

Desain Awal Instalasi Pengolahan Air Limbah Puskesmas Balai Berkuak dengan Sistem Biofilter Anaerob-Aerob

Kalisto Edimemo Mario Liberto Bima Ratna¹, Asmadi¹✉, Hajimi¹

¹ Jurusan Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Pontianak

E-mail: asmadi.griyahasada@gmail.com

ABSTRACT

Balai Berkuak Community Health Center requires a wastewater treatment plant (WWTP) to support its new building and reduce the risk of wastewater pollution. This study aimed to develop a preliminary WWTP design using an anaerobic-aerobic biofilter system that combines honeycomb media and Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) media. A descriptive observational study was conducted from March to June 2023. The preliminary design used site observations, secondary data, a design flow of 3.0 m³/day (0.125 m³/hour), selected hydraulic retention times, and available land. The proposed treatment train consists of an equalization tank, initial settling tank, anaerobic honeycomb biofilter, aerobic MBBR, aerobic honeycomb biofilter, final settling tank, and indicator tank followed by disinfection. The total effective volume is 5.314 m³, the estimated site requirement is 18.75 m², and the revised construction budget is IDR 102,375,000. The design should be treated as a preliminary planning reference because design flow, hydraulic profile, process parameters, and effluent compliance require verification during detailed engineering design and after construction.

Keywords : *preliminary wastewater treatment plant design, anaerobic-aerobic biofilter, MBBR, health center wastewater, design*

ABSTRAK

Puskesmas Balai Berkuak memerlukan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk mendukung pembangunan gedung baru dan mengurangi risiko pencemaran air limbah. Penelitian ini bertujuan menyusun desain awal IPAL dengan sistem biofilter anaerob-aerob yang mengombinasikan media sarang tawon dan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). Penelitian deskriptif observasional dilaksanakan pada Maret–Juni 2023. Perencanaan awal menggunakan hasil observasi lokasi, data sekunder, debit desain 3,0 m³/hari (0,125 m³/jam), waktu tinggal hidraulik yang digunakan dalam penelitian, dan ketersediaan lahan. Rangkaian unit yang direncanakan terdiri atas bak ekualisasi, bak pengendap awal, biofilter anaerob media sarang tawon, bak aerob MBBR, biofilter aerob media sarang tawon, bak pengendap akhir, dan bak indikator dengan tahap disinfeksi. Total volume efektif seluruh unit sebesar 5,314 m³, kebutuhan lahan diperkirakan 18,75 m², dan anggaran pembangunan setelah koreksi perhitungan RAB sebesar Rp102.375.000,00. Rancangan ini merupakan acuan awal; debit desain, profil hidraulik, parameter proses, dan pemenuhan baku mutu efluen perlu diverifikasi pada tahap DED dan setelah konstruksi.

Kata kunci : *desain awal instalasi pengolahan air limbah, biofilter anaerob-aerob, MBBR, air limbah Puskesmas, desain*

Pendahuluan

Puskesmas merupakan fasilitas pelayanan kesehatan dasar yang menjalankan fungsi promotif, preventif, kuratif, dan rehabilitatif. Selain memberikan pelayanan kesehatan, Puskesmas juga menghasilkan air limbah dari kegiatan sanitasi, pelayanan medis, laboratorium, *laundry*, dan dapur yang perlu dikelola agar tidak menjadi sumber pencemaran

dan penularan penyakit (Ivana et al., 2020; Manisah et al., 2023). Ketersediaan sarana air, sanitasi, dan higiene yang memadai merupakan bagian penting dalam mendukung pelayanan kesehatan yang aman (Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Kesehatan & UNICEF, 2020). Kajian di Siantan Tengah juga menunjukkan bahwa sumber air bersih, sumber air minum, dan sarana penyimpanan sampah

berkaitan dengan kejadian diare, sehingga pengelolaan komponen sanitasi perlu dilakukan secara terpadu (Lidiana et al., 2022).

