

TESIS

**EVALUASI KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
DOMESTIK DI IPAL HKSNDAN DAN IPAL SUNGAI ANDAI :
DITINJAU DARI ASPEK TEKNIS DAN ASPEK FINANSIAL**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Magister (S2) Teknik Lingkungan**



**HILYATULGINA
22927007**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025**

TESIS

**EVALUASI KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
DOMESTIK DI IPAL HKSNDAN DAN IPAL SUNGAI ANDAI :
DITINJAU DARI ASPEK TEKNIS DAN ASPEK FINANSIAL**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Magister (S2) Teknik Lingkungan**




**HILYATUL GINA
22927007**

Disetujui,
Dosen Pembimbing:


(Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T.)

NIK. 025100407

Tanggal:


(Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.)

NIK. 165131306

Tanggal:

Mengetahui,

Ketua Prodi Magister Teknik Lingkungan FTSP UII



(Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T.)

NIK. 025100407

Tanggal:

HALAMAN PENGESAHAN

EVALUASI KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK DI IPAL HKSNDAN DAN IPAL SUNGAI ANDAI : DITINJAU DARI ASPEK TEKNIS DAN ASPEK FINANSIAL

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Rabu
Tanggal : 9 April 2025

Disusun Oleh:

HILYATUL GINA
22927007

Tim Penguji :

Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T.

Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.

Dr. Eng. Ir. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.

()
()
()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 24 Maret 2025

Yang membuat pernyataan,



Hilyatul Gina

NIM: 22927007

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan mengucapkan Syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya penulis telah diberi kemampuan untuk menyelesaikan penulisan tesis dengan judul **“Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik di IPAL HKSJN dan IPAL Sungai Andai : Ditinjau dari Aspek Teknis dan Aspek Finansial”**.

Penyusunan laporan ini bertujuan untuk memenuhi syarat akademik untuk mendapatkan gelar Magister Teknik bagi Mahasiswa Program S2 Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan laporan ini penulis banyak mendapatkan semangat, dukungan, dorongan dan bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini perkenankan penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. sebagai dosen pembimbing penulis sedari S-1 yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membantu dan membimbing. Dan juga Bapak Dr. Eng. Ir. Awaluddin Nurmianto, S.T., M.Eng. sebagai dosen penguji penulis sedari S-1 yang sudah memberi banyak masukan positif untuk mengembangkan tesis penulis agar menjadi lebih baik.
2. Bapak Deris, Bapak Hendy, Bapak Ahmad Yani, dan Ibu Suci selaku management Perumda PALD Banjarmasin yang telah membantu penulis untuk mendapatkan data-data yang digunakan dalam penelitian ini.
3. Kedua orang tua penulis yang telah membiayai seluruh program S2 dan senantiasa mendukung dan mendoakan penulis untuk menyelesaikan tesis ini.
4. Refki Reza Syachbudi, suami serta bapak dari anak penulis yang bernama Albyandra Kareem, yang selalu sabar untuk menyemangati penulis.
5. Nur Rana Faizah, selaku adik penulis yang telah meminjamkan laptopnya untuk mensupport perkuliahan serta berpartisipasi mendukung dalam pengambilan data-data untuk penelitian ini.
6. Teman-teman seperjuangan di Program Studi Magister Teknik Lingkungan Universitas Islam yang telah membantu banyak hal dalam menyelesaikan kuliah S2 ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi menyempurnakan tesis ini. Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi para pembacanya dan dapat ditindaklanjuti dengan pengimplementasian saran.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 25 Maret 2025

ABSTRAK

Kota Banjarmasin memiliki 7 Instalasi Pengelolaan Air Limbah Domestik (IPAL), dengan status 6 IPAL yang beroperasi dan 1 IPAL belum beroperasi. IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai dipilih untuk menjadi lokasi penelitian ini dikarenakan melayani kecamatan yang sama yaitu kecamatan Banjarmasin Utara. Dalam dokumen Strategi Sanitasi Kota (SSK) Banjarmasin, target penambahan SR sebesar 6.500 setiap tahunnya. Namun realitanya dari tahun 2015 hingga 2018 berdasarkan data dari dokumen SSK Kota Banjarmasin, penambahan pelanggan Perumda PALD hanya meningkat 108 SR setiap tahunnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas kinerja dari kedua IPAL, menganalisis faktor yang menyebabkan rendahnya pertumbuhan pelanggan, menganalisis aspek finansial berdasarkan data pemasukan dari pelanggan dengan biaya operasional dan pemeliharaan IPAL, serta memberikan skenario retribusi terbaik yang dapat diterapkan untuk meningkatkan keberlanjutan finansial Perumda PALD. Dari data penelitian yang telah dilakukan dalam aspek teknis, konsentrasi air limbah *effluent* dari bulan Januari 2023 – Desember 2024 untuk parameter pH, TSS, ammonia, COD, BOD, dan total *Coliform* memenuhi baku mutu berdasarkan Permen LHK Nomor 68/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Analisis biaya dan manfaat menunjukkan bahwa kedua IPAL tidak layak secara finansial, dengan Net Present Value (NPV) yang negatif dan Benefit-Cost Ratio (BCR) di bawah 1, yang berarti pendapatan dari pelanggan saja tidak cukup untuk memenuhi biaya operasional dan pemeliharaan IPAL. Faktor utama yang menyebabkan rendahnya pertumbuhan pelanggan adalah tidak adanya subsidi dan dukungan untuk penambahan jumlah SR dari pemerintah daerah karena perusahaan ini berdiri sendiri. Skenario yang dapat dilakukan oleh Perumda PALD adalah dengan meningkatkan biaya retribusi dari pelanggan, atau dengan menambah jumlah layanan SR dengan melibatkan dukungan dan kerjasama dari pemerintah untuk memenuhi biaya operasional dan pemeliharaan kedua IPAL agar tercipta keberlanjutan finansial Perumda PALD.

Kata kunci: Aspek Finansial, Aspek Teknis, IPAL Domestik, Perumda PALD Banjarmasin

ABSTRACT

Banjarmasin City have 7 Waste Water Treatment Plant (WWTP), with the status of 6 WWTPs operating and 1 WWTP not yet operating. HKSJ WWTP and Sungai Andai WWTP were selected for this study because they serve the same sub-district, namely North Banjarmasin sub-district. In the Banjarmasin City Sanitation Strategy (SSK) document, the target of adding SR is 6,500 each year. However, in reality from 2015 to 2018 based on data from the Banjarmasin City SSK document, the number of Perumda PALD customers only increased by 108 SR each year. This study aims to determine the effectiveness of the performance of the two WWTPs, analyze the factors that cause low customer acquisition, analyze the financial aspects based on revenue data from customers with operational and maintenance costs of WWTPs, and provide the best levy scenario that can be applied to improve the financial sustainability of Perumda PALD. From the research data that has been conducted in the technical aspect, the effluent wastewater concentrations from January 2023 - December 2024 for the parameters of pH, TSS, ammonia, COD, BOD, and total Coliform meet the quality standards based on Regulation of the Minister of Environment and Forestry of Republic Indonesia Number P.68/2016 concerning Domestic Wastewater Quality Standards. The cost-benefit analysis shows that both WWTPs are not financially viable, with a negative Net Present Value (NPV) and Benefit-Cost Ratio (BCR) below 1, meaning that revenue from customers alone is not sufficient to meet the operational and maintenance costs of the WWTPs. The main factor leading to low customer growth is the absence of subsidies and support for additional SRs from the local government as the company is independent. Possible scenarios for Perumda PALD are to increase user charges from customers, or to increase the number of SR services by involving support and cooperation from the government to meet the operational and maintenance costs of the two WWTPs in order to create financial sustainability for Perumda PALD.

Keywords: Financial Aspects, Technical Aspects, Domestic WWTP, Perumda PALD Banjarmasin

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan dan Manfaat.....	3
1.4 Batasan dan Ruang Lingkup Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Air Limbah Domestik.....	6
2.2 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik (SPALD).....	7
2.3 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T).....	8
2.4 Kondisi Pencemaran <i>Black Water</i> dan <i>Grey Water</i> yang Belum Tertangani di Kota Banjarmasin.....	12
2.5 Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Tipe <i>Rotating Biological Contractor</i> (RBC).....	15
2.6 Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Tipe <i>Rotating Biological Contractor</i> (RBC) di IPAL Kota Banjarmasin.....	19
2.7 Gambaran Umum IPAL HKSNI.....	23
2.8 Gambaran Umum IPAL Sungai Andai.....	24
2.9 Aspek Teknis.....	26
2.10 Aspek Finansial.....	26
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	29

3.1 Kerangka Penelitian	29
3.2 Lokasi Penelitian.....	29
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	30
3.4 Metode Pengumpulan Data.....	30
3.4.1 Metode Pengumpulan Data Primer.....	30
3.4.2 Metode Pengumpulan Data Sekunder.....	31
3.5 Analisis Data Aspek Teknis.....	32
3.5.1 Analisis Kualitas Air Limbah Domestik.....	32
3.5.2 Analisis Kondisi Eksisting IPAL.....	32
3.5.3 Kapasitas Pengolahan Air Limbah Domestik.....	33
3.5.4 Analisa Efektivitas Kinerja IPAL.....	33
3.6 Analisis Data Aspek Finansial.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Aspek Teknis IPAL.....	35
4.1.1 Aspek Teknis IPAL HKSN.....	35
4.1.2 Aspek Teknis IPAL Sungai Andai.....	37
4.2 Analisis Kualitas Air Limbah dan Efisiensi Removal pada IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai.....	42
4.2.1 pH.....	45
4.2.2 TSS (Total Suspended Solid).....	47
4.2.3 BOD (Biological Oxygen Demand).....	49
4.2.4 COD (Chemical Oxygen Demand).....	51
4.2.5 Minyak dan Lemak.....	53
4.2.6 Amonia.....	54
4.2.7 Total Coliform.....	56
4.3 Analisis <i>T-Test Paired Two Sample</i> dengan <i>Software Microsoft Excel</i>	59
4.4 Aspek Finansial.....	60

4.4.1 Estimasi Biaya Investasi Awal.....	60
4.4.2 Proyeksi Biaya Operasional dan Pemeliharaan.....	61
4.4.3 Sumber Pendapatan.....	62
4.4.4 Cost-Benefit Analysis	64
4.4.5 Strategi Keberlanjutan Finansial	66
4.5 Skenario Penambahan Jumlah SR.....	68
4.5.1 Aspek Teknis.....	68
4.5.2 Aspek Finansial.....	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN 1.....	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Domestik Tersendiri	7
Tabel 2. 2 Beban Pencemar <i>Black Water</i> dan <i>Grey Water</i> yang Belum Tertangani.....	12
Tabel 2. 3 Cakupan Layanan Air Limbah Domestik	13
Tabel 2. 4 Kondisi Sarana dan Prasarana Pengelolaan Air Limbah Domestik	14
Tabel 2. 5 Kapasitas Desain dan Jumlah SR Berdasarkan Data Dokumen SSK 2020	21
Tabel 2. 6 Kriteria Desain RBC	22
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Penelitian.....	30
Tabel 4. 1 Total Debit Rata-rata Air Limbah yang Masuk ke IPAL HKSAN	36
Tabel 4. 2 Debit Rata-rata Air Limbah Berdasarkan Teori Analisis.....	36
Tabel 4. 3 Dimensi Bak Pengolahan IPAL HKSAN	37
Tabel 4. 4 Total Debit Rata-rata Air Limbah yang Masuk ke IPAL Sungai Andai.....	38
Tabel 4. 5 Debit Rata-rata Air Limbah Berdasarkan Teori Analisis.....	39
Tabel 4. 6 Dimensi Bak Pengolahan IPAL Sungai Andai	39
Tabel 4. 7 Kriteria Desain RBC	40
Tabel 4. 8 Hubungan Antara Konsentrasi BOD Inlet dan Beban BOD.....	41
Tabel 4. 9 Komparasi Desain IPAL dengan Kriteria Desain RBC	42
Tabel 4. 10 Perbandingan Nilai Konsentrasi Parameter Uji dengan Baku Mutu.....	44
Tabel 4. 11 Efisiensi Removal Rata-rata di IPAL HKSAN dan IPAL Sungai Andai	45
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian <i>T-Test Paired Two Sample</i>	60
Tabel 4. 13 Data Asumsi Pengeluaran IPAL Dalam 1 Bulan	61
Tabel 4. 14 Data Pembiayaan IPAL HKSAN dan IPAL Sungai Andai	62
Tabel 4. 15 Data Pendapatan IPAL HKSAN	63
Tabel 4. 16 Data Pendapatan IPAL Sungai Andai	63
Tabel 4. 17 Perhitungan Biaya dan Manfaat IPAL HKSAN	65
Tabel 4. 18 Perhitungan NPV dan BCR IPAL HKSAN.....	65
Tabel 4. 19 Perhitungan Biaya dan Manfaat IPAL Sungai Andai	66
Tabel 4. 20 Perhitungan NPV dan BCR IPAL Sungai Andai.....	66
Tabel 4. 21 Penambahan Jumlah SR Berdasarkan Debit <i>Real</i> yang Masuk	68
Tabel 4. 22 Penambahan Jumlah SR Berdasarkan Debit <i>Teoritis</i> yang Masuk.....	68
Tabel 4. 23 Jumlah Penduduk Per Kelurahan	69
Tabel 4. 24 Simulasi Penambahan Jumlah SR pada IPAL HKSAN.....	69

Tabel 4. 25 Jumlah Penduduk Per Kelurahan	70
Tabel 4. 26 Simulasi Penambahan Jumlah SR pada IPAL Sungai Andai.....	70
Tabel 4. 27 Biaya Retribusi Per SR	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prasarana dan Sarana Sub-sistem Pelayanan.....	8
Gambar 2. 2 Sub-sistem <i>Shallow Sewer</i>	10
Gambar 2. 3 Sub-sistem Small Bore Sewer	10
Gambar 2. 4 Skema Pengolahan Air Limbah Domestik	11
Gambar 2. 5 Beberapa Jenis Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik	11
Gambar 2. 6 Mekanisme Pengolahan Bahan Organik dengan RBC.....	16
Gambar 2. 7 Mekanisme Penghilangan Amonia Dalam Proses Biofilter	16
Gambar 2. 8 <i>Staging</i> RBC.....	18
Gambar 2. 9 Sistem Pengolahan <i>Rotating Biological Contractor</i> (RBC).....	23
Gambar 2. 10 Sistem Pengolahan <i>Rotating Biological Contractor</i> (RBC) di IPAL HKSAN (A) dan IPAL Sungai Andai (B).....	23
Gambar 2. 11 Lokasi IPAL HKSAN dan Sungai Andai.....	24
Gambar 2. 12 Diagram Alir Pengolahan Air Limbah di IPAL HKSAN (A) dan IPAL Sungai Andai (B).....	26
Gambar 4. 1 IPAL HKSAN	43
Gambar 4. 2 IPAL Sungai Andai	44
Gambar 4. 3 Grafik pH IPAL HKSAN.....	46
Gambar 4. 4 Grafik pH IPAL Sungai Andai	47
Gambar 4. 5 Grafik Konsentrasi TSS dan Efisiensi Removal IPAL HKSAN.....	48
Gambar 4. 6 Grafik Konsentrasi TSS dan Efisiensi Removal IPAL Sungai Andai.....	48
Gambar 4. 7 Grafik Konsentrasi BOD dan Efisiensi Removal IPAL HKSAN	50
Gambar 4. 8 Grafik Konsentrasi BOD dan Efisiensi Removal IPAL Sungai Andai	50
Gambar 4. 9 Grafik Konsentrasi COD dan Efisiensi Removal IPAL HKSAN	52
Gambar 4. 10 Grafik Konsentrasi COD dan Efisiensi Removal IPAL Sungai Andai	52
Gambar 4. 11 Grafik Konsentrasi Minyak & Lemak dan Efisiensi Removal IPAL HKSAN	54
Gambar 4. 12 Grafik Konsentrasi Minyak & Lemak dan Efisiensi Removal IPAL Sungai Andai.....	54
Gambar 4. 13 Grafik Konsentrasi Amonia dan Efisiensi Removal IPAL HKSAN.....	56
Gambar 4. 14 Grafik Konsentrasi Amonia dan Efisiensi Removal IPAL Sungai Andai.....	56
Gambar 4. 15 Grafik Total <i>Coliform</i> dan Efisiensi Removal IPAL HKSAN.....	58
Gambar 4. 16 Grafik Total <i>Coliform</i> dan Efisiensi Removal IPAL Sungai Andai.....	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Julukan “Kota Seribu Sungai” menjadikan sungai sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari Kota Banjarmasin. Meski banyak sungai di kota ini, Banjarmasin tidak terlepas dari permasalahan pencemaran air sungai yang begitu parah. Pencemaran di sungai ini akibat dari kelalaian masyarakatnya sendiri, misalnya membuang limbah domestik sembarangan, membuang tinja secara langsung ke sungai, dan pembangunan rumah di bantaran sungai yang menjadikan pemukiman kumuh di Kota Banjarmasin (Anastasya Bisa & Nasruddin, 2022).

