinfeksi	-	-	-	-	99 [36]
Bak Penampung	-	-	-	-	-

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Pengumpulan data teknis dan non-teknis dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan tiga alternatif teknologi pengolahan *grey water* di Rumah Deret Tamansari sebelum pemeringkatan menggunakan (WRT), dengan mengacu pada indikator penilaian dari penelitian sejenis dalam pemilihan IPAL [27] [23]. Berdasarkan kondisi eksisting, lima parameter utama ditetapkan, yaitu kebutuhan lahan yang minimal mengingat keterbatasan ruang di kawasan padat penduduk, kualitas *effluent* yang harus memenuhi baku mutu lingkungan demi kesehatan masyarakat, jumlah residu hasil pengolahan yang rendah untuk meminimalkan frekuensi pengangkutan, biaya konstruksi yang efisien sesuai keterbatasan anggaran, serta kemudahan operasional yang memungkinkan pengelolaan oleh sumber daya manusia terbatas secara berkelanjutan.

Analisis perbandingan tiga alternatif teknologi pengolahan *grey water* di Rumah Deret Tamansari dilakukan secara sistematis berdasarkan lima indikator teknis dan non-teknis yang relevan [24] [27], dengan bobot urgensi yang disesuaikan pada kondisi eksisting [28]. Ketiga alternatif memiliki unit *pre-treatment* berupa bak pemisah minyak dan lemak, unit *tertiary treatment* berupa bak disinfeksi, serta berbeda pada unit *secondary treatment*, yaitu (ABR), (CW), dan (AB). Perbandingan dilakukan hanya pada unit pengolahan sekunder, mengingat unit pra dan pasca perlakuan digunakan secara seragam, untuk menilai kesesuaian teknologi dalam konteks keterbatasan lahan, kualitas *effluent*, residu hasil pengolahan, biaya konstruksi, dan kemudahan operasional analisis teknis dan non-teknis Unit pengolahan *grey water* tertera pada **Tabel 5**.

Berdasarkan **Tabel 5** hasil analisis kuantitatif dan kualitatif terhadap lima parameter penilaian teknologi pengolahan *grey water* di Rumah Deret Tamansari, *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) unggul dalam kebutuhan lahan ($\pm 10\text{--}20\text{ m}^2$) dan kemudahan operasional tanpa listrik dengan frekuensi pengurasan lumpur 6–12 bulan sekali, serta biaya konstruksi paling ekonomis ($\pm \text{Rp } 7\text{--}9,3\text{ juta/m}^3$) [34] [12]. *Aerobic Biofilter* (AB) menempati posisi terbaik dalam kualitas efluen dengan efisiensi BOD 85–95%, COD 80–90%, dan TSS 84–96%, meskipun membutuhkan biaya konstruksi tertinggi ($\pm \text{Rp } 15\text{--}31\text{ juta/m}^3$) dan pemeliharaan media biofilter setiap 6 bulan [22]. *Constructed Wetland* (CW) memberikan efisiensi efluen kompetitif (BOD 80–90%, COD 70–85%, TSS 85–95%) dengan residu minimal, namun memerlukan lahan lebih luas ($\pm 20\text{--}50\text{ m}^2$) dan biaya lahan tinggi [35] [11]. Dengan keterbatasan lahan sekitar 150 m^2 , desain

compact menjadi prioritas, sehingga pemilihan teknologi mempertimbangkan keseimbangan antara efisiensi efluen, kebutuhan ruang, biaya, dan kemudahan operasional.

