

Design of a Membrane Filtration-Based Clean Water Treatment System for the Kahayan River Basin

Perencanaan Sistem Pengolahan Air Bersih Berbasis Teknologi Filtrasi Membran untuk Daerah Aliran Sungai Kahayan

Riki Yusuf^{1*}, Rudy Yoga Lesmana¹, Achmad Imam Santoso¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palangka Raya, Palangka Raya, Indonesia

*surel: Rikiyusuf@gmail.com

ABSTRACT

The Kahayan River is a major raw-water source for Palangka Raya City. This literature-based design study develops a conceptual membrane-filtration treatment train for Pahandut Seberang using field mapping and secondary data; it does not report pilot-plant performance. The design flow is 873.6 m³/day (318,864 m³/year), approximately 10 L/s, with screening, coagulation–flocculation, sedimentation, microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, and optional reverse osmosis. Removal efficiencies are literature-based design expectations requiring validation before implementation. With CAPEX of IDR 8.78 billion and annual OPEX of IDR 1.7812 billion, the OPEX-only unit cost is IDR 5,586.08/m³. Simple annualized CAPEX plus OPEX gives IDR 11,093.13/m³ over 5 years, IDR 8,339.61/m³ over 10 years, and IDR 6,962.84/m³ over 20 years. These screening-level estimates exclude financing, inflation, residual value, and uncertainty and therefore do not establish commercial feasibility.

Keywords:

membrane filtration; Kahayan River; clean water; design; cost analysis

Received: September 2026

Reviewed: September 2026

Issue: July 2025

ABSTRAK

Sungai Kahayan merupakan sumber air baku utama bagi Kota Palangka Raya. Studi desain berbasis literatur ini menyusun rancangan konseptual pengolahan membran untuk Pahandut Seberang menggunakan pemetaan lapangan dan data sekunder; penelitian ini tidak melaporkan kinerja instalasi pilot. Debit desain adalah 873,6 m³/hari (318.864 m³/tahun), sekitar 10 L/detik, dengan screening, koagulasi–flokulasi, sedimentasi, mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan reverse osmosis opsional. Efisiensi penyisihan merupakan ekspektasi desain berbasis literatur yang harus divalidasi sebelum implementasi. Dengan CAPEX Rp 8,78 miliar dan OPEX tahunan Rp 1,7812 miliar, biaya satuan hanya-OPEX adalah Rp 5.586,08/m³. Analisis sederhana CAPEX ditambah OPEX menghasilkan Rp 11.093,13/m³ untuk 5 tahun, Rp 8.339,61/m³ untuk 10 tahun, dan Rp 6.962,84/m³ untuk 20 tahun. Estimasi tingkat-penapisan ini tidak mencakup pembiayaan, inflasi, nilai sisa, dan ketidakpastian sehingga belum membuktikan kelayakan komersial.

Kata Kunci:

filtrasi membran; Sungai

Kahayan; air bersih;

perencanaan; analisis biaya

Diterima: September 2026

Direview: September 2026

Edisi: Juli 2025



PENDAHULUAN

Air bersih merupakan sumber daya vital yang dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari, baik untuk konsumsi, sanitasi, maupun kegiatan industri, namun ketersediaannya semakin terbatas akibat pencemaran lingkungan dan eksploitasi berlebihan terhadap sumber daya air [1]. Salah satu sumber air utama bagi masyarakat di Kalimantan Tengah adalah Sungai Kahayan yang mengalir melalui Kota Palangka Raya dan sekitarnya. Kualitas air sungai ini mengalami penurunan akibat pencemaran dari aktivitas domestik, pertanian, dan industri [2].

Berdasarkan hasil pemantauan Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Provinsi Kalimantan Tengah, beberapa parameter kualitas air Sungai Kahayan seperti kekeruhan, kadar zat organik, serta kandungan bakteri *coliform* menunjukkan tingkat yang melebihi batas baku mutu air baku untuk air minum [2]. Pencemaran ini berdampak negatif terhadap kesehatan masyarakat, terutama dalam penyebaran penyakit berbasis air seperti diare dan kolera [3]. Kondisi tersebut menyebabkan keterbatasan akses masyarakat di sekitar Daerah Aliran Sungai (DAS) Kahayan terhadap air bersih yang layak untuk keperluan higienis dan sanitasi.