Permasalahan air limbah domestik menjadi permasalahan yang serius jika tidak dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan/badan air. Masyarakat Indonesia sebagian besar tidak menyalurkan air limbah domestik mereka menuju IPAL komunal, air limbah domestik tersebut langsung dibuang ke lingkungan atau ke jaringan drainase atau langsung ke sungai. Dibeberapa kota besar misalnya di Kota Banjarmasin belum begitu banyak yang melakukan pengolahan air limbah domestik. Masyarakat Kota Banjarmasin yang mayoritas tinggal dilahan tanah gambut maupun dipinggir sungai biasanya membuang air limbah domestik mereka secara langsung ke bawah rumah karena rumah dikota ini kebanyakan merupakan rumah panggung atau biasanya dibuang secara langsung menuju sungai.

Air limbah yang melebihi baku mutu dapat mencemari lingkungan sekitar seperti badan air menjadi berwarna coklat dan mengeluarkan bau busuk, kematian pada ikan, hingga penyebaran sumber penyakit. Untuk itu, perlu adanya pengolahan agar air limbah domestik tidak mencemari lingkungan ketika dilepaskan ke lingkungan dan dapat dimanfaatkan kembali sebagai air untuk kegiatan penunjang kehidupan misalnya untuk menyiram tanaman, mencuci kendaraan, dan lainnya (Bakkara, 2022)

Untuk mencapai kehidupan yang lebih baik dan berkelanjutan maka Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) menetapkan serangkaian tujuan, ada 17 tujuan yang saling terkait dan saling mendukung. Tujuan tersebut dikenal dengan sebutan

SDGs (*Sustainable Development Goals*). Pada tujuan nomor 6 disebutkan menjamis ketersediaan dan manajemen air dan sanitasi secara berkelanjutan. Peran serta pemerintah sangat berpengaruh dalam mewujudkan tujuan ini. Oleh karena itu, dalam rangka mempercepat capaian target dari akses sanitasi aman, pemerintah membentuk Badan Layanan Umum Daerah (BULD) untuk Pengelolaan Air Limbah Domestik (PALD).

Kota Banjarmasin memiliki PALD yang dikenal dengan nama Perumda PALD (Perusahaan Umum Daerah Pengelolaan Air Limbah Domestik). Terdapat 7 IPAL di Kota Banjarmasin, dengan rincian 6 IPAL sudah beroperasi dan 1 IPAL belum beroperasi. Untuk menunjang capaian target akses sanitasi aman maka Pokja Sanitasi Kota Banjarmasin menyusun Dokumen SSK (Strategi Sanitasi Kota Banjarmasin). Disebutkan bahwa masyarakat terlayani limbah domestik pada tahun 2018 yaitu 7.072 SR (sambungan rumah) pelanggan, dengan target penambahan SR sebesar 6.500 setiap tahunnya. Namun realitanya dari tahun 2015 hingga 2018 berdasarkan data dari dokumen SSK Kota Banjarmasin, penambahan pelanggan Perumda PALD hanya meningkat 108 SR setiap tahunnya.

Dengan jumlah pelanggan Perumda PALD tersebut disebutkan bahwa biaya operasional Perumda PALD perbulannya mencapai Rp 500 juta, berbanding terbalik dengan pendapatan yang didapatkan dari pembayaran pelanggan hanya Rp 360 juta perbulan. Sejak adanya Perumda PALD pada tahun 2007 hingga 2021, aset yang dimiliki menyusut hingga Rp 88 miliar, penyusutan ini diakibatkan besarnya biaya operasional yang tidak tercover dari pendapatan yang didapat. Pembiayaan operasional dari pelanggan dikenakan biaya 25% dari pembayaran air bersih PDAM, pembayaran layanan Perumda PALD ini dilakukan saat pelanggan membayar air bersih PDAM setiap bulannya. Dan untuk pembayaran dari Masyarakat Berpenghasilan Rendah (MBR) hanya dikenakan biaya 12,5% dari pembiayaan air bersih PDAM. Cakupan jaringan instalasi IPAL ini masih 4,45% dari jumlah penduduk yang ada di Kota Banjarmasin. Pada bulan April 2024 sudah ditetapkan biaya layanan terbaru yaitu dengan berdasarkan luasan bangunan dan seluruh masyarakat Banjarmasin baik yang berlangganan maupun tidak berlangganan sudah dikenakan biaya layanan Perumda PALD ini, namun sistem biaya layanan seperti ini hanya bertahan 2 bulan hingga bulan Juni 2024. Pada

bulan Juli 2024, biaya layanan IPAL hanya dibayarkan oleh pelanggan dan masih dilakukan evaluasi oleh pihak Perumda PALD bagaimana skenario retribusi terbaik untuk ditetapkan di Kota Banjarmasin.

Agar tercipta kinerja operasional dan pembiayaan IPAL yang baik, ditinjau dari banyaknya Sambungan Rumah (SR) yang sudah ada maka IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai dipilih untuk dilakukan kajian mendalam mengenai Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik didasarkan pada aspek teknis untuk mengetahui seberapa efektif teknologi pengolahan yang sudah ada dan juga aspek finansial untuk menyeimbangkan antara biaya pemasukan perusahaan Perumda PALD dan biaya pengeluaran operasional dan pemeliharaan pengolahan air limbah dikarenakan kedua IPAL ini melayani 1 kecamatan yang sama, yaitu Kecamatan Banjarmasin Utara. Sehingga setelah dilakukan kajian, dapat dilakukan perbaikan sistem dan mengantisipasi kendala yang muncul dimasa yang akan datang agar pengolahan dapat selalu berjalan optimal dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Terkait dengan uraian pada sub-bab latar belakang, maka dirumuskan beberapa permasalahan dalam penelitian ini antara lain yaitu:

1. Bagaimana kualitas *effluent* dengan *influent*, efisiensi *removal*, dan efektivitas kinerja sistem IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai dengan teknologi RBC (*Rotating Biological Contractor*).
2. Faktor yang menyebabkan rendahnya pertambahan pelanggan Perumda PALD dibandingkan dengan target yang telah ditetapkan.
3. Bagaimana perbandingan antara biaya operasional dan pendapatan Perumda PALD, serta faktor utama yang menyebabkan defisit anggaran.
4. Bagaimana skenario retribusi terbaik yang dapat diterapkan untuk meningkatkan keberlanjutan finansial Perumda PALD.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan diadakannya penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Menganalisis perbandingan kualitas effluent dengan influent, efisiensi removal, dan efektivitas kinerja sistem IPAL dengan teknologi RBC

- (Rotating Biological Contractor).
2. Menganalisis perbandingan kualitas *effluent* dengan *influent*, efisiensi *removal*, dan efektivitas kinerja sistem IPAL dengan teknologi RBC (*Rotating Biological Contractor*).
 3. Mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan rendahnya pertumbuhan pelanggan Perumda PALD dibandingkan dengan target yang telah ditetapkan.
 4. Mengevaluasi keseimbangan antara biaya operasional dan pendapatan Perumda PALD untuk mengetahui penyebab defisit anggaran.
 5. Mengkaji skenario retribusi terbaik yang dapat diterapkan guna meningkatkan keberlanjutan finansial Perumda PALD.

Manfaat yang diharapkan dari dilakukannya penelitian ini diantaranya:

1. Memberikan kontribusi sebagai informasi dan bahan acuan untuk penelitian yang lebih lanjut terkait evaluasi kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Terpusat khususnya di Kota Banjarmasin.
2. Hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi ilmiah bagi pengembangan kebijakan sanitasi perkotaan yang lebih efektif dan berkelanjutan.
3. Menyediakan data dan analisis yang dapat digunakan oleh Pemerintah Kota Banjarmasin dalam merancang kebijakan yang lebih baik terkait sanitasi dan pengelolaan air limbah.
4. Membantu dalam menentukan skenario retribusi yang optimal untuk keberlanjutan finansial Perumda PALD.

1.4 Batasan dan Ruang Lingkup Penelitian

Batasan dan ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut guna memperoleh analisa yang dilakukan tetap terarah, yaitu:

- a. Ruang lingkup materi dalam penulisan adalah evaluasi kinerja IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai dibawah naungan Perusahaan Umum Daerah Pengelola Air Limbah Domestik (Perumda PALD) Banjarmasin
- b. Batasan wilayah penelitian sebagai berikut:

1. IPAL HKSN (jumlah SR (sambungan rumah) 1.314 SR)
 2. IPAL Sungai Andai (jumlah SR (sambungan rumah) 581 SR)
- c. Identifikasi dan analisa penelitian meninjau 2 aspek yaitu aspek teknis dan aspek finansial.
 - d. Aspek teknis dilakukan uji *influent* dan *effluent* air limbah domestik disetiap lokasi IPAL dengan parameter pH, TSS, ammonia, COD, BOD, dan minyak dan lemak, sampel *influent* dan *effluent* air limbah domestik akan diuji di Laboratorium Kesehatan Daerah Kota Banjarmasin.
 - e. Nilai kadar maksimum *effluent* air limbah domestik mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
 - f. Aspek finansial dilakukan perhitungan biaya investasi untuk pendukung operasional, biaya operasional dan pemeliharaan (O&P), biaya pengembangan, biaya retribusi dari pelanggan.
 - g. Dilakukan simulasi penambahan jumlah SR untuk memperluas jaringan pelayanan pada masing-masing IPAL dari Perumda PALD.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Domestik

Limbah domestik di Indonesia secara garis besar dibagi menjadi dua kelompok yaitu limbah anorganik dan limbah organik. Kotoran tinja, sisa-sisa sayuran dan makanan merupakan sumber dari limbah organik, sedangkan sumber dari limbah anorganik contohnya plastik, kertas, penggunaan detergen, sampo, sabun, dan penggunaan bahan kimia lainnya. Pada dasarnya limbah organik umumnya dapat didegradasi oleh mikroba dalam lingkungan, berbeda halnya dengan limbah anorganik yang sifatnya sukar untuk didegradasi, sehingga limbah anorganik biasanya menimbulkan pencemaran lingkungan (Sasongko dkk., 2014)

Menurut Permen PUPR RI No.4 Tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik, definisi air limbah domestik ialah air limbah yang berasal dari usaha dan/atau kegiatan pemukiman, restoran, kantor, pusat perniagaan, apartemen, dan hunian asrama. Sebelum dibuang ke lingkungan, air limbah domestik harus diolah terlebih dahulu agar tidak mencemari lingkungan. Air limbah domestik disalurkan menuju Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik atau yang biasa disingkat SPALD. SPALD merupakan serangkaian kegiatan pengelolaan air limbah domestik dalam satu kesatuan dengan prasarana dan sarana pengelolaan air limbah domestik.

Air limbah domestik terbagi menjadi *grey water* dan *black water*. *Grey water* merupakan air limbah yang berasal dari dapur, air bekas cuci pakaian, dan air mandi, sedangkan air yang berasal dari kotoran manusia biasa disebut dengan *black water* (Purwatinigrum, 2018). Di era modern ini sudah banyak teknologi yang digunakan untuk daur ulang air limbah domestik menjadi alternatif untuk mengatasi kurangnya sumber air bersih dan untuk memenuhi kebutuhan air bersih yang semakin meningkat karena meningkatnya jumlah penduduk (Kholif, 2020).

Sebelum dibuang ke badan air, maka air limbah domestik harus terlebih dahulu diolah dan harus memenuhi baku mutu yang berlaku. Jika tidak dilakukan pengolahan air limbah domestik berpotensi mencemari tanah, merusak ekosistem air, berpengaruh pada sumber air minum, menimbulkan bibit-bibit penyakit bagi

masyarakat maupun hewan air, serta menimbulkan bau yang tidak sedap. Pengertian baku mutu air limbah sendiri adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang ke dalam media air dan tanah dari suatu usaha atau kegiatan. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, berikut standar baku mutu air limbah domestik yang dapat dibuang ke badan air dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Domestik Tersendiri

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6-9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak dan lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total coliform	Jumlah/100 mL	3000
Debit	L/orang/hari	100

Sumber: Permen LHK No. 68 Tahun 2016

2.2 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik (SPALD)

Penyelenggaraan SPALD merupakan kegiatan dalam melakukan pengembangan dan pengelolaan air limbah domestik dalam satu kesatuan dengan sarana dan prasarana pengelolaan air limbah domestik. SPALD terbagi menjadi SPALD Setempat dan SPALD Terpusat. Perbedaannya yaitu SPALD Setempat dilakukan dengan melakukan pengolahan air limbah domestik di lokasi sumber, untuk lumpur hasil olahan akan diangkut dengan sarana pengangkut tinja ke Sub-sistem Pengolahan Lumpur Tinja. Sedangkan SPALD Terpusat dilakukan pengelolaan air limbah domestik dengan mengalirkan air limbah domestik dari sumbernya ke Sub-sistem Pengolahan Terpusat untuk diolah sebelum dibuang ke badan air (Permen PUPR RI No.4 Tahun 2017). Pemilihan jenis SPALD mempertimbangkan kepadatan penduduk di daerah tersebut, kedalaman muka air tanah, kemiringan tanah, permeabilitas tanah, dan kemampuan masyarakat dalam melakukan pembiayaan untuk pengolahan air limbah.