Tabel 5. Analisis Teknis dan Non-Teknis Unit Pengolahan *Grey Water*

Indikator Evaluasi	Anaerobic Baffled Reactor (ABR)	Constructed Wetland (CW)	Aerobic Biofilter (AB)
Kebutuhan Lahan	± 10-20 m ² (bentuk <i>compact</i> , aliran vertikal bersekat) [34] [12]	± 20-50 m ² (memerlukan ruang luas untuk tanaman/substrat) [35]	± 12-25 m ² (desain vertikal, cocok untuk lahan terbatas) [22] [12]
Kualitas Effluent (Efisiensi BOD)	70-95% (waktu tinggal >8 jam, multi-kompartemen) [12] [22]	80-90% (degradasi mikroba + filtrasi tanaman) [35]	85-95% (aerasi optimal, media biofilm) [22] [12]
Kualitas Effluent (Efisiensi COD)	65-90% (degradasi bertahap di ruang anaerob) [34] [12]	70–85% (bergantung jenis substrat) [35]	80-90% (oksidasi biologis intensif) [22] [12]
Kualitas Effluent (Efisiensi TSS)	80-90% (sedimentasi bersekat) [34] [12]	85-95% (adsorpsi media kerikil/pasir) [35]	84-96% (filtrasi fisik + degradasi biologis) [22]
Residu Pengolahan	Lumpur stabil (dikeluarkan 6–12 bulan sekali, tanpa listrik)) [34] [12]	Residu minimal (pemangkasan tanaman 3–6 bulan, penggantian substrat 2–5 tahun) [35]	Biofilm/lumpur halus (pembersihan 6 bulan, butuh tenaga teknis) [22]
Biaya Konstruksi	± Rp. 7-9,3 juta/m ³ (beton bertulang + pipa) [12]	± Rp. 1,5–2,5 juta/m ² (geomembran + tanaman) [11]	± Rp. 15-31 juta/m ³ (termasuk aerator, media filter) [12]
Kemudahan Operasional	Sangat Mudah (tanpa energi listrik, perawatan sederhana) [34] [12]	Mudah (sistem pasif, hanya pemantauan aliran) [35]	Cukup Rumit (butuh aerasi/pompa, kontrol rutin) [22] [12]

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tahap penentuan bobot parameter teknologi pengolahan *grey water* di Rumah Deret Tamansari dilakukan menggunakan metode *Weighted Ranking Technique* (WRT) yang mengubah penilaian subjektif menjadi nilai kuantitatif melalui perbandingan berpasangan untuk menghasilkan Koefisien Pentingnya Faktor (KPF) [28]. Lima parameter utama yang digunakan adalah kebutuhan lahan, kualitas efluen, residu hasil pengolahan, biaya konstruksi, dan kemudahan operasional, dengan jumlah kolom perbandingan dihitung menggunakan **persamaan (9)** sehingga diperoleh 10 kolom penilaian. Bobot tiap parameter ditentukan berdasarkan tingkat kepentingannya terhadap persyaratan teknis, dengan skor 1 untuk “lebih penting”, 0,5 untuk “sama penting”, dan 0 untuk “kurang penting”. Berikut merupakan hasil penentuan nilai KPF tertera pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Penentuan Nilai KPF

No	Parameter	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Jumlah	KPF
1.	Kebutuhan Lahan	0,5	1	1	0,5							3	0,3
2.	Kualitas <i>Effluent</i>	0,5				1	1	0,5				3	0,3
3.	Residu Hasil Pengolahan		0			0			0,5	0,5		1	0,1
4.	Biaya Kontruksi			0			0		0,5		0,5	1	0,1
5.	Kemudahan Operasional				0,5			0,5		0,5	0,5	2	0,2
Total												10	1

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Analisis penentuan bobot parameter menggunakan *Weighted Ranking Technique* (WRT) menghasilkan Koefisien Pentingnya Faktor (KPF) berdasarkan perbandingan berpasangan lima parameter utama: kebutuhan lahan, kualitas efluen, kemudahan operasional, residu hasil pengolahan, dan biaya konstruksi. Penilaian dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi nyata di Rumah Deret Tamansari, seperti keterbatasan lahan ±150 m², tingginya beban organik *grey water*, serta kapasitas operasional masyarakat. Hasil perhitungan menunjukkan KPF tertinggi dimiliki kebutuhan lahan dan kualitas efluen

(masing-masing 0,30) karena dianggap paling krusial untuk menjamin keberlanjutan dan kepatuhan baku mutu. Kemudahan operasional memperoleh skor 0,20, sementara residu dan biaya konstruksi masing-masing 0,10 karena meski relevan, pengelolaannya relatif lebih mudah dibanding keterbatasan lahan dan target kualitas. Bobot KPF ini digunakan pada tahap selanjutnya untuk menghitung Koefisien Pemilihan Alternatif (KPA) dalam menentukan teknologi IPAL *grey water* yang paling sesuai dengan aspek teknis, sosial, dan lingkungan setempat. Perhitungan nilai KPF menggunakan **persamaan (10)**.