Teknologi filtrasi membran telah berkembang sebagai solusi efektif dalam meningkatkan kualitas air karena mampu menghilangkan partikel tersuspensi, mikroorganisme, dan zat pencemar dengan efisiensi tinggi [4]. Teknologi ini juga dinilai lebih unggul dibandingkan metode konvensional seperti koagulasi-flokulasi karena memiliki daya saring lebih baik dan dapat bekerja tanpa tambahan bahan kimia yang berlebihan [5]. Oleh karena itu, penerapan sistem pengolahan air bersih berbasis filtrasi membran di DAS Kahayan berpotensi menjadi alternatif yang berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) merancang sistem pengolahan air bersih berbasis teknologi filtrasi membran yang sesuai dengan kondisi dan kebutuhan daerah sekitar DAS Kahayan, khususnya Kelurahan Pahandut Seberang; (2) mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja dan efisiensi sistem filtrasi membran seperti jenis membran, tekanan operasi, dan laju aliran air; serta (3) melakukan analisis estimasi biaya dan kelayakan penerapan sistem filtrasi membran sebagai solusi pengolahan air bersih yang berkelanjutan. Rancangan yang disusun bersifat teoritis dan konseptual berdasarkan studi literatur, referensi teknis, dan standar desain yang relevan, tanpa mencakup uji coba lapangan.

METODOLOGI

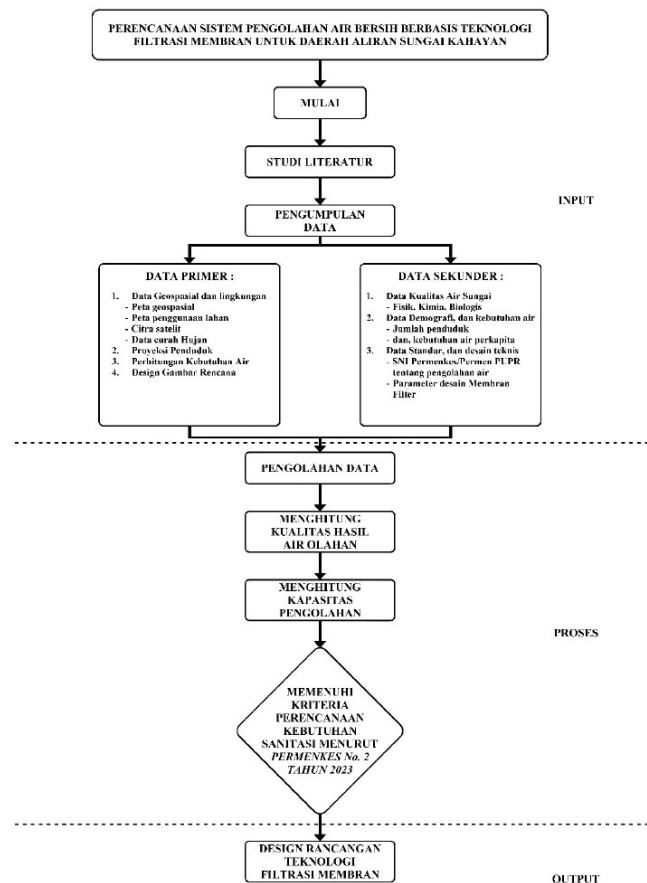
Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif melalui studi literatur, survei lapangan, dan analisis data sekunder [6]. Data primer meliputi peta geospasial, peta penggunaan lahan, citra satelit, data curah hujan, serta hasil pemetaan jumlah rumah wilayah pelayanan menggunakan perangkat lunak ArcGIS [7]. Data sekunder meliputi data kualitas air Sungai Kahayan dari laporan pemantauan DLH [2], data demografi Kelurahan Pahandut Seberang [8], baku mutu air untuk keperluan higienis dan sanitasi menurut Permenkes No. 2 Tahun 2023 [9], serta kriteria teknis perencanaan instalasi pengolahan air [10].

Tahapan penelitian dilaksanakan secara berurut sebagai berikut:

- 1) Pengumpulan data primer dan data sekunder;
- 2) Proyeksi jumlah penduduk wilayah pelayanan menggunakan metode aritmatika;
- 3) Perhitungan kebutuhan air bersih domestik dan non-domestik, termasuk faktor kehilangan air (*non-revenue water*) sebesar 20% [10];
- 4) Evaluasi kualitas air baku Sungai Kahayan terhadap baku mutu Permenkes No. 2 Tahun 2023;
- 5) Pemilihan konfigurasi teknologi dan perhitungan dimensi unit pra-pengolahan serta unit filtrasi membran;
- 6) Estimasi biaya investasi (CAPEX), biaya operasional (OPEX), dan perbandingan biaya produksi air dengan tarif PDAM.