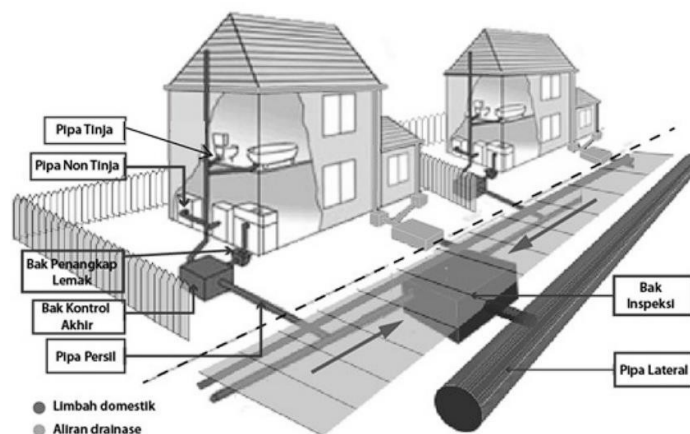
Cakupan layanan untuk SPALD Setempat berdasarkan kapasitas pengolahannya terdiri dari skala individual dan skala komunal. Untuk skala individual diperuntukkan untuk 1 unit rumah tinggal, dan untuk skala komunal diperuntukkan untuk 2-10 unit rumah tinggal dan MCK. SPALD Terpusat cakupannya terdiri dari skala perkotaan, skala pemukiman, dan skala kawasan tertentu. Cakupan pelayanan perkotaan mencakup minimal 20.000 jiwa untuk pelayanannya, biasanya dikelola oleh Pemerintah Daerah. Untuk skala pemukiman mencakup 50-20.000 jiwa, dikelola oleh masyarakat. Skala kawasan tertentu dengan pelayanan kawasan komersial dan kawasan rumah susun.

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

SPALD-T memiliki 3 sub-sistem ditinjau dari komponennya, yaitu:

- Sub-sistem pelayanan

Sub-sistem pelayanan berada di pekarangan rumah yang menjadi tanggungjawab masyarakat dalam pengoperasian dan perawatannya. Komponennya terdiri dari pipa tinja, pipa nontinja, bak penangkap lemak dan minyak dari dapur, pipa persil, bak control, dan bak inspeksi. Prasarana dan sarana sub-sistem pelayanan dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Prasarana dan Sarana Sub-sistem Pelayanan

Sumber: Pedoman Perencanaan Teknik Terinci SPALD-T Kementerian PUPR

- Sub-sistem pengumpulan

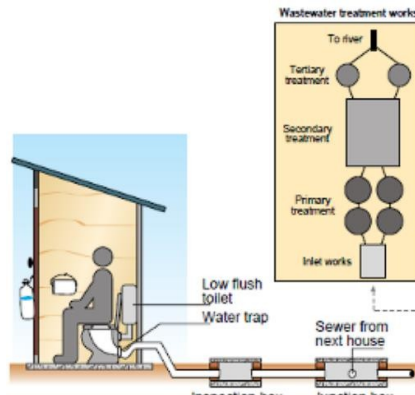
Sub-sistem pengumpulan menyalurkan air limbah domestik melalui perpipaan dari sub-sistem pelayanan ke sub-sistem pengolahan terpusat.

Komponennya tersiri dari pipa retikulasi, pipa induk, dan sarana prasarana pelengkap. Berdasarkan tipe alirannya, sub-sistem pengumpulan dikategorikan menjadi 2 tipe yaitu aliran gravitasi dan aliran bertekanan.

- a. Aliran gravitasi: kunci dari kesuksesan aliran ini dilihat dari perencanaan kemiringan pipa sesuai dengan kriteria desain.
- b. Aliran bertekanan: dilakukan pada kondisi ketika aliran gravitasi tidak memungkinkan untuk dilakukan. Aliran ini menggunakan sistem perpompaan yang akan mengalirkan air limbah domestik ke sub-sistem pengumpulan terdekat. Metode ini membutuhkan biaya yang relatif besar dalam perencanaan, pengoperasian, maupun perawatannya.

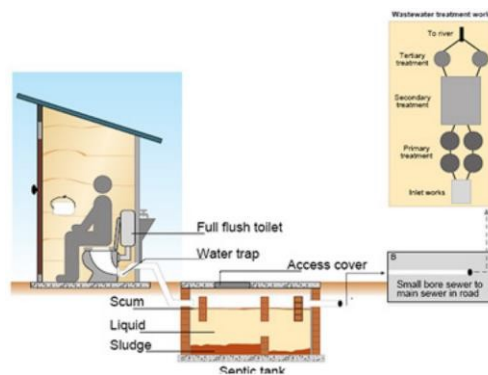
Berdasarkan karakteristik penyaluran air limbah dan area pelayanannya, sub-sistem pengumpulan dapat dikategorikan menjadi 3 tipe, yaitu:

- a. Perpipaan air limbah domestik konvensional (*Conventional Sewer*)
Terdiri dari jaringan pipa literal, pipa servis, dan pipa induk yang membawa air limbah ke sub-sistem pengolahan terpusat. Sistem ini dapat melayani daerah yang cukup luas.
- b. Perpipaan air limbah dangkal (*Shallow Sewer*)
Cocok untuk menyalurkan air limbah domestik skala kecil dan pipa dipasang dengan kemiringan yang lebih landai. Perpipaan ini sangat bergantung pada air yang menggelontorkan buangan padat. Ilustrasi tipe sub-sistem *shallow sewer* dapat dilihat pada Gambar 2.2.
- c. *Small Bore Sewer*
Didesain untuk menerima air limbah domestik setelah diolah dalam *septic tank* atau pengolahan setempat. Sistem ini tidak dirancang untuk mampu *self cleansing* karena diharapkan seluruh padatan sudah terendapkan di pengolahan setempat. *Small Bore Sewer* didesain cocok untuk daerah dengan kepadatan penduduk sedang sampai tinggi (>200 jiwa/ha). Ilustrasi sistem ini dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 2 Sub-sistem *Shallow Sewer*

Sumber: Pedoman Perencanaan Teknik Terinci SPALD-T Kementerian PUPR



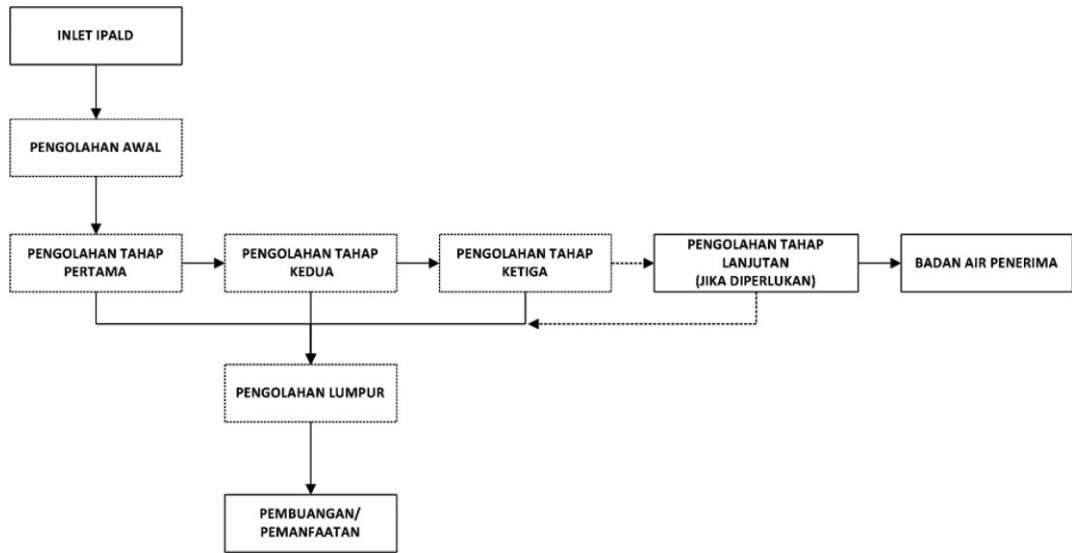
Gambar 2. 3 Sub-sistem Small Bore Sewer

Sumber: Pedoman Perencanaan Teknik Terinci SPALD-T Kementerian PUPR

- Sub-sistem pengolahan terpusat

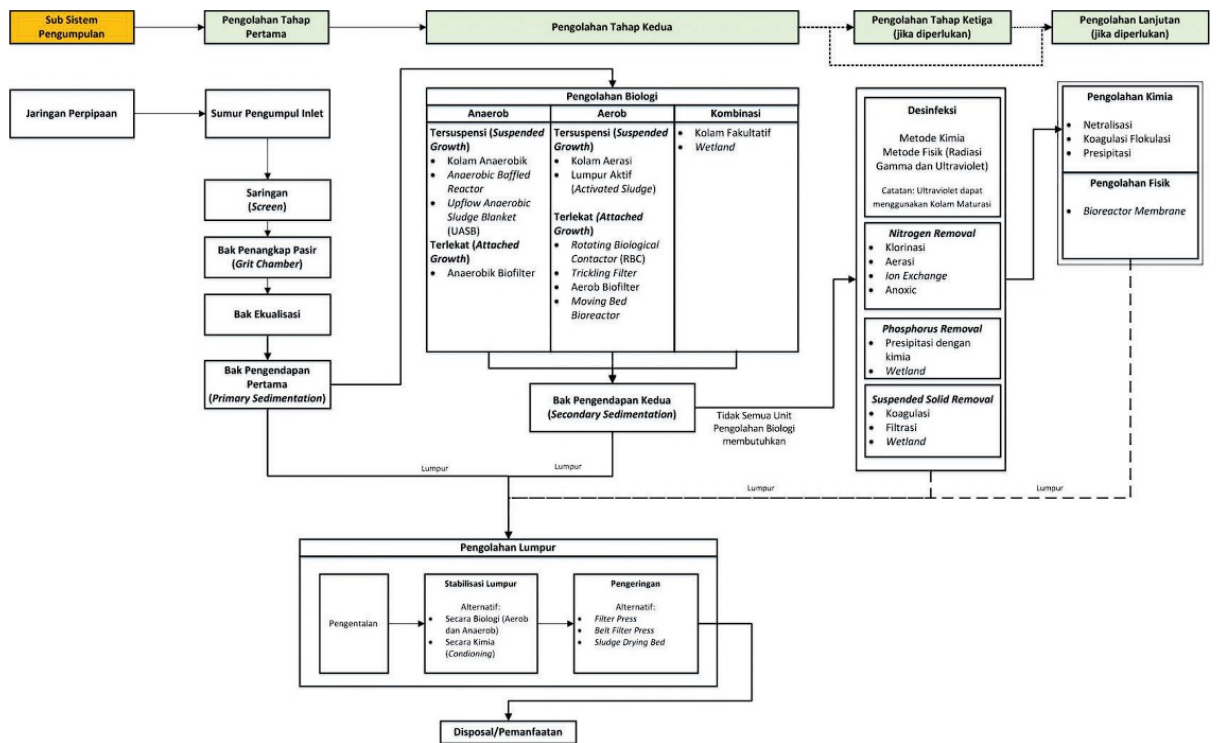
Sistem ini berfungsi untuk mengolah air limbah domestik yang dialirkan dari sumber melalui sub-sistem pelayanan dan sub-sistem pengumpulan. Pada sub-sistem pengolahan terpusat terdapat beberapa tahapan dalam proses pengolahan air limbah domestik yang dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Terdapat pengolahan tahap pertama, tahap kedua, tahap ketiga, pengolahan lumpur, dan pengolahan lanjutan. Berdasarkan tahapan-tahapan tersebut secara umum proses pengolahan air limbah dibagi menjadi 3 jenis pengolahan, yaitu pengolahan fisik, pengolahan biologi, dan pengolahan kimia yang dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 4 Skema Pengolahan Air Limbah Domestik

Sumber: Pedoman Perencanaan Teknik Terinci SPALD-T Kementerian PUPR



Gambar 2. 5 Beberapa Jenis Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik

Sumber: Pedoman Perencanaan Teknik Terinci SPALD-T Kementerian PUPR

2.4 Kondisi Pencemaran *Black Water* dan *Grey Water* yang Belum Tertangani di Kota Banjarmasin

Penelitian yang dilakukan oleh (Ramadhani, 2018), hasil perhitungan dan data yang diperoleh mengenai beban pencemar air limbah domestik dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Beban Pencemar *Black Water* dan *Grey Water* yang Belum Tertangani

Kecamatan	<i>Black Water</i> (kg/hr)	<i>Grey Water</i> (kg/hr)
Banjarmasin Barat	600,02	2.444,23
Banjarmasin Selatan	1.056,04	2.443,28
Banjarmasin Tengah	268,72	1.299,89
Banjarmasin Timur	747,90	1.901,41
Banjarmasin Utara	1.573,75	2.284,27
Jumlah	4.246,43	10.373,08

Sumber: MPAL Kota Banjarmasin 2014 dalam Ramadhani (2018)

Walau banyaknya jumlah *black water* dan *grey water* yang belum tertangani di Kota Banjarmasin, namun penanganan air limbah domestik di Kota Banjarmasin lebih pesat dibandingkan dengan kabupaten dan kota lainnya yang ada di Kalimantan Selatan, karena di Kota Banjarmasin pengelolaan air limbah domestik sudah dikelola oleh pemerintah daerah dengan nama Perumda PALD ada juga yang dikelola oleh KSM (Kelompok Swadaya Masyarakat).

Cakupan layanan dan kondisi prasarana dan sarana pengelolaan air limbah domestik saat ini di Kota Banjarmasin dapat dilihat pada Tabel 2.3. dan Tabel 2.4.

Tabel 2. 3 Cakupan Layanan Air Limbah Domestik

Kecamatan	Jumlah Penduduk Perkotaan (KK)	Tanpa Akses		Akses Layak	Akses Aman				
		BABS (KK)*	Cubluk/ Tangki Septik Individual Tidak Layak (KK)**	SPALD-S Skala Individual (KK)	SPALD Setempat		SPALD Terpusat		
					Skala Komunal (KK)	SPALD T Permukiman		SPALD T Perkotaan (KK)	SPALD T Kawasan Tertentu (KK)
						Berbasis Masyarakat (KK)	Berbasis Institusi (KK)		
Banjarmasin Barat	37.900	2.634	22.454	6.893	5.238	275	351	0	0
Banjarmasin Selatan	40.443	5.091	17.472	8.160	7.489	622	1.637	0	0
Banjarmasin Tengah	30.403	1.772	12.518	10.694	5.058	0	391	0	0
Banjarmasin Timur	23.907	1.437	14.200	5.694	459	0	2.157	0	0
Banjarmasin Utara	40.165	2.640	6.848	14.000	14.152	222	2.315	0	0
Jumlah	172.818	13.574	73.492	45.385	32.396	1.119	6.851	0	0

Sumber: Dokumen SSK Kota Banjarmasin 2020-2024

* yang termasuk BABS: BAB langsung di kebun, kolam, laut, sungai, sawah/ladang, dsb.