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 43 Tahun 2019 menegaskan bahwa Puskesmas harus melakukan pengelolaan kesehatan lingkungan, termasuk pengelolaan limbah cair. Oleh karena itu, air limbah perlu diolah sebelum dilepas ke lingkungan. Pada saat artikel ini disusun, acuan baku mutu air limbah domestik telah diperbarui melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2025, yang mencabut Permen LHK P.68/2016. Acuan yang digunakan pada tahap implementasi harus disesuaikan dengan ketentuan yang berlaku. Rantai pengelolaan air limbah perlu memperhatikan penampungan, pengangkutan, pengolahan, dan pembuangan yang aman agar tidak mencemari sumber air dan lingkungan (Hikmi, 2025).

Biofilter media sarang tawon memanfaatkan mikroorganisme yang melekat pada permukaan media untuk menguraikan bahan organik dalam air limbah. Pada kondisi anaerob, biofilm membantu mendegradasi bahan organik tanpa suplai oksigen langsung sehingga dapat menurunkan beban organik sebelum proses aerob (Ronny, 2017).

MBBR merupakan sistem pertumbuhan melekat yang menggunakan media bergerak sebagai tempat tumbuh biofilm. Luas permukaan media meningkatkan kontak antara air limbah, oksigen, dan mikroorganisme sehingga mendukung penguraian bahan organik dan proses nitrifikasi. Teknologi ini dapat dikombinasikan dengan proses anaerob dan aerob serta relatif mudah dioperasikan (Said & Santoso, 2015; Supriyanto & Issa, 2017).

Puskesmas Balai Berkuak mencatat 2.772 kunjungan pasien pada 2022, terdiri atas 2.371 kunjungan nonrawat inap dan 401 kunjungan rawat inap, serta memiliki 82 karyawan. IPAL lama jarang difungsikan karena posisi bak lebih tinggi daripada aliran dari sumber air limbah. Pemeriksaan air limbah tahun 2019 mencatat BOD 76,6 mg/L, COD 140 mg/L, TSS 14,7 mg/L, dan perkiraan debit 3,5 m³/hari. Bila dibandingkan dengan baku mutu yang berlaku saat ini untuk air limbah nonkaku atau gabungan air limbah kaku dan nonkaku yang dibuang ke media air pada debit >3 sampai ≤50 m³/hari, batas BOD adalah 50 mg/L, COD 100 mg/L, dan TSS 50 mg/L. Dengan perbandingan tersebut, BOD dan COD pada data 2019 berada di atas batas, sedangkan TSS masih di bawah batas. Data 2019 digunakan

sebagai gambaran awal masalah; verifikasi kualitas influen dan acuan baku mutu harus dilakukan kembali pada tahap implementasi.

Pada 2023 direncanakan pembangunan gedung baru Puskesmas Balai Berkuak, tetapi desain IPAL belum termasuk dalam perencanaan. Penelitian ini bertujuan menyusun desain awal IPAL Puskesmas Balai Berkuak dengan sistem biofilter anaerob-aerob yang sesuai dengan data kebutuhan dan kondisi lokasi yang tersedia.

Metode

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif observasional yang dilaksanakan pada Maret–Juni 2023 di Puskesmas Balai Berkuak, Kecamatan Simpang Hulu, Kabupaten Ketapang. Objek perencanaan meliputi sumber air limbah, debit desain, lahan yang tersedia, urutan unit pengolahan, serta dimensi unit IPAL untuk pembangunan gedung baru.