Kriteria hasil rancangan mengacu pada terpenuhinya baku mutu air untuk keperluan higienis dan sanitasi menurut Permenkes No. 2 Tahun 2023 [9]. Bagan alir rencana pengerjaan penelitian disajikan pada Gambar 1.



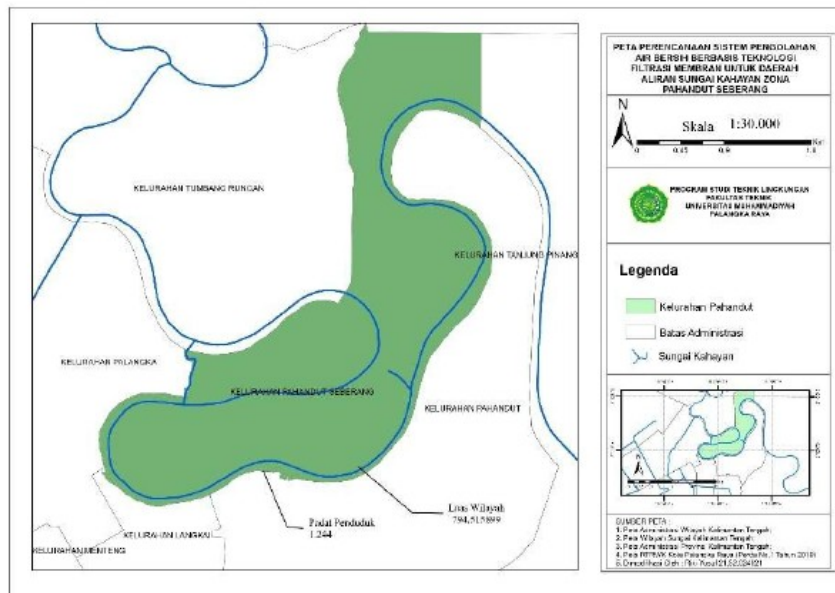
Gambar 1. Bagan alir rencana pengerjaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Wilayah Perencanaan

DAS Kahayan terletak di Provinsi Kalimantan Tengah pada koordinat sekitar $1^{\circ}00' - 3^{\circ}00'$ Lintang Selatan dan $113^{\circ}00' - 114^{\circ}30'$ Bujur Timur. Sungai Kahayan memiliki panjang aliran sekitar 600 km, berhulu di Pegunungan Schwaner dan bermuara ke Laut Jawa melalui wilayah pesisir Kabupaten Pulang Pisau [11]. Topografinya didominasi dataran rendah dan lahan rawa di bagian hilir dengan jenis tanah bervariasi dari podsolik merah kuning di hulu hingga gambut dan aluvial di bagian tengah dan hilir, yang berpengaruh terhadap tingkat keasaman dan kandungan bahan organik air sungai [5].

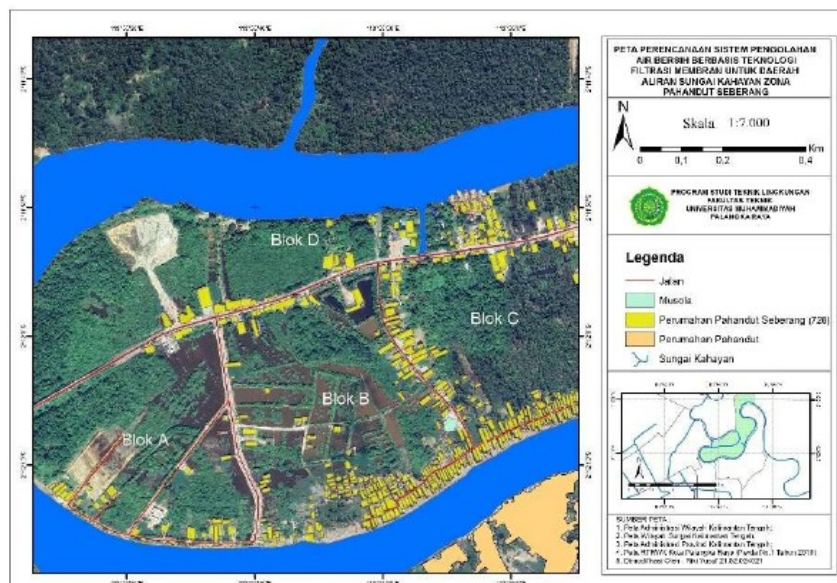
Wilayah ini beriklim tropis basah dengan suhu udara rata-rata $24 - 32^{\circ}\text{C}$, kelembapan relatif 80–90%, dan curah hujan tahunan berkisar 2.500–3.000 mm sehingga ketersediaan air relatif melimpah sepanjang tahun [12]. Pertumbuhan penduduk Kota Palangka Raya yang mencapai 4,8% per tahun turut meningkatkan kebutuhan air bersih secara signifikan setiap tahunnya [13]. Wilayah pelayanan yang direncanakan adalah Kelurahan Pahandut Seberang yang berada di tepi Sungai Kahayan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Batas wilayah aliran Sungai Kahayan Zona Pahandut Seberang