** belum aman: jamban tidak dilengkapi tangka septik sesuai kriteria SNI atau tidak mempunyai tangka septik sama sekali.

Tabel 2. 4 Kondisi Sarana dan Prasarana Pengelolaan Air Limbah Domestik

No	Jenis		Jumlah/Kapasitas	Kondisi		Keterangan
				Berfungsi	Tidak Berfungsi	
SPALD Terpusat (Sistem Off-site)						
1	SPALD-T Permukiman	Berbasis Masyarakat	55 Unit	V	-	
2		Berbasis Institusi	7 Unit	V	-	1 unit belum beroperasi
3	SPALD-T Perkotaan		-	-	-	
4	SPALD-T Kawasan Tertentu		-	-	-	
Pengelolaan Lumpur Tinja-						
1	Truck Tinja		3 Unit	V	-	Kapasitas 4 m ³ layanan 300 kk/thn
2	IPLT Basirih		10 m ³ /hari	V	-	Dibangun tahun 2016, dan dioperasikan dengan sistem SSC (<i>Sludge Separate Chamber</i>)

Sumber: Dokumen SSK Kota Banjarmasin 2020-2024

2.5 Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Tipe *Rotating Biological Contractor (RBC)*

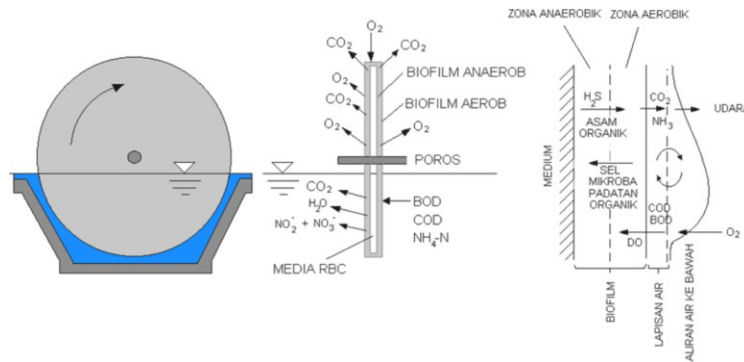
Reaktor kontak biologis atau RBC (*Rotating Biological Contractor*) merupakan salah satu teknologi pengolahan air limbah dengan biakan yang melekat di sebuah media. Media yang seringkali digunakan berbentuk piringan (*disk*) tipis bulat yang diputar pada poros berbahan dasar baja didalam reaktor khusus yang dimana air limbah dialirkan secara kontinyu didalamnya (Said, 2005).

RBC merupakan metode pengolahan yang umum digunakan sebagai pengolahan air limbah rumah tangga dan industri (Waqas & Bilad, 2019). Media yang berbentuk *disk* pada reaktor diputar oleh motor listrik dengan kecepatan yang bisa disesuaikan (Rana dkk., 2018). Biofilm yang melekat pada media dipasang pada poros horizontal yang diturunkan pada kisaran 40% di influen, dengan luas permukaan rata-rata sistem RBC sekitar 150-250 m²/m³ air limbah (Kadu & M Rao, 2012).

Dengan bercirikan stabilitas proses perawatan, penggunaan energi yang rendah, waktu tinggal yang singkat, biaya operasional tergolong rendah, serta pengoperasian sistem yang mudah (Dwicaesa dkk., 2019). Efisiensi biodegradasi dalam RBC bergantung pada beberapa parameter, diantaranya yaitu kandungan oksigen terlarut dalam air limbah, debit aliran air limbah yang masuk, kandungan senyawa organik, serta kecepatan rotasi (Szulzyk-Cieplak dkk., 2018). Selain kelebihan dalam pengoperasiannya, sistem ini juga memiliki kekurangan yaitu RBC sulit dioperasikan dalam skala yang besar, pengaktifan sistem yang lambat, *pre-treatment* dan penggunaan desinfektan diperlukan dalam proses RBC. Untuk perbaikan dan pengoperasiannya juga memerlukan pekerja khusus. Sistem ini sensitif terhadap limbah industri dan rentan terhadap karakteristik air limbah yang masuk (Cortez dkk., 2013)

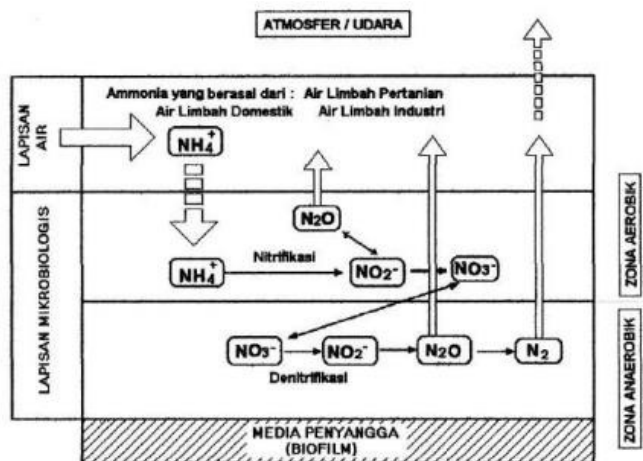
Pada disk RBC terdapat mikroorganisme yang tumbuh dipermukaan media, mikroorganisme ini memenuhi proses metabolismenya dengan cara mengambil sendiri zat organik didalam air limbah dan juga mengambil oksigen di udara bebas. Mekanisme pengolahan air limbah dengan mikroorganime yang ada di RBC ini dapat dilihat pada Gambar 2.6. Biofilm yang terbentuk pada media mencapai 2-4 mm, ketebalannya bergantung pada beban organik yang masuk ke dalam reaktor

pengolahan serta kecepatan putarannya. Jika lapisan mikrobiologis (biofilm) yang terbentuk cukup tebal, maka pada bagian luar lapisan mikrobiologis akan terbentuk kondisi aerobik, sedangkan pada bagian dalam media akan terjadi kondisi anaerobik. Kondisi anaerobik akan membentuk gas H_2S , apabila konsentrasi oksigen terlarut pada reaktor RBC cukup besar maka gas H_2S yang terbentuk akan diubah menjadi sulfat (SO_a) oleh bakteri sulfat yang ada didalam biofilm. Pada zona aerobik, nitrogen-ammonium diubah menjadi nitrit dan nitrat dan pada zona anaerobik, nitrat yang terbentuk akan mengalami proses denitrifikasi menjadi gas nitrogen. Oleh karena itu penghilangan senyawa nitrogen akan menjadi lebih mudah jika didalam biofilm terjadi kondisi anaerobik dan aerobik pada saat yang bersamaan (Said, 2005). Hal yang terjadi ini ditunjukkan seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 6 Mekanisme Pengolahan Bahan Organik dengan RBC

(Sumber: Said, 2005)



Gambar 2. 7 Mekanisme Penghilangan Amonia Dalam Proses Biofilter

Performa unit RBC dipengaruhi oleh beberapa parameter desain yang utama, diantaranya yaitu, kecepatan putaran *disk*, *organic* dan *hydraulic loading rates*, *hydraulic retention time*, media RBC, staging, suhu, karakteristik biofilm dan air limbah, kadar *dissolve oxygen* (DO), resirkulasi air limbah dengan lumpur, *step feeding*, dan tenggelamnya *disk* (Cortez dkk., 2008).

a. Kecepatan Putaran *Disk*

Kecepatan putaran media sangat memengaruhi perpindahan massa nutrisi dan oksigen dalam biofilm. Biasanya meningkatnya kecepatan putaran juga meningkatkan oksigen terlarut yang digunakan oleh mikroorganisme agar mereka dapat mendegradasi substrat dengan konsentrasi tinggi. Tetapi meningkatnya kecepatan putar juga menyebabkan konsumsi daya yang lebih tinggi, sehingga tidak bernilai ekonomis untuk pengolahan air limbah. Kecepatan rotasi biasanya berkisar 1-10 rpm untuk media RBC dalam bentuk cakram, dengan cakram berdiameter 1-4 m yang dipasang pada poros sepanjang sekitar 5-10 m (Israni dkk., 2002)

b. *Organic Loading Rate*

Variasi laju beban organik (OLR) biasanya dicapai dengan mengubah laju aliran yang masuk (HRT), yang juga mengakibatkan perubahan beban hidraulik (HLR). Jika OLR rendah akan berdampak pada mikroorganisme menjadi tidak dapat mengolah beban organik dalam air limbah secara maksimal, sehingga hal ini akan memengaruhi efisiensi pengolahan dengan menggunakan RBC. OLR yang tinggi juga menyebabkan mikroorganisme tidak dapat bertahan, karena kadar oksigen akan berkurang, dan beban organik yang akan diolah oleh mikroorganisme akan menumpuk sehingga mengakibatkan turunnya efisiensi pengolahan. Pada umumnya jumlah OLR yang optimal berkisar antara 0,5-5 kg.COD/m³.d.(Lee dkk., 2001)

c. *Hydraulic Loading Rate*

Kinerja RBC berkorelasi dengan beban hidraulik. Meningkatnya beban hidraulik juga menyebabkan peningkatan biomassa yang menempel pada permukaan media RBC (Cortez dkk., 2008). Meningkatnya HLR akan mengurangi waktu tinggal di RBC.

d. *Hydraulic Retention Time (HRT)*

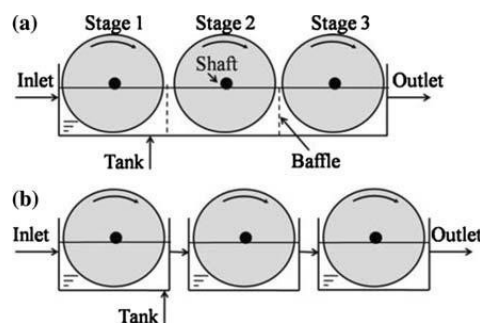
Selain berkorelasi dengan beban hidraulik, kinerja RBC juga dipengaruhi oleh waktu tinggal hidraulik. HRT yang terlalu singkat akan menghasilkan efisiensi pengolahan yang rendah dalam kata lain air limbah masih berkonsentrasi tinggi, namun jika HRT terlalu lama tidak akan bernilai ekonomis untuk pengolahan air limbah domestik. Keuntungan penggunaan RBC skala penuh ialah hanya memerlukan HRT atau waktu tinggal hidraulik yang pendek, biasanya kurang dari 1 jam (Costley & Wallis, 2000).

e. *Media RBC*

Media yang paling sering digunakan untuk RBC biasanya diproduksi dari Styrofoam, lembaran polikarbonat, atau polietilen berdensitas tinggi (HDPE), dan lainnya. Material yang paling umum digunakan dan tersedia dalam berbagai pola dan ukuran ialah material berbahan HDPE yang mengandung penghambat UV seperti karbon hitam. Media RBC dengan kepadatan sedang dan tinggi memiliki luas permukaan sekitar 135-200 m²/m³ reaktor dan biasanya digunakan pada tahap tengah dan akhir sistem RBC dimana tempat pertumbuhan mikroorganisme yang lebih tipis terjadi (Patwardhan, 2003).

f. *Staging*

Staging media RBC juga diperlukan untuk memaksimalkan kinerja RBC dalam mengurangi kadar BOD dan ammonia nitrogen. *Staging* dilakukan dengan menggunakan sekat dalam tangki atau menggunakan serangkaian tangki, ilustrasi *staging* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 8 *Staging* RBC

Untuk menghilangkan maupun mengurangi kandungan BOD dan ammonia nitrat, minimal 4 tahap *staging* per aliran. Saat air limbah mengalir melewati *staging* dalam RBC maka tahap *staging* selanjutnya menerima beban air limbah

dengan konsentrasi yang lebih rendah daripada tahapan pertama. Karena bakteri heterofik tumbuh lebih cepat daripada nitrifikasi, maka tahap *staging* pertama cenderung lebih efektif dalam menurunkan kandungan organik dalam air limbah, kecuali jika kandungan organik pada air limbah sangat rendah. Pada saat air limbah melewati *staging* ke-2 dan seterusnya, RBC cenderung menghilangkan ammonia terlebih dahulu dan kemudian nitrit, dengan hasil akhir berupa nitrat, dengan asumsi bahwa RBC berukuran dan dioperasikan dengan benar. Jika ada daur ulang air limbah dari tahap terakhir ke tahap pertama, denitrifikasi dapat dicapai pada tahap pertama, di mana terdapat muatan organik tinggi dan kandungan oksigen terlarut rendah. (Cortez dkk., 2008).

g. Suhu

Faktor suhu merupakan salah satu faktor terpeting yang memengaruhi laju proses biologis dan memengaruhi kinerja RBC. Suhu yang rendah dapat memengaruhi pembentukan biofilm terutama pada tahap awal. Jika suhu air limbah kurang dari 13⁰C, maka laju penghilangan kandungan organik dan nitrogen akan menurun (Cortez dkk., 2008).

h. *Dissolved Oxygen* (Oksigen Terlarut)

Dalam sistem RBC aerobik, biofilm terbentuk pada media yang sebagian terendam dalam air limbah dan sebagian lainnya terpapar udara. Rotasi pada RBC akan bergantian memaparkan biofilm pada oksigen yang terdapat di udara ambien dan kemudian memaparkan ke air limbah. Oksigen berpindah dari udara ambien ke unit RBC melalui 3 cara yaitu: melalui penyerapan oksigen pada lapisan cair diatas permukaan biofilm saat biofilm terpapar udara; melalui transfer oksigen langsung pada antarmuka udara-air; dan melalui penyerapan oksigen langsung oleh mikroorganisme selama paparan udara (Cortez dkk., 2008).

2.6 Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Tipe *Rotating Biological Contractor* (RBC) di IPAL Kota Banjarmasin

Proses pengolahan air limbah secara fisik hanya dapat menghilangkan partikel organik terlarut maupun tidak terlarut, pengendapan fosfat maupun

pengendapan partikel diskrit. Proses pengolahan lanjutan dengan memanfaatkan mikroorganisme dibutuhkan untuk mendegradasi kandungan organik yang terkandung pada air limbah yang tidak dapat dihilangkan hanya dengan proses pengolahan fisik (Lin, 1999). Berdasarkan jenis pertumbuhan mikroba, pengolahan lanjutan dengan proses biologis dibedakan menjadi dua yaitu sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*) dan sistem pertumbuhan lekat (*attached growth*).