Tahapan perencanaan meliputi observasi lokasi, pengumpulan data sekunder, penetapan rangkaian proses, penentuan debit desain dan waktu tinggal, perhitungan volume serta dimensi unit, pembuatan gambar tampak, dan penyusunan rencana anggaran biaya. Debit desain yang digunakan adalah 3.000 L/hari atau 0,125 m³/jam, yang dihitung dari 12 tempat tidur × 250 L/tempat tidur/hari. Angka 250 L/tempat tidur/hari digunakan sebagai asumsi awal kebutuhan air fasilitas kesehatan berdasarkan acuan perencanaan kebutuhan air; nilai tersebut bukan standar khusus Puskesmas dan perlu diverifikasi terhadap konsumsi air aktual, jumlah pengguna, serta aktivitas rawat jalan dan karyawan sebelum konstruksi. Karena data tersebut tidak tersedia dalam naskah, debit 3,0 m³/hari dipertahankan sebagai debit desain awal. Nilai ini lebih rendah daripada perkiraan debit 3,5 m³/hari pada data 2019 sehingga perlu dilakukan verifikasi konservatif untuk mencegah *undersizing*.

Parameter hidraulik yang digunakan adalah waktu tinggal 5 jam pada bak ekualisasi, bak pengendap awal, bak pengendap akhir, dan bak indikator, serta 7,5 jam pada masing-masing reaktor biofilter anaerob, aerob MBBR, dan aerob media sarang tawon. Pemilihan HRT tersebut diperlakukan sebagai parameter awal dan perlu dibandingkan dengan beban organik, karakteristik air limbah, serta kriteria desain teknologi pada tahap DED. Perhitungan volume menggunakan $Q \times T_d$ dan dimensi $P \times L \times T$. Data penelitian belum memuat perhitungan rinci beban organik, persentase pengisian

media, kebutuhan aerasi, laju resirkulasi, dan profil hidraulis; parameter tersebut perlu diverifikasi pada tahap DED.

Hasil dan Pembahasan

Sumber air limbah yang relevan pada Puskesmas berasal dari titik yang menghasilkan limbah cair, antara lain toilet dan wastafel, ruang tindakan dan pelayanan, laboratorium, *laundry*, dapur, serta fasilitas sanitasi lainnya. Aliran dari dapur dapat melalui *grease trap* sebagai pra-perlakuan setempat sebelum masuk ke rangkaian utama. *Grease trap* tidak dihitung sebagai volume inti tujuh bak pada rekapitulasi desain.

Rangkaian proses utama dimulai dari bak ekualisasi untuk meratakan debit dan konsentrasi beban, dilanjutkan bak pengendap awal, biofilter anaerob media sarang tawon, bak aerob MBBR, biofilter aerob media sarang tawon, bak pengendap akhir, dan bak indikator. Proses aerob menggunakan aerasi untuk mendukung penguraian bahan organik dan nitrifikasi. Urutan anaerob-MBBR-aerob dipilih sebagai konfigurasi awal untuk memanfaatkan pertumbuhan biofilm melekat dan proses aerob pada tahap lanjutan. HRT, pengisian media, aerasi, dan hidrodinamika tetap perlu disesuaikan dengan karakteristik influen pada DED.

Setelah proses biologis dan pengendapan, air olahan diarahkan ke bak indikator dan tahap disinfeksi/klorinasi. Pada rancangan ini klorinasi diperlakukan sebagai tahap akhir pada bak indikator, bukan sebagai unit volume terpisah dalam Tabel 1. Dosis klorin dan waktu kontak belum ditetapkan karena data desain tersebut belum tersedia dalam penelitian, sehingga harus ditentukan pada DED berdasarkan debit, kualitas effluen, kebutuhan residual, dan ketentuan baku mutu. Effluen hanya dapat dilepas ke lingkungan setelah memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan. Karena penelitian ini berupa desain awal, kinerja pengolahan dan kualitas effluen belum dapat dinyatakan sebelum IPAL dibangun dan diuji.

Masalah elevasi pada IPAL lama menjadi perhatian penting dalam penerapan rancangan baru. Penempatan elevasi *inlet*, antarunit, dan *outlet* perlu memastikan aliran gravitasi yang memadai. Profil elevasi numerik belum tersedia dalam data penelitian, sehingga kebutuhan pompa dan beda tinggi antarunit belum dapat ditetapkan secara final. Pada DED perlu dilakukan pengukuran elevasi lapangan dan

dibuat profil hidraulis *inlet*-antarunit-*outlet* agar masalah aliran pada IPAL lama tidak terulang.