Tahap penentuan Koefisien Pemilihan Alternatif (KPA) dilakukan dengan memberikan bobot pada setiap alternatif teknologi berdasarkan tingkat kesesuaian terhadap persyaratan teknis dan keuntungan non-teknis [28]. Penilaian menggunakan skala nilai 1 (lebih unggul), 0,5 (setara), dan 0 (kurang sesuai), kemudian bobot tiap alternatif dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah alternatif yang tersedia, yakni tiga. Nilai hasil pembagian ini menjadi KPA yang merepresentasikan tingkat kelayakan relatif setiap alternatif terhadap parameter yang telah ditetapkan pada tahap sebelumnya. Berikut merupakan hasil penentuan nilai KPA tertera pada **Tabel 7**. Persamaan untuk menghitung nilai KPA mengacu pada **persamaan (11)**.

Tabel 7. Penentuan Nilai KPA

No	Parameter	Alternatif	Nilai	Jumlah	KPA
1.	Kebutuhan Lahan	ABR (I)	1	2	0,67
		CW (II)	0	0	0
		AB (III)	0	1	0,33
2.	Kualitas <i>Effluent</i>	ABR (I)	0,5	0,5	0,17
		CW (II)	0,5	0	0,17
		AB (III)	1	2	0,67
3.	Residu Hasil Pengolahan	ABR (I)	0,5	1,5	0,50
		CW (II)	0,5	1,5	0,50
		AB (III)	0	0	0
4.	Biaya Konstruksi	ABR (I)	1	2	0,67
		CW (II)	0	1	0,33
		AB (III)	0	0	0,50
5.	Kemudahan Operasional	ABR (I)	1	2	0,67
		CW (II)	0	1	0,33
		AB (III)	0	0	0

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Hasil penilaian Koefisien Pemilihan Alternatif (KPA) menunjukkan bahwa ABR (Alternatif I) memiliki kinerja paling unggul secara keseluruhan, terutama pada kebutuhan lahan (0,67), biaya konstruksi (0,67), dan kemudahan operasional (0,67), serta performa memadai pada residu (0,50) dan kualitas *effluent* (0,17). CW (Alternatif II) menonjol pada parameter kualitas *effluent* (0,17), residu (0,50), dan operasional (0,67), namun terkendala kebutuhan lahan (0,00) dan biaya konstruksi sedang (0,17). AB (Alternatif III) unggul hanya pada kualitas *effluent* (0,67), tetapi memiliki skor rendah atau nol pada semua aspek non-teknis. Secara umum, ABR direkomendasikan sebagai teknologi pengolahan *grey water* paling sesuai untuk kondisi Rumah Deret Tamansari karena kombinasi efisiensi teknis, kebutuhan lahan minimal, biaya rendah, dan kemudahan operasional [34] [35] [22] [12].

Tahap akhir penentuan alternatif teknologi IPAL dilakukan dengan mengalikan nilai Koefisien Pentingnya Faktor (KPF) dan Koefisien Pemilihan Alternatif (KPA) untuk setiap parameter. Alternatif dengan skor total tertinggi hasil perkalian tersebut ditetapkan sebagai teknologi IPAL *grey water* terpilih [28]. Hasil perhitungan pada **Tabel 8** menunjukkan alternatif dengan nilai akhir tertinggi sebagai pilihan utama untuk kondisi Rumah Deret Tamansari. Rumus perhitungan berdasarkan **persamaan (12)**.

Tabel 8. Pemilihan Alternatif Terbaik

No	Parameter	KPF	KPA ABR (I)	KPA CW (II)	KPA AB (III)	Skor ABR (I)	Skor CW (II)	Skor AB (III)
1.	Kebutuhan Lahan	0,3	0,67	0	0,33	0,201	0	0,099
2.	Kualitas <i>Effluent</i>	0,3	0,17	0,17	0,67	0,051	0,051	0,201
3.	Residu Hasil Pengolahan	0,1	0,50	0,50	0	0,050	0,050	0
4.	Biaya Konstruksi	0,1	0,67	0,33	0	0,067	0,033	0
5.	Kemudahan Operasional	0,2	0,67	0,33	0	0,134	0,066	0
Total Skor (Σ)		1				0,503	0,2	0,3

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan hasil perhitungan pada **Tabel 8**, alternatif I dengan unit sekunder ABR memperoleh skor akhir tertinggi sebesar 0,503, sehingga ditetapkan sebagai teknologi terpilih untuk pengolahan *grey water* di Rumah Deret Tamansari. Rangkaian unit pada alternatif ini terdiri dari bak pemisah minyak dan lemak, ABR, unit disinfeksi, serta bak penampung, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 1**.