Kota Banjarmasin memiliki sistem pengolahan air limbah terpusat yang dikelola oleh Perusahaan Umum Daerah Pengelola Air Limbah Domestik (Perumda PALD) Banjarmasin. Sebelum dibentuk, UPT PAL sudah lebih dahulu dibentuk pada tahun 1998 dibawah naungan PDAM Bandarmasih. Pada tahun 2005 dilakukan studi kelayakan Perusahaan Daerah Pengelola Air Limbah Kota Banjarmasin hingga bulan Agustus 2006 didirikan PD PAL Kota Banjarmasin yang terdapat pada Perda No.3/2006 tentang Pembentukan PD PAL Kota Banjarmasin dan Perda No.15/2007 tentang Tambahan Penyertaan Modal Pemerintah Kota Banjarmasin Kepada Perusahaan Daerah Pengelolaan Air Limbah untuk operasional IPAL oleh Walikota Banjarmasin. Dalam Perda No.5/2021 terjadi perubahan bentuk badan hukum Perusahaan Daerah Pengelolaan Air Limbah (PD PAL) menjadi Perusahaan Umum Daerah Pengelola Air Limbah Domestik (Perumda PALD)

Sistem IPAL Perumda PALD yang ada di Kota Banjarmasin menggunakan pengolahan tipe *Rotating Biological Contractor* (RBC). Nama IPAL dan kapasitas desain serta data pelanggan Perumda PALD Banjarmasin dapat dilihat pada Tabel 2.5. Jenis proses pengolahan tipe ini termasuk tipe pengolahan aerobik menggunakan beberapa disk, dengan beban hidrolis 0,02 m³/m².luas media, efisiensi pengolahan mencapai 95%. Adapun karakteristik dari sistem pengolahan ini yaitu:

- Sistem pertumbuhan bakteri terjadi secara *attached growth system*,
- Digunakan media berupa piringan fiber/HDPR yang berassa 40% didalam air dan disusun secara vertical pada as rotor horizontal,
- Piringan berputar dengan kecepatan 3-6 rpm sehingga bagian permukaan piringan menerima oksigen dari udara luar secara bergantian.

- Perputaran media juga berfungsi mensuplai oksigen untuk bakteri yang melekat pada piringan dan juga berfungsi untuk membersihkan lendir yang berlebihan pada piringan agar tidak terjadi *clogging*,
- Digunakan untuk skala 1.000-10.000 jiwa, sehingga lebih cocok untuk debit yang kecil,
- Ada 2 bak kontraktor: bak anaerob dan bak aerob,
- Proses yang terjadi pada sistem ini terjadi proses anaerob, aerob, dan anoksik,
- Didalam bak anaerob dapat diisi dengan media tipe sarang tawon berbahan dasar plastik, dan didalam bak aerob ditambahkan juga media tipe ini dengan penambahan aerasi,
- Tangki terbuat dari bahan yang kedap air dan juga tahan korosi,
- Media kontraktor minimal terdiri dari 3 kompartemen dengan jumlah bak anaerob terdiri dari 2 buah kompartemen.

Tabel 2. 5 Kapasitas Desain dan Jumlah SR Berdasarkan Data Dokumen SSK 2020

Nama IPAL	Tahun Operasi	Kapasitas Desain (KK)	Kondisi	Pelanggan Niaga		Pelanggan Sambungan Rumah Tangga	Total Keseluruhan
				Off Site	On Site	SR	
Lambung Mangkurat	2001	5.000	Berfungsi	928	29	554	1.511
Pekapuran Raya	2008	12.500	Berfungsi	61	43	1.788	1.892
HKSN	2009	25.000	Berfungsi	18	15	1.677	1.710
Basirih	2010	10.000	Berfungsi	9	2	450	461
Tanjung Pagar	2011	10.000	Berfungsi	3	0	886	889
Sungai Andai	2011	15.000	Berfungsi	1	1	607	609
Surgi Mufti	-	10.000	Tidak digunakan	-	-	-	-

Sistem pengolahan dengan teknologi RBC yang ada di Kota Banjarmasin ini memiliki keuntungan terutama jika dilihat dari lahannya yang relatif kecil. Adapun beberapa keuntungan lainnya yaitu:

- Lebih tahan terhadap *shock loading* organik dan hidrolis,
- Pemakaian energi listrik lebih rendah,
- Kualitas *effluent* yang tinggi,
- Kemampuan pengolahan air limbah yang senyawa beracun misalnya sianida, besi, selenium relatif baik.

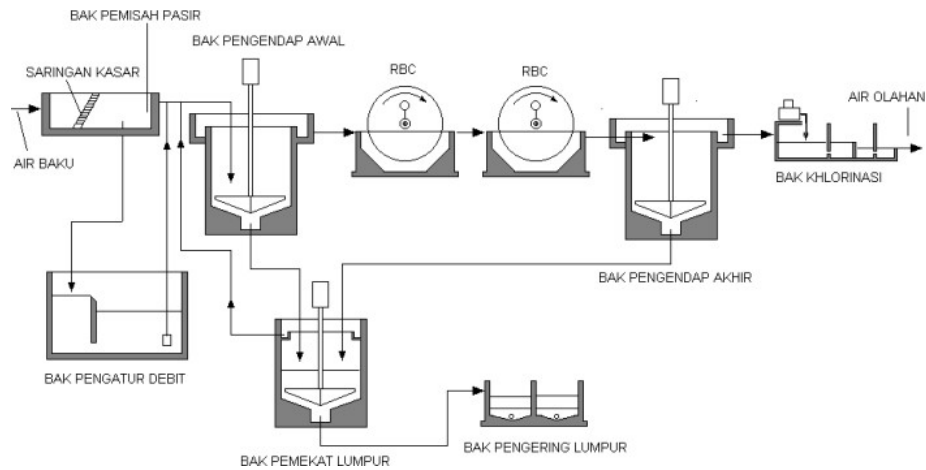
Dibalik adanya kelebihan dalam pengolahan air limbah domestik tipe RBC ini ada pula kelemahannya misalnya dalam biaya pemasangannya yang relatif lebih mahal jika dibandingkan dengan pengolahan lainnya, bakteri pengganggu akan muncul jika nilai oksigen terlarut rendah dan terdapat sulfide didalam air limbahnya contoh bakterinya yaitu *Beggiatoa*, kelemahan lainnya yaitu biaya investasi bergantung pada debit yang akan diolah, semakin tinggi debit yang diolah maka akan semakin mahal biaya investasinya (Pedoman Perencanaan Teknik Terinci SPALD-T Kementerian PUPR).

Diagram proses pengolahan air limbah dengan sistem RBC adalah seperti pada Gambar 2.9. dan Gambar 2.10. Kriteria desain RBC dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Kriteria Desain RBC

Parameter	Besaran	Satuan
Diameter cakram	10 – 12	ft
Tebal cakram	1 – 2	cm
Jarak antar cakram	2 – 3	cm
Panjang batang horizontal	5 – 27	ft
Kedalaman tenggelam	40	%
Waktu detensi	0,7 – 1,5	jam
Kecepatan putaran	1 – 2	rpm
Koefisien pertumbuhan	0,4 – 0,8	VSS/BOD ₅
Konsentrasi padatan lumpur	1 – 3	%
Gravity spesifik lumpur	1,025	Sg
Effluen BOD	15 – 30	mg/L
Organik loading Tingkat 1	0,0392 – 0,588	kg/m ³ .hari
Hydraulic loading	0,0814 – 0,1628	m ³ /m ² .hari
Tebal lapisan film	2 – 4	mm

(Sumber: Tchobanoglous, 2003)



Gambar 2. 9 Sistem Pengolahan *Rotating Biological Contractor* (RBC)



(A)



(B)

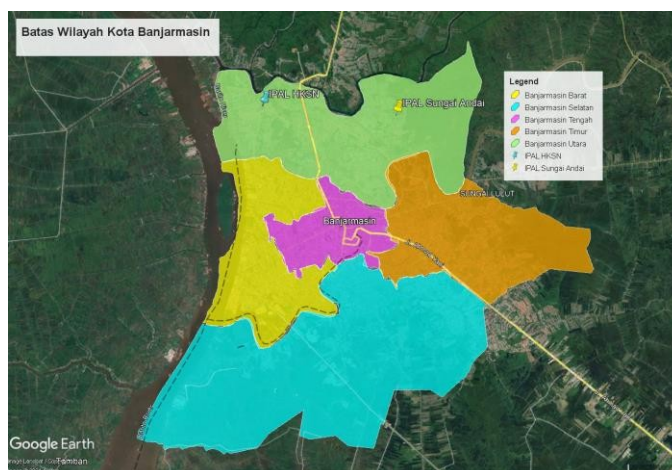
Gambar 2. 10 Sistem Pengolahan *Rotating Biological Contractor* (RBC) di IPAL HKSJN (A) dan IPAL Sungai Andai (B)

2.7 Gambaran Umum IPAL HKSJN

A. Kapasitas IPAL HKSJN

IPAL HKSJN merupakan jenis IPAL Terpusat yang berada di Kelurahan Alalak Utara, Kecamatan Banjarmasin Utara yang dikelola oleh Perumda PDPAL Banjarmasin. IPAL HKSJN ini melayani wilayah Kelurahan: Alalak Tengah; Alalak Utara, Alalak Selatan, Pangeran. Pembangunan IPAL ini dilakukan pada tahun 2008 sampai 2009, kemudian dilanjutkan kembali dan mulai beroperasi pada tahun 2010. IPAL HKSJN dibangun dengan kapasitas pengolahan sebesar 5.000 m³/hari

di lahan seluas 13.232 m² dengan menggunakan teknologi RBC (*Rotating Biological Contractor*). Jumlah pelanggan IPAL HKSAN ini hingga bulan April 2024 berjumlah 1314 SR dengan debit rata-rata perharinya sebesar 129 m³/hari. Hasil olahan air limbah domestik yang telah diolah dengan teknologi RBC di IPAL ini, akan dibuang menuju badan air yaitu Sungai Alalak. Lokasi IPAL HKSAN dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Lokasi IPAL HKSAN dan Sungai Andai

B. Proses Pengolahan Air Limbah IPAL HKSAN

IPAL HKSAN melayani pengolahan air limbah yang berasal dari toilet, kamar mandi, cuci piring, dan satu *laundry* yang dilengkapi dengan bak penampungan awal sebelum masuk ke jaringan pipa induk IPAL. Proses pengolahan air limbah yang terjadi pada IPAL HKSAN berdasarkan data hasil survey dan wawancara di lapangan digambarkan melalui diagram alir seperti pada Gambar 2.12 (A). Untuk detail gambar aliran air limbah di IPAL HKSAN dalam proses pengolahan dengan sistem RBC dapat dilihat pada Lampiran 1.

2.8 Gambaran Umum IPAL Sungai Andai

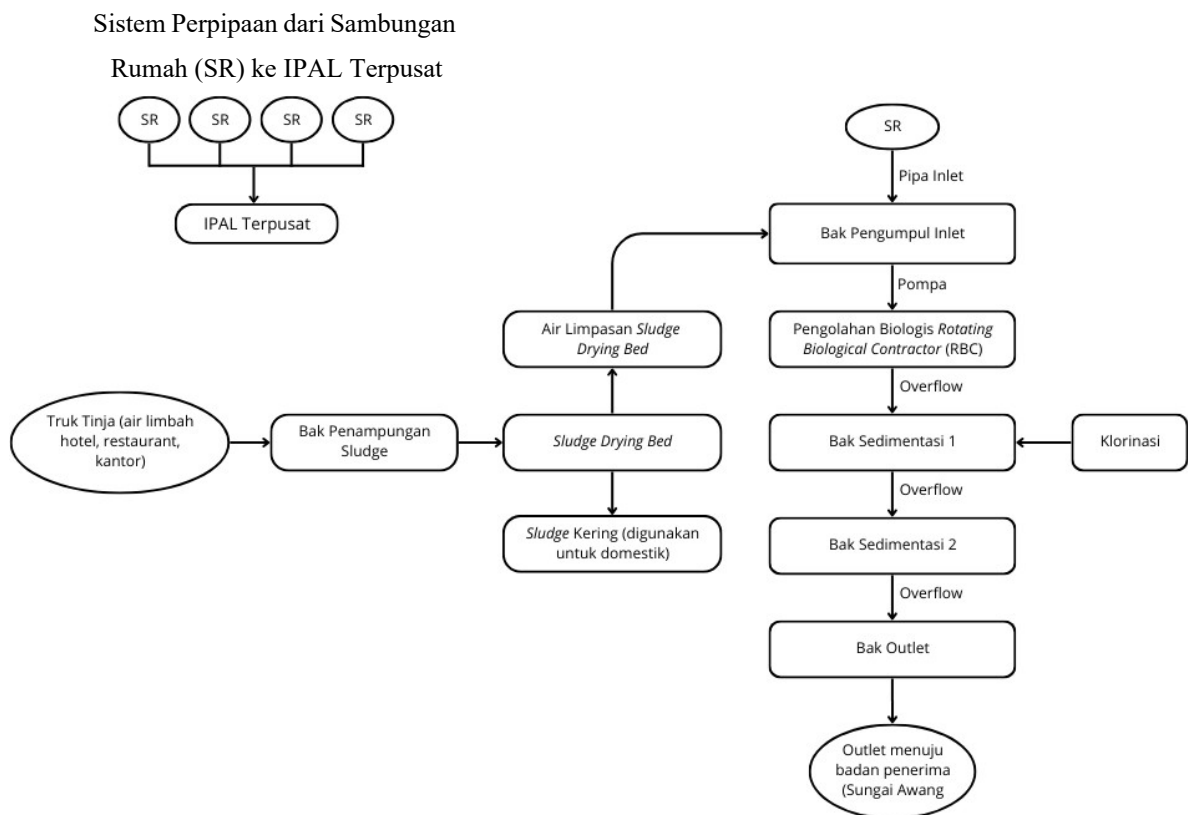
A. Kapasitas IPAL Sungai Andai

Sama halnya dengan IPAL HKSAN, IPAL Sungai Andai juga merupakan jenis IPAL Terpusat yang terletak di Kelurahan Sungai Andai, Kecamatan Banjarmasin Utara. Melayani 1 kelurahan yaitu Kelurahan Sungai Andai. Pembangunan dan pengoperasian IPAL ini dilakukan pada tahun 2011 dengan kapasitas pengolahan

sebesar 3000 m³/hari di lahan seluas 7.200 m². Pada bulan April 2024 jumlah pelanggan IPAL ini masih sedikit yaitu sebanyak 581 SR dengan debit rata-rata perharinya sebesar 97 m³/hari. Hasil olahan air limbah domestik disini akan dialirkan menuju Sungai Awang. Jarak outlet IPAL Sungai Andai ke Sungai Awang berjarak 0,19 km. Lokasi IPAL Sungai Andai ini dapat dilihat pada Gambar 2.11.