Proyeksi Penduduk dan Kebutuhan Air Bersih

Berdasarkan data demografi [8], proyeksi jumlah penduduk Kelurahan Pahandut Seberang lima tahun ke depan dengan metode aritmatika diperoleh sebesar 6.091 jiwa, relatif konsisten dengan hasil metode geometrik (6.197 jiwa) dan eksponensial (6.196 jiwa). Hasil pemetaan menggunakan ArcGIS menunjukkan jumlah rumah pada wilayah pelayanan sebanyak 728 unit [7]. Untuk kemudahan perencanaan jaringan dan distribusi, wilayah dibagi menjadi 4 blok pelayanan yang masing-masing terdiri dari 182 rumah (Gambar 3).



Gambar 3. Peta jumlah rumah wilayah pelayanan Pahandut Seberang

Standar kebutuhan air domestik per rumah tangga berkisar 700–1.200 liter/rumah/hari [14]; dalam perencanaan ini digunakan 1.000 liter/rumah/hari sebagai rata-rata kebutuhan rumah tangga perkotaan. Kebutuhan air per blok diperoleh sebesar 182 m³/hari sehingga kebutuhan total seluruh wilayah mencapai 728 m³/hari. Dengan memperhitungkan faktor kehilangan air sebesar 20% [10], kebutuhan rencana menjadi 873,6 m³/hari atau setara debit rencana ± 10 L/detik, yang dibagi menjadi $\pm 2,5$ L/detik per blok pelayanan. Ringkasan perhitungan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan perhitungan kebutuhan air bersih

Uraian	Nilai	Satuan
Jumlah rumah total	728	unit
Jumlah blok pelayanan	4	blok

Uraian	Nilai	Satuan
Jumlah rumah per blok	182	unit
Kebutuhan air per rumah	1.000	liter/hari
Kebutuhan air per blok	182	m ³ /hari
Kebutuhan total	728	m ³ /hari
Kebutuhan rencana (termasuk kehilangan 20%)	873,6	m ³ /hari

Kualitas Air Sungai Kahayan dan Baku Mutu

Data sekunder kualitas air Sungai Kahayan dibandingkan dengan kadar maksimum yang diperbolehkan dalam Permenkes No. 2 Tahun 2023 [2], [9], sebagaimana tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Data sekunder kualitas air Sungai Kahayan dan baku mutu Permenkes No. 2 Tahun 2023

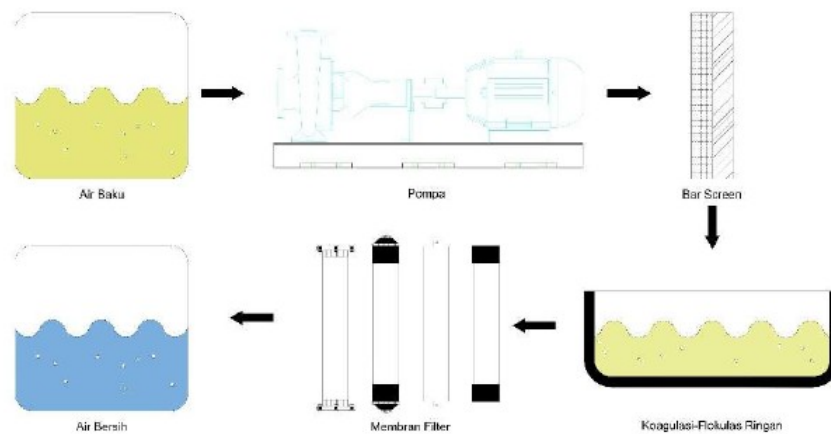
No.	Parameter	Satuan	Nilai	Baku Mutu	Keterangan
1	pH	-	6,3 – 6,8	6,5 – 8,5	Hampir memenuhi
2	TDS	mg/L	120 – 180	< 300	Memenuhi
3	Kekeruhan	NTU	25 – 65	< 3	Melebihi batas
4	Warna	TCU	40 – 85	10	Melebihi batas
5	Besi terlarut (Fe)	mg/L	0,45 – 0,72	0,2	Melebihi batas
6	Mangan terlarut (Mn)	mg/L	0,12 – 0,25	0,1	Melebihi batas
7	Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/L	0,8 – 1,2	20	Memenuhi
8	Nitrit (NO ₂ ⁻)	mg/L	0,05 – 0,08	3	Memenuhi
9	Kromium (Cr ⁶⁺)	mg/L	0,005 – 0,009	0,01	Memenuhi
10	Escherichia coli	CFU/100 mL	900 – 1.800	0	Melebihi batas
11	Total coliform	CFU/100 mL	4.000 – 7.000	0	Melebihi batas