4. Kesimpulan

Grey water di Rumah Deret Tamansari memiliki debit puncak 144,872 m³/hari. Hasil pemilihan teknologi menggunakan *Weighted Ranking Technique* menetapkan rangkaian unit pemisah minyak dan lemak – *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) – disinfeksi – bak penampung sebagai alternatif terbaik, karena efisien, memerlukan lahan minimal, biaya rendah, dan mudah dioperasikan. Penerapan sistem ini diharapkan mampu menurunkan beban pencemar hingga memenuhi baku mutu dan memungkinkan pemanfaatan kembali air olahan untuk penyiraman tanaman.

5. Referensi

- [1] P. K. Bandung, “Salinan Keputusan Walikota Bandung Nomor 648/Kep.286-DisTaRCip/2015 Tentang Penetapan Lokasi Lingkungan Kumuh di Kota Bandung,” Pemkot Bandung, Bandung, 2015.
- [2] P. dan P. K. B. Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman, “Dokumen Final Laporan Akhir Penyusunan AMDAL Rumah Deret Tamansari Kota Bandung,” DPKPPP, Bandung, 2017.
- [3] E. Wardhani and D. Salsabila, “Pemilihan sistem pengolahan air limbah domestik terbaik sebagai upaya peningkatan kualitas air di DAS Cikapundung Kabupaten Bandung Barat,” *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 3062–3071, 2022.
- [4] Wijaya, Karto, Asep Yudi Permana, and Noor Swanto. "Kawasan Bantaran Sungai Cikapundung Sebagai Pemukiman Masyarakat Berpenghasilan Rendah (MBR) Di Kota Bandung." *Arcade* 1.2 (2017): 57-68.
- [5] P. R. Indonesia, “Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup,” Pemerintah RI, Jakarta, 2021.
- [6] C. Febrion, K. Wijaya, and D. Sugandi, “Identifikasi Bangunan Kumuh Yang Mempengaruhi Kualitas Lingkungan Permukiman Tamansari Kota Bandung,” *Jurnal Arsitektur ARCADE: Vol*, vol. 4, no. 3, 2020.
- [7] M. A. R. Alfaroby and E. Wardhani, “Perencanaan sistem pengolahan air limbah domestik pada daerah aliran sungai cibabat, kota cimahi,” *Serambi Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 1842–1853, 2021.
- [8] E. Wardhani and R. Rosmeiliyana, “Pemilihan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik di DAS Cisangkan,” *Jurnal Reka Lingkungan*, vol. 10, no. 1, pp. 67–78, 2022.
- [9] M. A. R. Alfaroby and E. Wardhani, “Perhitungan Beban Pencemaran Air Sungai Cibabat Kota Cimahi Provinsi Jawa Barat,” *Serambi Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 1752–1761, 2021.
- [10] T. Miswary and H. W. Indarjanto, “Evaluasi Sistem Plambing, Instalasi Pengolahan Air Limbah dan Pengelolaan Sampah Di Rumah Susun Gunungsari Kota Surabaya,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 2, pp. D103–D108, 2017.
- [11] R. M. Widyasari and B. V. Tangahu, “Perencanaan Reed-bed dalam Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Tanaman *Canna indica* (Studi Kasus: Rusunawa Penjaringan Sari 1 dan 2),” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 1–6, 2016.
- [12] F. Indaryani, “Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Di Rumah Susun Sederhana Sewa Sombo, Urip Sumoharjo Dan Randu Kota Surabaya,” Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2020. Accessed: May 26, 2025. [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/78540/>
- [13] A. Rahman, E. Wardhani, and N. Halomoan, “Perencanaan Sistem Plambing Air Bersih dan Air Buangan di Rusunami X dengan Aspek Konservasi Air,” *Serambi Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 2044–2050, 2021.
- [14] R. A. Suhandi and E. Wardhani, “Penghematan Air di Hotel X Kota Batam Provinsi Kepulauan Riau dengan Menerapkan Daur Ulang Air Limbah,” *Serambi Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 2051–2058, 2021.
- [15] B. S. Nasional, “SNI 6989.59-2008: Air dan air limbah – Bagian 59: Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah,” BSN, Jakarta, 2008. [Online]. Available: <https://www.bsn.go.id>
- [16] K. L. H. dan K. R. Indonesia, “Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik,” KLHK, Jakarta, 2016.