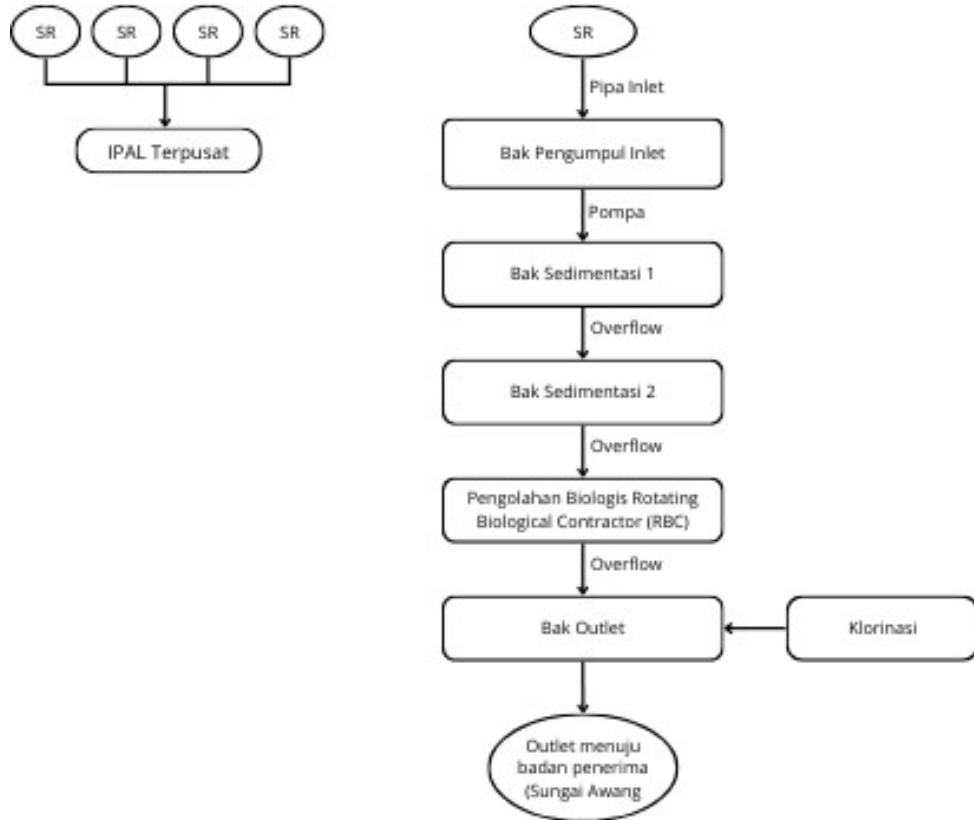
B. Proses Pengolahan Air Limbah IPAL Sungai Andai

IPAL Sungai Andai melayani pengolahan air limbah yang berasal dari toilet, kamar mandi, cuci piring, dan satu *laundry* yang dilengkapi dengan bak penampungan awal sebelum masuk ke jaringan pipa induk IPAL. Proses pengolahan air limbah yang terjadi pada IPAL Sungai Andai berdasarkan data hasil survey dan wawancara di lapangan digambarkan melalui diagram alir seperti pada Gambar 2.12 (B). Detail aliran air limbah pada IPAL Sungai Andai dapat dilihat pada Gambar 2.14. Untuk detail gambar aliran air limbah di IPAL Sungai Andai dalam proses pengolahan dengan sistem RBC dapat dilihat pada Lampiran 1.



(A)

Sistem Perpipaan dari Sambungan Rumah (SR) ke IPAL Terpusat



(B)

Gambar 2. 12 Diagram Alir Pengolahan Air Limbah di IPAL HKSAN (A) dan IPAL Sungai Andai (B)

2.9 Aspek Teknis

Analisis kualitas air limbah domestik yang masuk ke Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPAL) HKSAN dan Sungai Andai dilakukan dengan pengambilan sampel influen dan effluen untuk kemudian dibandingkan dengan batas baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Analisis kondisi eksisting IPAL HKSAN dan IPAL Sungai Andai dilakukan secara deskriptif kualitatif.

2.10 Aspek Finansial

Iuran pengguna layanan IPAL domestik berguna sebagai penunjang kegiatan operasional IPAL. Dilengkapi dengan laporan keuangan dengan wujud

transparan dari pengelola keuangan, sehingga aliran *cash flow* dapat diketahui oleh seluruh pengurus dan pengguna. Inovasi juga perlu dilakukan untuk meningkatkan kesejahteraan pengurus dan pengguna IPAL (Eko Prisanto dkk., 2015).

Aspek pembiayaan operasional dalam pengelolaan air limbah menjadi penting dikarenakan sektor pengolahan air limbah ini tidak memberikan keuntungan bagi pengelolanya. Adapun beberapa permasalahan yang biasanya terjadi:

a. Ketidakseimbangan anggaran dengan beban pelayanan

Anggaran yang digunakan untuk pengelolaan air limbah, baik anggaran untuk pengadaan/pergantian prasarana dan sarana, anggaran operasional, serta anggaran pemeliharaan/perawatan menghadapi masalah. Beberapa kota menghadapi masalah ini dikarenakan prioritas dan perhatian yang masih rendah untuk pengelolaan air limbah, keterbatasan APBD, dan perencanaan anggaran yang kurang memadai.

b. Penerimaan retribusi yang tidak sebanding dengan biaya pengelolaan

Pengelolaan air limbah kabupaten/kota masih mendapatkan subsidi operasional. Penerimaan retribusi yang rendah dan beban subsidi yang tinggi menjadi salah satu faktor penyebab keterbatasan dana operasional, sehingga akan berdampak pada rendahnya mutu pelayanan.

Adapun biaya operasi dan pemeliharaan IPAL terdiri dari unsur-unsur:

1. Biaya investasi

2. Biaya operasi dan pemeliharaan, terdiri dari biaya tetap atau biaya tidak langsung:

a. Biaya tetap atau biaya tidak langsung

- Biaya gaji personil
- Biaya kantor: pemeliharaan gedung, pemeliharaan kendaraan operasional kantor, pemeliharaan peralatan kantor dan peralatan kerja, biaya langganan listrik dan telpon, biaya kebersihan, biaya operasional kantor, biaya bahan kimia dan laboratorium, biaya perjalanan.

b. Biaya operasi dan pemeliharaan IPAL:

- Operasi dan pemeliharaan unit-unit

- Biaya pemeliharaan jaringan perpipaan
 - Biaya pemeliharaan sambungan rumah
3. Biaya pengembangan, misalnya pengadaan truk tinja baru, pengadaan gerobak, vacuum pump, submersible pump, ataupun penambahan sambungan rumah.
 4. Biaya retribusi, dikeluarkan setiap bulan atau setiap tahun yang ditarik oleh Pemda. Retribusi ditetapkan dengan Perda dan biaya depresiasi.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian dapat diartikan sebagai suatu konsep dalam penelitian yang menggambarkan variable satu dan yang lainnya menjadi terkoneksi dan saling berhubungan secara detail dan sistematis. Kerangka dibuat dengan tujuan agar penelitian bisa berfokus pada yang akan diteliti dan hasil yang didapat menjadi lebih mudah untuk dipahami.

Dalam penelitian ini akan dilakukan Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik di IPAL HKSAN dan IPAL Sungai Andai. Hal pertama yang akan dilakukan sebelum melakukan penelitian ini adalah mengetahui sudah sampai mana capaian pelaksanaan pembangunan prasarana dan sarana sanitasi dengan melihat kondisi eksisting saat ini dan akan dibandingkan dengan kondisi ideal yang berdasarkan aturan dan pedoman pelaksanaan program sanitasi skala lingkungan. Kemudian akan dilakukan perumusan masalah dan tujuan serta manfaat dari penelitian ini. Data pendukung dikumpulkan untuk mencapai tujuan, baik data pendukung primer maupun data sekunder. Data primer didapatkan dengan pengecekan dan pengukuran kondisi eksisting IPAL dan dokumentasi pada lokasi penelitian. Sedangkan data sekunder didapatkan dari dokumen finansial Perumda PALD Banjarmasin, literatur yang ada, baik dari aturan atau pedoman pelaksanaan yang sudah ada.

Data yang diperoleh akan dianalisis mengacu pada standar dan pedoman yang ada. Penelitian ditinjau dari 2 aspek yaitu aspek teknis dan aspek finansial. Evaluasi akan dilakukan dengan metode survey lapangan dan kajian permasalahan yang ada dilokasi penelitian.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian merupakan tempat atau objek sebagai tempat dilakukannya penelitian. Penelitian ini akan dilakukan di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Terpusat yang ada di Kota Banjarmasin yaitu:

- IPAL HKSAN

Kapasitas layanan : 5.000 m³/hari
 Jumlah SR : 1.314 SR
 Wilayah pelayanan : Kel. Alalak Tengah, Kel. Alalak Utara, Kel. Alalak Selatan, Kel. Pangeran (Kecamatan Banjarmasin Utara)

- IPAL Sungai Andai

Kapasitas layanan : 3.000 m³/hari
 Jumlah SR : 581 SR
 Wilayah pelayanan : Kel. Sungai Andai

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Penelitian

No	Nama	Fungsi
1.	pH meter	Mengukur pH sampel air efluen IPAL di lapangan
2.	Gayung plastik	Mengambil sampel air <i>effluent</i> IPAL di lapangan
3.	Botol kaca gelap	Wadah sampel air <i>effluent</i> IPAL untuk dibawa ke laboratorium (uji BOD)
4.	Jerigen 2L	Wadah sampel air <i>effluent</i> IPAL untuk dibawa ke laboratorium
5.	Sarung tangan karet	APD untuk tangan
6.	Label	Memberi label nama sampel pada botol sampel
7.	Alat tulis	Mencatat hasil yang didapat di lapangan
8.	Daftar pertanyaan	Bahan wawancara
9.	Sampel <i>effluent</i> IPAL	Bahan uji parameter kualitas air effluen

3.4 Metode Pengumpulan Data

3.4.1 Metode Pengumpulan Data Primer

Data primer didapatkan bersumber dari data yang langsung memberikan data kepada pengepul data (Fuadah, 2021). Pengumpulan data primer dilakukan dengan cara observasi ke lapangan. Data primer diperoleh dengan cara:

1. Pengecekan kondisi eksisting pengelolaan air limbah domestik pada IPAL HKSAN dan IPAL Sungai Andai meliputi kondisi bak pengolahan air limbah,

kondisi saluran inlet dan outlet air limbah, proses pengolahan yang terjadi, efisiensi removal instalasi pengolahan air limbah, dan fasilitas yang mendukung operasional dan pemeliharaan IPAL.

2. Pengambilan sampel air influen dan effluen IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai untuk dilakukan pengecekan fisik yaitu pengukuran temperature dan pH untuk diuji langsung di lapangan, dan dilakukan pengecekan parameter kimia, parameter biologi dan parameter fisik lainnya di Laboratorium Kesehatan Daerah Kota Banjarmasin
3. Pengambilan sampel air influen, proses, dan effluen IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai akan dilakukan sebanyak 3 kali sehari pada pukul 06.00 WITA, 12.00 WITA, dan 18.00 WITA yang diasumsikan pada jam tersebut merupakan jam puncak air limbah. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan metode *grab sample* sesuai dengan SNI 6989.59:2008.
4. Pengujian di Laboratorium Kesehatan Daerah Kota Banjarmasin untuk kualitas air *effluent* IPAL berdasarkan analisis parameter fisik (TSS), parameter kimia (BOD, COD, Minyak & Lemak, Amoniak) dan parameter mikrobiologi (Total *Coliform*) dengan batas baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
5. Wawancara dengan pengelola IPAL terkait kendala teknis yang biasa terjadi di instalasi pengolahan air limbah dan penanganannya yang selama ini dilakukan.

3.4.2 Metode Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pelengkap yang diperoleh secara tidak langsung oleh peneliti ataupun dikumpulkan oleh orang yang melakukan penelitian terlebih dahulu. Adapun data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Tinjauan pustaka, mengumpulkan dan mempelajari teori yang mendukung penelitian ini.
2. Data desain pengolahan air limbah.

3. Data hasil uji laboratorium untuk air limbah inlet dan outlet yang dilakukan oleh Perumda PALD.
4. Data finansial IPAL (meliputi: biaya investasi untuk pendukung operasional, biaya operasional dan pemeliharaan (O&P), biaya pengembangan, biaya retribusi dari pelanggan).

3.5 Analisis Data Aspek Teknis

3.5.1 Analisis Kualitas Air Limbah Domestik

Analisis kualitas air limbah domestik yang masuk ke Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPAL) HKSAN dan Sungai Andai dilakukan dengan pengambilan sampel influen dan effluen dengan cara yang sudah disebutkan pada sub-bab 3.4.1 untuk kemudian dibandingkan dengan batas baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

3.5.2 Analisis Kondisi Eksisting IPAL

Analisis kondisi eksisting IPAL HKSAN dan IPAL Sungai Andai dilakukan secara deskriptif kualitatif dengan mendeskripsikan hasil yang didapat setelah dilakukan observasi lapangan dan studi literatur. Adapun analisis data kuantitatif meliputi data perhitungan dimensi kompartemen, debit, rasio BOD/COD, beban BOD (*BOD Surface Loading*), waktu tinggal rata-rata (*Hydraulic Retention Time*). Perhitungan dilakukan dengan persamaan:

$$a. \text{ Rasio BOD/COD} = \frac{BOD_{inlet}}{COD_{inlet}} \dots\dots\dots (3.1)$$

Rasio BOD/COD untuk air limbah perkotaan yang dapat diolah dengan proses biologis berkisar 0,2-0,5.

$$b. \text{ Beban BOD (BOD Surface Loading)} = \frac{Q \times Co}{A} \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana: Q = debit air limbah yang diolah(m³/hari)

Co = konsentrasi BOD (mg/L)

A = luas permukaan media RBC (m²)

Perhitungan beban BOD yang digunakan untuk perencanaan sistem RBC biasanya 5-20 gramBOD/m²/hari.

c. Waktu Tinggal Rata-rata (Hydraulic Retention Time)

$$= \frac{Q}{V} \times 24 \text{ (jam)} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana: Q = debit air limbah yang diolah (m³/hari)

V = volume efektif reaktor (m³)

3.5.3 Kapasitas Pengolahan Air Limbah Domestik

Analisa dilakukan dengan perbandingan debit eksisting dengan debit rencana. Hal ini dilakukan agar mengetahui kapasitas pengolahan eksisting terhadap kapasitas pengolahan yang direncanakan.