Sumber: DLH Kalimantan Tengah (2022); Permenkes No. 2 Tahun 2023

Berdasarkan perbandingan tersebut, parameter fisik (kekeruhan dan warna), logam terlarut (Fe dan Mn), serta parameter mikrobiologi (*E. coli* dan total coliform) berada jauh di atas batas yang diperbolehkan, menandakan adanya kontaminasi fisik dan biologis dari aktivitas domestik masyarakat di sepanjang aliran sungai. Sementara itu, pH pada beberapa titik berada sedikit di bawah rentang baku mutu sehingga memerlukan penyesuaian dalam proses pengolahan, sedangkan TDS, nitrat, nitrit, dan kromium telah memenuhi standar. Dengan demikian, air Sungai Kahayan belum layak digunakan langsung untuk keperluan higienis dan sanitasi tanpa proses pengolahan terlebih dahulu [9], [15].

Perencanaan Sistem Pengolahan

Sistem pengolahan air dirancang mengikuti urutan: air baku Sungai Kahayan → *screening* → koagulasi-flokulasi ringan → sedimentasi → mikrofiltrasi (MF) → ultrafiltrasi (UF) → nanofiltrasi (NF) → *reverse osmosis* (RO) → reservoir → distribusi. Sistem ini termasuk kategori *multi-stage membrane treatment* yang mengombinasikan filtrasi dari skala makro hingga molekuler; pendekatan bertingkat ini efektif menekan *fouling* dan memperpanjang umur pakai membran [16]. Tahapan UF dan NF merupakan kunci utama pengolahan air Sungai Kahayan, sedangkan RO bersifat opsional dan diaktifkan bila kadar TDS atau nitrat memerlukan penyisihan lanjutan. Ilustrasi alur perencanaan disajikan pada Gambar 4, sedangkan parameter desain utama tiap membran dirangkum pada Tabel 3 [15], [17].



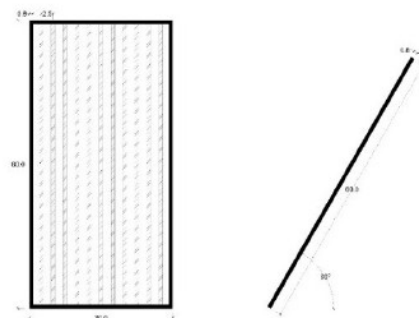
Gambar 4. Ilustrasi alur perencanaan sistem pengolahan

Tabel 3. Parameter desain utama unit filtrasi membran

Jenis Membran	Tekanan Operasi (bar)	Flux (L/m ² .jam)	Efisiensi Penyisihan (%)	Target Utama
Mikrofiltrasi	0,1 – 1	50 – 150	> 90	Kekeruhan, partikel kasar
Ultrafiltrasi	1 – 3	20 – 50	95 – 100	Mikroorganisme, organik makro
Nanofiltrasi	3 – 10	10 – 30	85 – 95	Warna, logam terlarut
Reverse Osmosis	10 – 25	10 – 30	95 – 99	TDS, nitrat, nitrit

Sumber: Mulder (1996); Baker (2012)

Unit *bar screen* dirancang dengan kecepatan aliran melalui bukaan maksimum 0,6 m/detik. Untuk debit rencana 10 L/detik diperoleh kebutuhan luas bukaan minimum 0,016 m²; dengan rasio bukaan $\pm 60\%$ dipilih dimensi frontal 0,30 m $\times$ 0,60 m (0,18 m²) agar aman terhadap penyumbatan, menggunakan batang *stainless steel* dengan spasi 20–25 mm dan sudut kemiringan 60° untuk kemudahan pembersihan (Gambar 5).