Berdasarkan debit desain 3,0 m³/hari (0,125 m³/jam) dan waktu tinggal yang digunakan, volume efektif unit berkisar 0,625–0,938 m³. Tinggi 1,25 m pada tabel dipertahankan sebagai tinggi perhitungan volume sesuai data penelitian. Detail *freeboard* 0,15 m dan tinggi konstruksi perlu dikonfirmasi kembali terhadap gambar teknis pada tahap DED agar tidak terjadi perbedaan antara tinggi efektif dan tinggi total konstruksi.

Hasil akhir perhitungan dimensi setiap unit disajikan pada Tabel 1. Perhitungan rinci langkah demi langkah tidak ditampilkan dalam artikel agar penyajian berfokus pada parameter desain dan hasil akhir.

Total volume efektif tujuh unit adalah 5,314 m³ dengan total waktu tinggal nominal 42,5 jam. Nilai ini merupakan jumlah volume unit, bukan kapasitas pengolahan harian; kapasitas pengolahan yang digunakan sebagai debit desain awal adalah 3,0 m³/hari. Hasil ini perlu dibaca sebagai konfigurasi awal karena HRT dan parameter proses belum diverifikasi terhadap beban organik aktual.

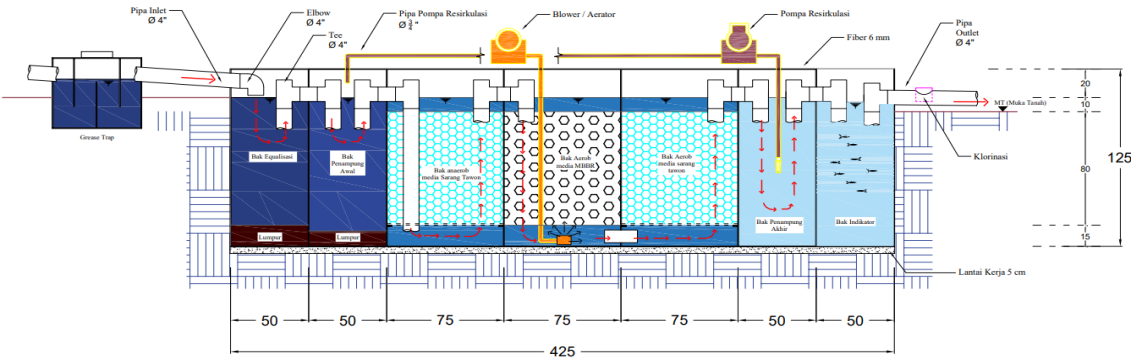
Tabel 1. Rekapitulasi Dimensi Unit IPAL

No	Unit	Dimensi (m)			Volume efektif (m ³)	Td (jam)
		Panjang	Lebar	Tinggi perhitungan		
1	Bak ekualisasi	0,5	1	1,25	0,625	5
2	Bak penampungan awal	0,5	1	1,25	0,625	5
3	Biofilter anaerob media sarang tawon	0,75	1	1,25	0,938	7,5
4	Bak aerob MBBR	0,75	1	1,25	0,938	7,5
5	Biofilter aerob media sarang tawon	0,75	1	1,25	0,938	7,5
6	Bak penampungan akhir	0,5	1	1,25	0,625	5
7	Bak indikator	0,5	1	1,25	0,625	5
Total		4,25	—	—	5,314	42,5

Sumber: Data Primer, 2026

Tabel 1 menunjukkan hasil akhir dimensi tujuh unit IPAL. Dengan susunan unit satu garis, panjang total efektif adalah 4,25 m dan lebar 1 m, sehingga tapak inti sebesar 4,25 m². Penambahan area bebas 1 m pada setiap sisi menghasilkan kebutuhan lahan sekitar $(4,25 + 2) \times (1 + 2) = 18,75 \text{ m}^2$.

merupakan kebutuhan tapak minimum berdasarkan susunan unit pada rancangan, bukan hasil pengukuran luas lahan aktual. Ketersediaan lahan di lapangan tetap perlu diverifikasi melalui pengukuran tapak dan pengecekan akses, drainase, serta jarak aman sebelum konstruksi.