3.5.4 Analisa Efektivitas Kinerja IPAL

Analisis efisiensi removal pengolahan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan reaktor RBC dalam menurunkan kandungan bahan pencemar yang masuk kedalam sistem pengolahan. Efisiensi penguraian bahan organik akan semakin meningkat sesuai dengan banyaknya kompartemen yang dilewati. Hal ini terjadi karena semakin lama waktu kontak antara substrat dengan biomassa yang terdapat pada reaktor RBC maka akan memberi kesempatan bakteri untuk mendegradasi bahan organik lebih banyak dalam air limbah. Removal efisiensi dihitung untuk parameter BOD, COD, TSS, minyak dan lemak, amonia, dan bakteri *e. coli* di IPAL HKSAN dan Sungai Andai. Data kandungan influen dan effluen air limbah akan dibandingkan dengan menggunakan persamaan 3.4, yaitu sebagai berikut:

$$ER = \frac{(A-B)}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana: ER = persentase *removal* polutan unit tersebut (%)

A = konsentrasi polutan *influen* (mg/L)

B = konsentrasi polutan *effluent* (mg/L)

3.6 Analisis Data Aspek Finansial

Agar keuntungan yang diperoleh ataupun kerugian yang diderita oleh pihak pengelola dapat dioptimalkan maka salah satu upaya adalah membuat suatu perencanaan biaya operasi dan pemeliharaan secara matang sebagai pedoman

sehingga realisasi dapat dicapai seefisien mungkin, berdasarkan persamaan berikut dapat dilihat bahwa:

$$\text{Net Present Value} = \text{NPV Manfaat} - \text{NPV Biaya} \dots \dots \dots (3.5)$$

NPV Biaya merupakan jumlah biaya operasional dan pemeliharaan yang meliputi:

1. Biaya investasi
2. Biaya operasi dan pemeliharaan, terdiri dari biaya tetap atau biaya tidak langsung:
 - a. Biaya tetap atau biaya tidak langsung
 - Biaya gaji personil
 - Biaya kantor: pemeliharaan gedung, pemeliharaan kendaraan operasional kantor, pemeliharaan peralatan kantor dan peralatan kerja, biaya langganan listrik dan telpon, biaya kebersihan, biaya operasional kantor, biaya bahan kimia dan laboratorium, biaya perjalanan.
 - b. Biaya operasi dan pemeliharaan IPAL:
 - Operasi dan pemeliharaan unit-unit
 - Biaya pemeliharaan jaringan perpipaan
 - Biaya pemeliharaan sambungan rumah
 - Biaya operasi dan pemeliharaan instalasi
3. Biaya pengembangan, misalnya pengadaan truk tinja baru, pengadaan gerobak, vacuum pump, submersible pump, ataupun penambahan sambungan rumah.
4. Biaya retribusi, dikeluarkan setiap bulan atau setiap tahun yang ditarik oleh Pemda. Retribusi ditetapkan dengan Perda.
5. Biaya depresiasi,

Biaya retribusi yang seharusnya dibayarkan, dihitung dengan langkah berikut ini:

$$\text{Biaya retribusi} = \frac{\text{total biaya operasi dan pemeliharaan}}{\text{jumlah sambungan rumah yang terpasang}} \dots \dots \dots (3.6)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Aspek Teknis IPAL

4.1.1 Aspek Teknis IPAL HKSAN

A. Komponen IPAL HKSAN

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) HKSAN memiliki komponen dasar yang terdiri dari: jaringan perpipaan IPAL, sambungan rumah, dan bangunan central IPAL. Jalur perpipaan pada IPAL ini terdiri dari jalur pipa:

1. Pipa persil 4” atau 100 mm
2. Pipa servis 8” atau 200 mm
3. Pipa lateral dan pipa cabang 12” atau 300 mm
4. Dan pipa induk 15” atau 400 mm.

Jalur pipa ini digunakan untuk menyalurkan air limbah domestik dari rumah pelanggan menuju ke bangunan central instalasi pengolahan air limbah.

Kota Banjarmasin memiliki 7 bangunan IPAL, namun hingga saat ini hanya 6 IPAL yang beroperasi. IPAL HKSAN merupakan IPAL dengan kapasitas terbesar yang ada di Banjarmasin karena mampu mengolah debit air dengan kapasitas 5.000 m³/hari dan memiliki jumlah pelanggan terbanyak diantara IPAL yang lainnya yaitu sebanyak 1314 SR. Bangunan IPAL HKSAN terdiri dari beberapa kompartemen, dimulai dari bak penampungan inlet air limbah, bak RBC (*Rotating Biological Contractor*), bak sedimentasi, bak penampungan outlet, dan saluran outlet.

B. Kapasitas IPAL HKSAN

IPAL terpusat yang ada di HKSAN dibangun berdasarkan jumlah kebutuhan masyarakat dalam pengelolaan air limbah domestik. Sehingga kapasitas desain dari setiap IPAL terpusat yang ada di Kota Banjarmasin ini disesuaikan dengan jumlah penduduk pada setiap lokasi pembangunan. Berdasarkan data yang didapatkan IPAL HKSAN dibangun dengan kapasitas 5.000 m³/hari dan terdiri dari 1314 sambungan rumah (SR).

Kebutuhan air bersih pada setiap orang atau daerah berbeda-beda, sehingga hasil air limbah dari kegiatan domestik juga berbeda. Pada penelitian ini kuantitas air limbah dihitung dari jumlah debit rata-rata dari bulan Januari - Desember 2024 dan dibandingkan dengan debit rata-rata air limbah yang masuk ke IPAL HKSND berdasarkan teori analisis. Total debit air limbah domestik di IPAL HKSND berdasarkan data dari Perumda PALD Banjarmasin dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan total debit air limbah berdasarkan teori analisis pada Tabel 4.2.

Hasil perhitungan debit rata-rata air limbah yang masuk berdasarkan data dari Perumda PALD dan data perhitungan analisis berbeda jauh, hal ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya yaitu adanya kebocoran pipa air limbah, adanya kesalahan perhitungan debit estimasi yang didasarkan pada asumsi penggunaan air bersih karena penggunaan air bersih aktual bisa lebih rendah dari yang diperkirakan, faktor lainnya yaitu ketidakakuratannya alat ukur debit inlet (*flow meter*) karena adanya gangguan teknis atau mengalami kesalahan kalibrasi.

Tabel 4. 1 Total Debit Rata-rata Air Limbah yang Masuk ke IPAL HKSND

IPAL HKSND					
Bulan (2024)	Total Debit (m ³)	Jumlah SR	Kapasitas IPAL (m ³ /hari)	Debit Rata-rata (m ³ /hari)	Debit Rata-rata per SR (L/hari)
Januari	5400	1314	5000	180	136,99
Februari	2790			93	70,78
Maret	3270			109	82,95
April	3960			132	100,46
Mei	4290			143	108,83
Juni	3570			119	90,56
Juli	3510			117	89,04
Agustus	3750			125	95,13
September	5070			169	128,61
Oktober	3450			115	87,52
November	2520			84	63,93
Desember	3120			104	79,15
Rata-rata				124,17	94,50

Tabel 4. 2 Debit Rata-rata Air Limbah Berdasarkan Teori Analisis

Debit Pemakaian Air Bersih (L/org/hari) *	Jumlah Jiwa/SR*	Debit Air Bersih (L/SR)	Faktor Kehilangan Air Bersih*	Debit Air Bersih per-SR (L/hari)	Presentase Air Limbah	Debit Air Limbah per-SR (L/hari)
100	5	500	30%	350	80%	280

Jumlah SR IPAL HKSAN	Total Debit Air Limbah (L/hari)	Total Debit Air Limbah (m ³ /hari)
1314	367920	367,92

(*Sumber: DPU Dirjen Cipta Karya, 1996).

Dari debit yang masuk ke IPAL HKSAN dengan rata-rata 124,17 m³/hari, dinilai sangat kecil jika dibandingkan dengan debit air limbah perhari yang harusnya masuk ke IPAL ini sebesar 367,92 m³/hari. Sedangkan kapasitas IPAL yang terpasang termasuk kapasitas besar. Air limbah yang masuk ke saluran primer menuju IPAL ini hanya 2,48% dari kapasitas IPAL yang terpasang.

Untuk kapasitas debit yang masuk ke IPAL HKSAN, kapasitas desain bak-bak pengolahan IPAL HKSAN disesuaikan dengan rencana kapasitas terpasang, awal mulanya kapasitas desain IPAL ini sebesar 5000 m³/hari dengan detail ukuran bak yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Dimensi Bak Pengolahan IPAL HKSAN

Desain Bak Pengolahan	Dimensi (m)			
	Panjang	Lebar	Tinggi	<i>Freeboard</i>
<i>Bar Screen</i>	4,6	3,6	2,2	
Bak inlet	4,9	5,6	5,5	
Bak RBC	13	11	3,5	0,65
Bak sedimentasi	15	5	3,5	0,65
Bak outlet	1,5	1,5	1	0,65

Sumber: Data Perumda PALD Banjarmasin

4.1.2 Aspek Teknis IPAL Sungai Andai

A. Komponen IPAL Sungai Andai

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sungai Andai memiliki komponen dasar yang terdiri dari: jaringan perpipaan IPAL, sambungan rumah, dan bangunan central IPAL. Jalur perpipaan pada IPAL ini terdiri dari jalur pipa:

1. Pipa persil 4" atau 100 mm
2. Pipa servis 8" atau 200 mm
3. Pipa lateral dan pipa cabang 12" atau 300 mm
4. Dan pipa induk 15" atau 400 mm.

Jalur pipa ini digunakan untuk menyalurkan air limbah domestik dari rumah pelanggan menuju ke bangunan central intalasi pengolahan air limbah.

IPAL Sungai Andai beroperasi dengan kapasitas 3.000 m³/hari dengan jumlah pelanggan hingga bulan April 2024 sebanyak 581 SR. Berbeda dengan IPAL HKSAN, pengolahan air limbah domestik di IPAL Sungai Andai dimulai dari bak penampungan inlet air limbah, kemudian masuk ke bak sedimentasi terlebih dahulu baru selanjutnya masuk ke bak pengolahan RBC (*Rotating Biological Contractor*), kemudian menuju bak penampungan outlet, dan terakhir menuju saluran outlet.

B. Kapasitas IPAL Sungai Andai

IPAL Sungai Andai dibangun berdasarkan jumlah kebutuhan masyarakat dalam pengelolaan air limbah domestik. Sehingga kapasitas desain dari setiap IPAL terpusat yang ada di Kota Banjarmasin ini disesuaikan dengan jumlah penduduk pada setiap lokasi pembangunan. Berdasarkan data yang didapatkan IPAL Sungai Andai dibangun dengan kapasitas 3.000 m³/hari dan terdiri dari 581 sambungan rumah (SR).

Pada penelitian ini kuantitas air limbah dihitung dari jumlah debit rata-rata dari bulan Januari - Desember 2024. Total debit air limbah domestik di IPAL Sungai Andai berdasarkan data dari Perumda PALD Banjarmasin dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan total debit air limbah berdasarkan teori analisis pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 4 Total Debit Rata-rata Air Limbah yang Masuk ke IPAL Sungai Andai

IPAL Sungai Andai					
Bulan (2024)	Total Debit (m ³)	Jumlah SR	Kapasitas IPAL (m ³ /hari)	Debit Rata-rata (m ³ /hari)	Debit Rata-rata per SR (L/hari)
Januari	2697	581	3000	89,90	154,73
Februari	2461			82,03	141,19
Maret	3594			119,80	206,20
April	2899			96,63	166,32
Mei	2452			81,73	140,68
Juni	2429			80,97	139,36
Juli	1773			59,10	101,72
Agustus	1264			42,13	72,52
September	1265			42,17	72,58
Oktober	2114			70,47	121,29
November	3011			100,37	172,75

IPAL Sungai Andai					
Bulan (2024)	Total Debit (m ³)	Jumlah SR	Kapasitas IPAL (m ³ /hari)	Debit Rata-rata (m ³ /hari)	Debit Rata-rata per SR (L/hari)
Desember	1748			58,27	100,29
Rata-rata				76,96	132,47

Tabel 4. 5 Debit Rata-rata Air Limbah Berdasarkan Teori Analisis

Debit Pemakaian Air Bersih (L/org/hari) *	Jumlah Jiwa/SR*	Debit Air Bersih (L/SR)	Faktor Kehilangan Air Bersih*	Debit Air Bersih per-SR (L/hari)	Presentase Air Limbah	Debit Air Limbah per-SR (L/hari)
100	5	500	30%	350	80%	280

Jumlah SR IPAL Sungai Andai	Total Debit Air Limbah (L/hari)	Total Debit Air Limbah (m ³ /hari)
581	213762	213,76

Dari debit yang masuk ke IPAL Sungai Andai dengan rata-rata 76,96 m³/hari, dinilai sangat kecil jika dibandingkan dengan debit air limbah perhari yang harusnya masuk ke IPAL ini sebesar 213,76 m³/hari. Sedangkan kapasitas IPAL yang terpasang termasuk kapasitas besar. Air limbah yang masuk ke saluran primer menuju IPAL ini hanya 2,57% dari kapasitas IPAL yang terpasang.

Untuk kapasitas desain bak-bak pengolahan IPAL Sungai Andai disesuaikan dengan rencana kapasitas terpasang, awal mulanya kapasitas desain IPAL ini sebesar 3.000 m³/hari dengan detail ukuran bak yang dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4. 6 Dimensi Bak Pengolahan IPAL Sungai Andai

Desain Bak Pengolahan	Dimensi (m)			
	Panjang	Lebar	Tinggi	<i>Freeboard</i>
<i>Bar Screen</i>	4,6	3,6	2,2	
Bak inlet	4,9	5,6	5,5	
Bak RBC	13	11	3,5	0,65
Bak sedimentasi	15	5	3,5	0,65
Bak outlet	1	1,5	1	0,65

Sumber: Data Perumda PALD Banjarmasin

4.1.3. Komparasi Desain IPAL dengan Kriteria Desain Permen PUPR No 4 Tahun 2017

Kriteria desain yang digunakan pada unit RBC mengacu pada Lampiran II PERMEN PUPR Nomor 4 Tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Kriteria Desain RBC

Faktor Perencanaan	Kriteria	Keterangan
Beban permukaan BOD gr BOD/(m ² luas piringan.hari)	10-15	gr/m ² .hari (domestik)
Beban hidrolis L/m ² /hari	50-100	jika BOD influen = 200 mg/L
Jarak antara piringan	3-5	cm
Diameter piringan	1,5-3	m
Waktu detensi	2-4	jam
Kebutuhan listrik untuk rotor	8-10	Kw.jam/(orang.tahun)
Produk lumpur	0,4-0,5	kg/kgBOD removal
Kecepatan putaran cakram	1-2	rpm
Diameter cakram	1-3,6	m
Kedalaman bak	40%	dari diameter cakram
Temperatur pengoperasian	15-40	^o C

Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 04 Tahun 2017 (Lampiran II)

A. Rasio BOD/COD

Rasio BOD/COD untuk air limbah perkotaan yang dapat diolah dengan proses biologis berkisar 0,2-0,5. Apabila rasio BOD/COD dibawah 0,3 maka air limbah tersebut memerlukan lebih banyak oksigen untuk membantu proses degradasi komponen organik. Namun jika rasio BOD/COD diatas 0,8 dapat mengindikasikan kinerja yang baik dalam pengolahan bahan organik, namun RBC tersebut tidak dapat menampung beban yang besar (Putri, dkk., t.t.). Berdasarkan hasil perhitungan nilai rasio BOD/COD inlet pada IPAL HKSAN sebesar 0,48 dan IPAL Sungai Andai sebesar 0,32 yang berarti rasio ini masih memenuhi kriteria desain.