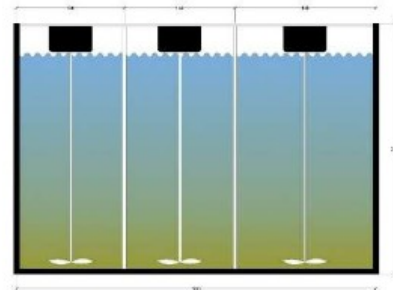
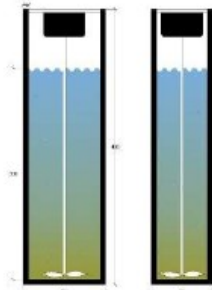
Gambar 5. Gambar kerja bar screen

Unit pra-pengolahan koagulasi-flokulasi dan sedimentasi dirancang berdasarkan waktu detensi umum praktik, yaitu *rapid mix* 1 menit, flokulasi 30 menit (3 sel berturut-turut), dan sedimentasi 2 jam dengan kedalaman efektif tangki 3,0 m [10], [17]. Ringkasan dimensi hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4, sedangkan gambar kerja masing-masing unit ditunjukkan pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8.

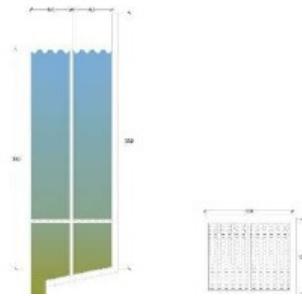
Tabel 4. Dimensi unit rapid mix, flokulasi, dan sedimentasi

Unit	Waktu Detensi	Dimensi Rekomendasi (P $\times$ L $\times$ kedalaman)
Rapid mix	1 menit	1,2 m $\times$ 0,9 m $\times$ 3,0 m
Flokulasi	30 menit	3 sel; tiap sel 5,0 m $\times$ 2,05 m $\times$ 3,0 m

Unit	Waktu Detensi	Dimensi Rekomendasi (P × L × kedalaman)
Sedimentasi / clarifier	2 jam	12,0 m × 10,2 m × 3,0 m (alternatif redundansi: 2 unit × 6,0 m × 10,2 m × 3,0 m)



Gambar 6. Gambar kerja rapid mix (kiri); Gambar 7. Gambar kerja flokulasi (kanan)

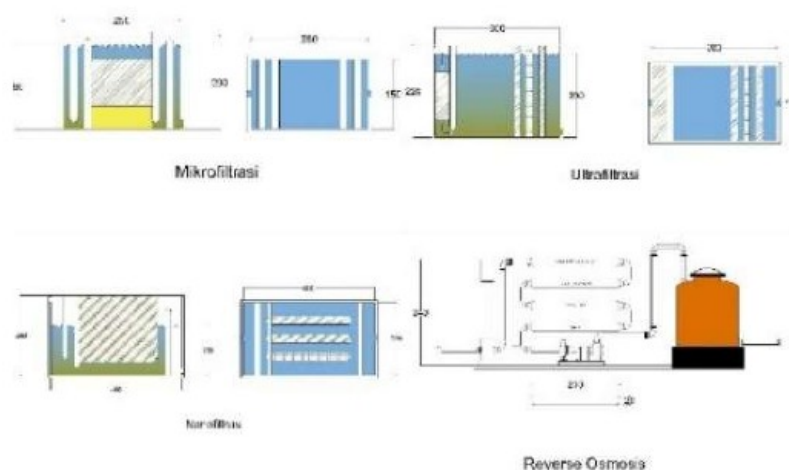


Gambar 8. Gambar kerja sedimentasi

Kebutuhan luas permukaan membran aktif dihitung berdasarkan debit per jam sebesar 36.000 liter/jam dibagi *flux* rancangan konservatif tiap membran, yaitu MF 150 L/m².jam, UF 50 L/m².jam, NF 25 L/m².jam, dan RO 20 L/m².jam [15], [16], [17]. Diperoleh kebutuhan luas total membran MF sebesar 240 m² (60 m²/blok), UF 720 m² (180 m²/blok), NF 1.440 m² (360 m²/blok), dan RO 1.800 m² (450 m²/blok). Rekapitulasi dimensi unit membran disajikan pada Tabel 5 dan gambar kerjanya pada Gambar 9.

Tabel 5. Rekapitulasi dimensi unit membran filter

Jenis Membran	Luas (A)	Panjang	Lebar	Tinggi	Tinggi Efektif
Mikrofiltrasi	60 m ² /blok	2,5 m	1,5 m	2 m	1,8 m
Ultrafiltrasi	180 m ² /blok	3 m	1,8 m	2,2 m	2 m
Nanofiltrasi	360 m ² /blok	4 m	2,2 m	2,4 m	1,5 m
Reverse osmosis	450 m ² /blok	-	-	2,4 m	-



Gambar 9. Gambar kerja unit membran filter

Rancangan modular dengan empat blok pelayanan memberikan fleksibilitas operasional karena sistem tetap dapat dijalankan sebagian saat dilakukan pemeliharaan, serta memungkinkan penambahan unit lanjutan seperti RO apabila kebutuhan meningkat [15], [17].