Gambar 1. Tampak Samping Desain IPAL Puskesmas Balai Berkuak

Gambar 1 memperlihatkan susunan proses, arah aliran, media biofilter, sistem aerasi/resirkulasi, *grease trap* sebagai pra-perlakuan, serta klorinasi sebagai tahap disinfeksi. Gambar digunakan sebagai skema rancangan awal. Karena data elevasi numerik belum tersedia, profil hidraulik dan titik kebutuhan pompa belum dapat ditampilkan secara final dan harus diselaraskan pada DED. Konfigurasi MBBR perlu memperhatikan HRT, pengisian media, aerasi, dan pergerakan media karena parameter tersebut memengaruhi kinerja

dan hidrodinamika reaktor (Gupta et al., 2022; Tiwari & Pophali, 2025). Berdasarkan data biaya tahun 2023, estimasi pembangunan IPAL setelah koreksi penjumlahan RAB adalah Rp102.375.000,00. Harga reaktor pada RAB menggunakan pembulatan satuan 1,0 m³ per unit sesuai data estimasi yang tersedia, meskipun volume efektif hasil desain berkisar 0,625–0,938 m³; karena itu RAB perlu diperbarui ketika volume pekerjaan rinci dan harga satuan final tersedia.

Tabel 2. Rencana Anggaran Biaya IPAL Puskesmas Balai Berkuak

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH (Rp)
I REAKTOR BAK IPAL				
1	Bak Ekualisasi	1,0 m ³	6.000.000,-	6.000.000,-
2	Bak Penampung Awal	1,0 m ³	6.000.000,-	6.000.000,-
3	Bak Anaerob Media Sarang Tawon	1,0 m ³	6.000.000,-	6.000.000,-
4	Bak Aerob Media MBBR	1,0 m ³	6.000.000,-	6.000.000,-
5	Bak Aerob Media Sarang Tawon	1,0 m ³	6.000.000,-	6.000.000,-
6	Bak Penampung Akhir	1,0 m ³	6.000.000,-	6.000.000,-
7	Bak Indikator	1,0 m ³	6.000.000,-	6.000.000,-
II BELANJA PERALATAN DAN BAHAN				
1	Media biofilter sarang tawon	2 m ³	1.550.000,-	3.100.000,-
2	Pompa Resirkulasi	1 Unit	3.500.000,-	3.500.000,-
3	Aerator/blower	1 Unit	350.000,-	350.000,-
4	Klorinator + kaporit tablet	1 Paket	350.000,-	350.000,-
5	Soket T pipa PVC 4"	12 pcs	55.000,-	660.000,-
6	Soket L pipa PVC AW ¾"	4 pcs	15.000,-	60.000,-
7	Lem pipa PVC	1 kaleng	45.000,-	45.000,-
8	Pipa dan aksesoris untukudukan/plat media	1 Paket	950.000,-	950.000,-
9	Media biofilter MBBR	20 Kg	350.000,-	7.000.000,-
10	Semen	20 sak	83.000,-	1.660.000,-
11	Pasir	6 m ³	300.000,-	1.800.000,-
12	Rumah/atap IPAL	19 m ²	550.000,-	10.450.000,-
13	Pagar besi IPAL	19 m ²	550.000,-	10.450.000,-
14	Instalasi kelistrikan	1 Paket	3.000.000,-	3.000.000,-
15	Upah tukang gali	1 Paket	1.000.000,-	1.000.000,-
16	Transportasi dan ekspedisi Pontianak–Ketapang	1 paket	8.500.000,-	8.500.000,-
17	Tenaga ahli/konsultan, instalasi, dan akomodasi tenaga kerja	5 hari × 5 orang	300.000,-	7.500.000,-
Jumlah				102.375.000,-