- [17] K. P. U. dan P. R. R. Indonesia, "Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 Tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik," Kementerian PUPR, Jakarta, 2017.
- [18] D. J. C. Karya, *Kriteria Perencanaan Air Bersih*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 1996.
- [19] S. M. , & M. T. Noerbambang, *Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2005.
- [20] G. M. Fair and J. C. Geyer, *Water Supply and Waste-water Disposal*. Wiley, 1954. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=GXHewgEACAAJ>
- [21] G. Samudro and S. Mangkoedihardjo, "Review On Bod, Cod And Bod/Cod Ratio: A Triangle Zone For Toxic, Biodegradable And Stable Levels.," *Int J Acad Res*, vol. 2, no. 4, 2010.
- [22] G. Tchobanoglous, F. L. Burton, M. & Eddy, and H. D. Stensel, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th ed. in McGraw-Hill higher education. New York: McGraw-Hill Education, 2003. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=U9OmPwAACAAJ>
- [23] A. Indira, D. Agustian, and E. Hartati, "Analisis Indeks Kebutuhan Lahan dan Biaya dari Perencanaan IPAL Terpadu di Kawasan Aerocity X," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 6, Jun. 2021, doi: 10.32672/jse.v6i3.3047.
- [24] E. Tilley, L. Ulrich, C. Lüthi, P. Reymond, and C. Zurbrügg, *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), 2014.
- [25] UN-Habitat, *Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge, and Biosolids Management: Moving Forward the Sustainable and Welcome Uses of a Global Resource*. Nairobi: United Nations Human Settlements Programme, 2008.
- [26] E. Wardhani *et al.*, "Penentuan Alternatif Instalasi Pengolahan Air Limbah di Kelurahan Mekar Rahayu Kabupaten Bandung," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 9, no. 4, 2024.
- [27] G. A. Rahmawati, E. Wardhani, and L. Apriyanti, "Perencanaan instalasi pengolahan air limbah mal X Kota Bandung," *Serambi Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 522–531, 2019.
- [28] H. N. Taufik, "Perencanaan Sistem Penyaluran Air Buangan di Kecamatan Purwakarta Kabupaten Purwakarta," Tugas Akhir, ITENAS, Bandung, Indonesia, 2015.
- [29] U. G. Mada, "Standar Teknis Pemenuhan Baku Mutu Air Limbah untuk Pemanfaatan Penyiraman dan Pencucian," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2022.
- [30] D. M. Wisesa and A. Slamet, "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Rumah Susun Tanah Merah Surabaya," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, pp. D199–D203, 2016.
- [31] A. Safrodin and S. Mangkoedihardjo, "Desain IPAL pengolahan grey water dengan teknologi subsurface flow constructed wetland di rusunawa grudo surabaya," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, pp. D144–D149, 2016.
- [32] P. Purnawan, P. D. Sukmawati, and Y. C. Puspita, "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Domestik (Grey Water) Di UPT Rusunawa Graha Bina Harapan, Kota Yogyakarta, DIY," *J Teknol*, vol. 12, no. 2, pp. 130–136, 2019.
- [33] J. Wongthanate, N. Mapracha, B. Prapagdee, and C. Arunlertaree, "Efficiency of modified grease trap for domestic wastewater treatment," *The Journal of Industrial Technology*, vol. 10, no. 2, pp. 10–22, 2014.
- [34] L. Sasse, *DEWATS: Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries*, 2nd ed. Bremen: BORDA (Bremen Overseas Research & Development Association), 2009.
- [35] J. Vymazal, "Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: A review," *Ecol Eng*, vol. 73, pp. 724–751, 2014.
- [36] G. Tchobanoglous, F. L. Burton, and H. D. Stensel, *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*, 5th ed., no. v. 1. in McGraw-Hill series in civil and environmental engineering. New York: McGraw-Hill Education, 2014. Accessed: Jun. 30, 2025. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=BL3wjgEACAAJ>