Efisiensi Pengolahan Berdasarkan Literatur

Tahapan MF berfungsi sebagai penyisih partikel tersuspensi dan kekeruhan awal dengan efisiensi pengurangan kekeruhan 90–95% dan TSS hingga 98% [18], sehingga beban *fouling* pada membran berikutnya berkurang signifikan [15]. Tahapan UF meningkatkan penyisihan mikroorganisme, warna, dan bahan organik alami dengan efisiensi penghilangan *E. coli* dan total coliform mencapai 99–100% [5], menjadikannya *barrier* biologis yang efektif [16]. Tahapan NF efektif menurunkan ion multivalen (Fe^{2+} , Mn^{2+}) dan warna dengan efisiensi 85–95% serta TDS hingga 70–80% [19], [17]. Tahap akhir RO memiliki efisiensi tertinggi dengan penurunan TDS 95–99% dan nitrat/nitrit 90–98% hingga menghasilkan air berkualitas sangat tinggi [16], [17], [20]. Efisiensi total kombinasi keempat tahapan filtrasi dirangkum pada Tabel 6.

Tabel 6. Efisiensi total kombinasi keempat tahapan filtrasi membran

Parameter	Efisiensi Penyisihan (%)	Referensi
Kekeruhan	98 – 99	[18], [5]
Warna	85 – 95	[19]
TSS	98	[16]
TDS	95 – 99	[16], [20]
<i>E. coli</i> & total coliform	99 – 100	[17]
Fe & Mn terlarut	90 – 95	[19]
Nitrit & nitrat	90 – 98	[16], [20]
pH (stabilisasi)	Penyesuaian buffering setelah RO	[17]

Dengan mempertimbangkan karakteristik air Sungai Kahayan yang memiliki kekeruhan tinggi, warna alami, kandungan Fe dan Mn, serta pencemaran mikrobiologis, penerapan konfigurasi pra-perlakuan → UF → NF direkomendasikan sebagai konfigurasi dasar, sementara RO diaktifkan hanya apabila kualitas akhir yang dibutuhkan (misalnya TDS dan nitrat) memerlukannya. Berdasarkan literatur, konfigurasi ini ditargetkan menghasilkan air yang memenuhi baku mutu Permenkes No. 2 Tahun 2023 tanpa bahan kimia tambahan yang signifikan [9], [16], [18].

Analisis Biaya dan Kelayakan

Estimasi biaya investasi (CAPEX) sistem lengkap dengan RO adalah Rp 8,78 miliar dan biaya operasional tahunan (OPEX) Rp 1,7812 miliar. Pada debit desain 873,6 m³/hari, volume tahunan adalah 318.864 m³. Biaya hanya-OPEX dihitung $\text{Rp } 1.781.200.000 \div 318.864 = \text{Rp } 5.586,08/\text{m}^3$. Dengan analisis sederhana CAPEX tanpa bunga, biaya total CAPEX+OPEX adalah Rp 11.093,13/m³ (5 tahun), Rp 8.339,61/m³ (10 tahun), dan Rp 6.962,84/m³ (20 tahun),

sebagaimana dirangkum pada Tabel 7. Perhitungan tingkat-penapisan ini belum memasukkan biaya pembiayaan, inflasi, nilai sisa, variasi utilisasi, atau ketidakpastian harga.

Tabel 7. Ringkasan biaya dan estimasi biaya produksi air

Keterangan	Nilai
Total investasi (CAPEX)	Rp 8.780.000.000 (sekali di awal)
Total operasional (OPEX)	Rp 1.781.200.000 per tahun
Debit dan volume tahunan	873,6 m ³ /hari; 318.864 m ³ /tahun
Biaya produksi – hanya OPEX	Rp 5.586,08/m ³
Biaya total sederhana – CAPEX+OPEX, 5 tahun	Rp 11.093,13/m ³
Biaya total sederhana – CAPEX+OPEX, 10 tahun	Rp 8.339,61/m ³
Biaya total sederhana – CAPEX+OPEX, 20 tahun	Rp 6.962,84/m ³

Dibandingkan skenario tarif PDAM Rp 3.500–Rp 6.000/m³ dengan acuan tengah Rp 4.700/m³ [21], biaya hanya-OPEX Rp 5.586,08/m³ berada dalam kisaran tersebut, sedangkan seluruh skenario CAPEX+OPEX sederhana berada di atasnya. Karena itu, rancangan ini belum dapat dinyatakan lebih hemat atau layak secara ekonomis tanpa kajian kelayakan rinci, optimasi konfigurasi, dan validasi harga. Implementasi juga memerlukan pengendalian fouling, pengelolaan konsentrat dan lumpur, evaluasi energi NF/RO, operator terlatih, serta SOP pemeliharaan [15]–[17].