PENUTUP

Desain awal IPAL Puskesmas Balai Berkuak menggunakan rangkaian biofilter anaerob-aerob yang terdiri atas bak ekualisasi, bak pengendap awal, biofilter anaerob media sarang tawon, bak aerob MBBR, biofilter aerob media sarang tawon, bak pengendap akhir, dan bak indikator dengan tahap disinfeksi. Berdasarkan debit desain awal 3,0 m³/hari, total volume efektif seluruh unit adalah 5,314 m³ dengan kebutuhan tapak minimum sekitar 18,75 m² dan estimasi biaya pembangunan setelah koreksi RAB sebesar Rp102.375.000,00. Rancangan ini merupakan bahan pertimbangan awal; debit dari seluruh aktivitas Puskesmas, profil hidraulik, detail *freeboard*, beban organik, pengisian media, kebutuhan aerasi, dosis dan waktu kontak klorinasi, serta kualitas efluen harus diverifikasi pada DED. Setelah konstruksi, diperlukan *commissioning*, pengujian kualitas efluen, dan penetapan SOP

operasi dan pemeliharaan sebelum IPAL dinyatakan siap digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Kesehatan, & UNICEF. (2020). Profil ketersediaan sarana air, sanitasi, dan higiene di Puskesmas tahun 2020.
- Hariyani, N., & Sarto, S. (2018). Evaluasi penggunaan biofilter anaerob-aerob untuk meningkatkan kualitas air limbah rumah sakit. *Berita Kedokteran Masyarakat*, 34(5), 199–204.
- Ivana, T., Taraneti, D., & Permana, L. I. (2020). Analisis kepuasan pasien dalam pelayanan kesehatan di Puskesmas Pembantu Parapak Kabupaten Barito Selatan tahun 2019. *Jurnal Keperawatan Suaka Insan (JKSI)*, 5(1), 133–142.
- Kementerian Lingkungan Hidup/Badan

- Pengendalian Lingkungan Hidup RI. (2025). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2025 tentang Baku Mutu Air Limbah dan Standar Teknologi Pengolahan Air Limbah untuk Air Limbah Domestik.
- Kementerian Kesehatan RI. (2019). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 43 Tahun 2019 tentang Puskesmas.
- Manisah, M., Kustiawan, K., & Novi, W. (2023). Analisis kualitas pelayanan kesehatan di UPT Puskesmas Kecamatan Ungar Kabupaten Karimun. Universitas Maritim Raja Ali Haji.
- Ronny, R. (2017). Kemampuan biofilter sarang tawon dalam menurunkan kadar BOD dan COD pada limbah cair Rumah Sakit Pendidikan Universitas Hasanuddin. Prosiding Seminar Nasional Tahun 2017, 1(2), 360–366.
- Gupta, B., Gupta, A. K., Ghosal, P. S., Lal, S., Saidulu, D., Srivastava, A., & Upadhyay, M. (2022). *Recent advances in application of moving bed biofilm reactor for wastewater treatment: Insights into critical operational parameters, modifications, field-scale performance, and sustainable aspects. Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107742. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107742>
- Tiwari, H., & Pophali, G. R. (2025). *Review of improved hydrodynamics in moving bed biofilm reactors (MBBRs) for wastewater treatment: A way forward. Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(3), 116751. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.116751>
- Triatmodjo, B. (2019). Hidrologi Terapan (Cetakan ke-7). Beta Offset, Yogyakarta.
- Lidiana, S., Saepudin, M., & Adib, M. (2022). Hubungan sanitasi lingkungan dengan kejadian diare pada masyarakat di wilayah kerja Puskesmas Siantan Tengah pada tahun 2021. *Journal of Environmental Health and Sanitation Technology*, 1(1), 67–73. <https://doi.org/10.30602/jehast.v1i1.76>
- Hikmi, N. (2025). Pengelolaan sarana pembuangan limbah cair domestik pada situasi bencana. Dalam H. Ali dkk., Sanitasi siaga bencana (hlm. 135–145). Eureka Media Aksara.