KESIMPULAN

Studi literatur dan desain ini menghasilkan rancangan konseptual pengolahan air DAS Kahayan zona Pahandut Seberang pada debit 873,6 m³/hari (sekitar 10 L/detik) untuk 728 rumah dalam empat blok. Efisiensi penyisihan yang disajikan berasal dari literatur dan merupakan target desain, bukan hasil uji pilot atau bukti kinerja lapangan. CAPEX diperkirakan Rp 8,78 miliar dan OPEX Rp 1,7812 miliar/tahun; biaya hanya-OPEX adalah Rp 5.586,08/m³, sedangkan biaya sederhana CAPEX+OPEX adalah Rp 11.093,13/m³ (5 tahun), Rp 8.339,61/m³ (10 tahun), dan Rp 6.962,84/m³ (20 tahun). Nilai tersebut belum membuktikan kelayakan ekonomi. Tahap berikutnya perlu mencakup uji pilot, verifikasi mutu efluen, optimasi energi, pengujian fouling, pengelolaan residu, dan analisis kelayakan lengkap.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palangka Raya, serta kepada Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Kalimantan Tengah, Badan Pusat Statistik Kota Palangka Raya, BMKG, dan PDAM Kota Palangka Raya atas dukungan data yang digunakan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] P. H. Gleick, *The World's Water, Volume 10: The Biennial Report on Freshwater Resources*. Washington, DC: Island Press, 2020.
- [2] Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Kalimantan Tengah, *Laporan Pemantauan Kualitas Air Permukaan Sungai Kahayan Periode Tahun 2022*. Palangka Raya: DLH Provinsi Kalimantan Tengah, 2022.
- [3] World Health Organization, *Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking-Water (GLAAS) 2021 Report*. Geneva: WHO, 2021.
- [4] X. Zhang, Y. Wang, X. Liu, C. Liu, and J. Zhang, "Enhanced removal of microplastics from water using a novel magnetic composite hydrogel," *Water Research*, 2019.
- [5] A. Rahman and A. Wicaksono, "Kajian kinerja membran filtrasi pada pengolahan air permukaan," *Jurnal Teknik*, 2020.
- [6] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta, 2019.
- [7] R. Yusuf, *Laporan Pemetaan Wilayah Administrasi Kelurahan Pahandut Seberang Menggunakan ArcGIS*, 2025.
- [8] Badan Pusat Statistik Kota Palangka Raya, *Data Demografi Kecamatan Pahandut Seberang (Tabel Khusus)*. Palangka Raya: BPS Kota Palangka Raya, 2023.

- [9] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*. Jakarta, 2023.
- [10] Direktorat Jenderal Cipta Karya, *Pedoman Teknis Perencanaan Instalasi Pengolahan Air (IPA)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, 2005.
- [11] Badan Informasi Geospasial, *Peta Rupa Bumi Indonesia Skala 1:25.000*. Cibinong: BIG, 2021.
- [12] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, *Data Curah Hujan Harian dan Hari Hujan Stasiun Meteorologi Palangka Raya Tahun 2021*. Palangka Raya: BMKG, 2021.
- [13] Badan Pusat Statistik Kota Palangka Raya, *Kota Palangka Raya Dalam Angka 2022*. Palangka Raya: BPS Kota Palangka Raya, 2022.
- [14] Departemen Pekerjaan Umum, *Standar Perencanaan Kriteria Kebutuhan Air Bersih Perkotaan*. Jakarta: Departemen PU, 2005.
- [15] M. Mulder, *Basic Principles of Membrane Technology*, 2nd ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [16] R. W. Baker, *Membrane Technology and Applications*, 3rd ed. Chichester: Wiley, 2012.
- [17] MWH, *Water Treatment: Principles and Design*, 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2012.
- [18] F. Siregar, "Studi efisiensi ultrafiltrasi untuk penyisihan mikroorganisme," *Jurnal Rekayasa Proses*, 2021.
- [19] T. Utomo, "Nanofiltration technology for groundwater and surface water treatment," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018.
- [20] World Health Organization, *Guidelines for Drinking-water Quality*, 4th ed. Geneva: WHO, 2017.
- [21] PDAM Kota Palangka Raya, *Keputusan Direksi tentang Penetapan Tarif Air Minum Tahun 2023*. Palangka Raya, 2023.