B. Beban BOD (BOD *Surface Loading*)

Beban BOD atau BOD surface loading yang biasa digunakan untuk perencanaan sistem RBC yakni 5– 20 gram BOD/m²/hari. Hubungan antara

beban konsentrasi BOD inlet dan beban BOD terhadap efisiensi pemisahan BOD untuk air limbah domestik ditunjukkan seperti pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Hubungan Antara Konsentrasi BOD Inlet dan Beban BOD (Said 2005)

Konsentrasi BOD inlet (mg/L)	Beban BOD (gr/m ² .hari)
300	30
200	20
150	15
100	10
50	5

Dengan nilai konsentrasi BOD inlet pada IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai sebesar 17,59 mg/L dan 34,74 mg/L, maka didapatkan hasil beban BOD sebesar 1,75 gr/m².hari dan 3,47 gr/m².hari. Beban BOD yang rendah pada air limbah mengartikan bahwa air limbah tersebut memiliki sedikit bahan organik yang dapat diuraikan oleh mikroorganismenya. Namun hal ini akan mengakibatkan proses pengolahan menjadi tidak efektif, karena beban BOD yang masuk ke dalam pengolahan nilainya kecil, sedangkan IPAL yang ada berkapasitas besar. Penggunaan energi listrik juga tidak dinilai efisien jika line stage RBC diaktifkan dalam jumlah banyak.

Untuk efisiensi penggunaan energi dan peningkatan efektivitas pengolahan, maka *line stage* RBC akan lebih baik jika hanya 1 *line* yang diaktifkan dan secara bergantian setiap harinya pengaktifan *line* lain juga dilakukan, agar tidak terjadi fase kematian mikroorganismenya yang melekat pada modul RBC dengan material HDPE tipe plat bergelombang.

C. Waktu Tinggal Rata-rata (*Hydraulic Retention Time*)

HRT adalah parameter penting dalam desain dan pengoperasian RBC, HRT mengacu pada durasi waktu air limbah tetap bersentuhan dengan biofilm pada cakram RBC dalam bioreaktor. HRT mempengaruhi kinerja dengan menentukan waktu yang tersedia bagi mikroorganismenya untuk mendegradasi polutan.

Dengan debit harian rata-rata pada IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai sebesar 128,5 m³/hari dan 97,1 m³/hari dengan volume bak RBC sebesar 500 m³, didapatkan hasil waktu tinggal pada masing-masing IPAL sebesar

6,1 jam dan 4,6 jam. Waktu tinggal (waktu detensi) yang didapatkan melebihi dari kriteria yang ditetapkan pada Tabel 4.7 namun efektivitas pengolahan RBC ini tidak hanya dilihat dari waktu tinggal tetapi juga dilihat dari efisiensi removal yang terjadi pada masing-masing parameter uji air limbah. Kesimpulan perbandingan desain IPAL ini dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Komparasi Desain IPAL dengan Kriteria Desain RBC

Faktor Perencanaan	Kriteria	Keterangan	IPAL HKSAN	IPAL Sungai Andai	Kesimpulan
Beban permukaan BOD gr BOD/(m ² luas piringan.hari)	10-15	gr/m ² .hari (domestik)	1,75	3,47	Tidak memenuhi
Rasio BOD/COD	0,2-0,5		0,48	0,32	Memenuhi
Waktu detensi	2-4	jam	6,1	4,6	Tidak memenuhi
Kecepatan putaran cakram	1-2	rpm	3	3	Sesuai dengan spek instalasi yang digunakan (3-5 rpm)
Diameter cakram	1-3,6	m	2,4	2,4	Memenuhi
Kedalaman bak	40%	dari diameter cakram	3,5 m	3,5 m	Memenuhi

4.2 Analisis Kualitas Air Limbah dan Efisiensi Removal pada IPAL HKSAN dan IPAL Sungai Andai

Pengujian kualitas air limbah IPAL HKSAN dan IPAL Sungai Andai dimulai dari pengambilan sampel air limbah pada bulan Juni 2024 pukul 06:00, 12:00, 18:00 selama 1 hari dimasing-masing IPAL. Sebagai pelengkap data ditambahkan juga data sekunder berupa hasil pengujian dari bulan Januari 2023 – Desember 2024 yang dilakukan oleh Perumda PALD Banjarmasin. Titik pengambilan sampel air limbah di IPAL HKSAN antara lain bak pengumpul inlet, bak RBC sebelum sedimentasi, dan bak outlet dapat dilihat pada Gambar 4.1. Pada IPAL Sungai Andai dilakukan titik pengambilan sampel di bak pengumpul inlet, bak RBC setelah sedimentasi, dan bak outlet dapat dilihat pada Gambar 4.2.



(A) Bak Inlet



(B) Bak RBC



(C) Bak Sedimentasi 1-2



(D) Bak Outlet

Gambar 4. 1 IPAL HKSJN



(A) Bak Inlet



(B) Bak Sedimentasi 1-2



(C) Bak RBC



(D) Bak Outlet

Gambar 4. 2 IPAL Sungai Andai

Setelah pengambilan sampel air limbah, dilakukan pengujian air limbah dengan parameter uji pH, BOD, COD, TSS, minyak dan lemak, dan amonia yang dilakukan di Laboratorium Kesehatan Daerah Kota Banjarmasin. Hasil pengujian kualitas air limbah akan dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Perbandingan nilai konsentrasi parameter uji dengan baku mutu dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Perbandingan Nilai Konsentrasi Parameter Uji dengan Baku Mutu

Parameter Uji	Baku Mutu Permen LHK NO. 68 Tahun 2016	IPAL HKS			IPAL Sungai Andai		
		Kadar Influen	Kadar Efluen	Keterangan Efluen	Kadar Influen	Kadar Efluen	Keterangan Efluen
pH	6 – 9	6,99	7,22	Memenuhi	6,84	7,16	Memenuhi
BOD (mg/L)	30	18,99	7,29	Memenuhi	29,84	8,20	Memenuhi
COD (mg/L)	100	37,34	26,06	Memenuhi	94,07	32,23	Memenuhi
TSS (mg/L)	30	12,29	2,89	Memenuhi	46,40	5,37	Memenuhi
Minyak dan lemak (mg/L)	5	1,44	1,44	Memenuhi	1,79	1,44	Memenuhi
Amonia (mg/L)	10	7,96	5,52	Memenuhi	5,80	1,28	Memenuhi
Bakteri <i>e. coli</i> (Jumlah/100 mL)	3000	771483,33	51,42	Memenuhi	323687,5	140,58	Memenuhi

Perhitungan efisiensi removal perlu dihitung untuk memastikan sistem pengolahan air limbah berfungsi dengan optimal dan sesuai standar. Persentase efisiensi removal menjadi indikator dalam keberhasilan pengolahan dalam mengurangi polutan, menunjukkan bahwa air limbah hasil pengolahan memenuhi

baku mutu lingkungan yang ditetapkan pemerintah pada Permen LHK No 68 Tahun 2016, serta hasil dari analisis efisiensi removal yang rendah dapat mengindikasikan adanya masalah dalam proses pengolahan. Perhitungan efisiensi ini juga membantu inovasi untuk perancangan atau perbaikan teknologi pengolahan air limbah untuk meningkatkan keberlanjutan pengelolaan limbah.

Adapun hasil rata-rata analisis efisiensi removal yang dihitung dengan persamaan 3.4 pada air limbah inlet dan outlet selama bulan Januari 2023 – Desember 2024 terhadap parameter uji dapat dilihat pada Tabel 4.11, pembahasan lebih lanjut akan dibahas persub-bab parameter uji.

Contoh perhitungan efisiensi removal pada IPAL HKSAN untuk parameter TSS adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ ER} &= \frac{(\bar{x}TSS \text{ inlet} - \bar{x}TSS \text{ outlet})}{\bar{x}TSS \text{ inlet}} \times 100\% \\ &= \frac{(12,29 \frac{mg}{L} - 2,89 \frac{mg}{L})}{12,29 \frac{mg}{L}} \times 100\% \\ &= 70,10\% \end{aligned}$$

Tabel 4. 11 Efisiensi Removal Rata-rata di IPAL HKSAN dan IPAL Sungai Andai

Parameter	Efisiensi Removal (%)	
	IPAL HKSAN	IPAL Sungai Andai
TSS	70,10	74,05
BOD	57,35	57,68
COD	27,87	46,98
Minyak dan lemak	0	9,33
Amonia	31,21	75,84
Total <i>Coliform</i>	95,74	99,74

4.2.1 pH

Pengukuran pH sangat penting sebagai parameter kualitas air karena pH dapat mempengaruhi kehidupan biologi dalam air. Jika pH terlalu rendah atau terlalu tinggi maka dapat mengganggu kehidupan mikroorganisme dalam air (Junaidi, Hatmanto 2006). Perubahan pada pH terjadi ketika pengolahan air domestik secara anaerobik dan aerobik yang menghasilkan asam (HNO_3 , H_2SO_4 , H_3PO_4) pada proses aerobik dan H_2S pada proses anaerobik. Nilai netral pada parameter pH disebabkan oleh berbagai gas pembentuk yang menjadikan air menjadi asam misalnya hidrogen sulfida yang dinetralkan dengan sisa bahan

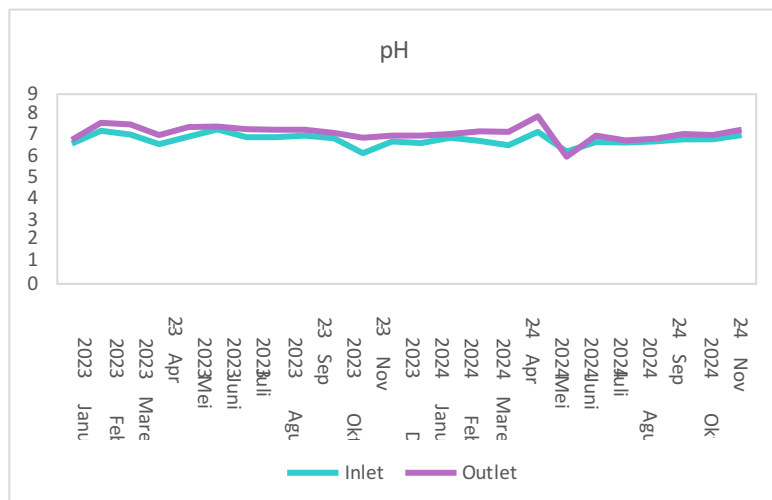
pembersih yang ada pada air limbah seperti kandungan detergen dan sabun yang sifatnya basa pada air limbah (Sari dkk., 2015).

Hasil pengukuran pH selama bulan Januari 2023 – Desember 2024 pada inlet IPAL HKSAN rata-rata sebesar 6,99 dengan kadar outlet rata-rata sebesar 7,22. Untuk IPAL Sungai Andai kadar inlet dan outlet rata-rata sebesar 6,84 dan 7,16. Nilai pH pada kedua IPAL ini masih memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan sebelum dibuang ke badan air yaitu 6-9. Nilai pH yang netral dapat dinyatakan bahwa pengolahan air limbah dengan teknologi RBC ini bekerja dengan baik pada kedua IPAL. Nilai pH tinggi menandakan air limbah yang diolah bersifat basa, sedangkan jika nilai pH rendah menandakan air limbah bersifat asam (Fajarwati & Putri, 2022).

Nilai pH yang fluktuatif pada Gambar 4.3 dan 4.4 dipengaruhi oleh mekanisme metabolisme mikroba yang melibatkan reaksi oksidasi dan reduksi. Banyaknya mikroba memengaruhi proses metabolisme oksidasi reduksi yang melibatkan adanya ion hidrogen dan oksigen dalam mikroba sehingga dapat menstabilkan pH (Sari dkk., 2015). Apabila nilai pH terlalu tinggi dan terlalu rendah dapat mengganggu ekosistem di perairan. Untuk mempertahankan kondisi mikroba pada kondisi stabil, alkalinitas pada air perlu dijaga karena mikroba tidak dapat bertahan hidup dengan nilai pH yang sangat rendah (Fajarwati & Putri, 2022).



Gambar 4. 3 Grafik pH IPAL HKSAN



Gambar 4. 4 Grafik pH IPAL Sungai Andai

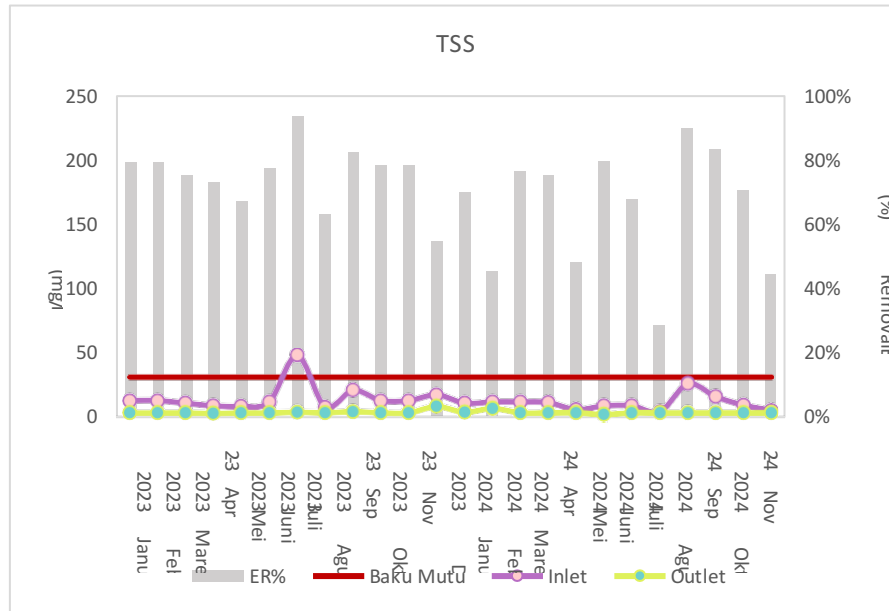
4.2.2 TSS (Total Suspended Solid)

Penyisihan TSS pada unit RBC tergantung kepada HRT dan kecepatan putaran disk, semakin lama HRT maka semakin tinggi juga efisiensi penyisihan TSS yang dilakukan oleh RBC karena TSS memiliki waktu yang cukup untuk mengendap. TSS merupakan padatan yang dapat tertahan pada saringan *milipore* berdiameter 0,45 μm dan berukuran $> 1 \mu\text{m}$ dalam air yang dapat mengendap secara perlahan. Biasanya kadar TSS akan lebih banyak terendap pada proses sedimentasi dalam pengolahan air limbah, karena prinsip bak sedimentasi pada air limbah dengan cara memisahkan padatan dari air limbah secara gravitasi. TSS pada air limbah dapat berupa lumpur, jasad renik, pasir, dan biofilm (Aghababae dkk., 2022).

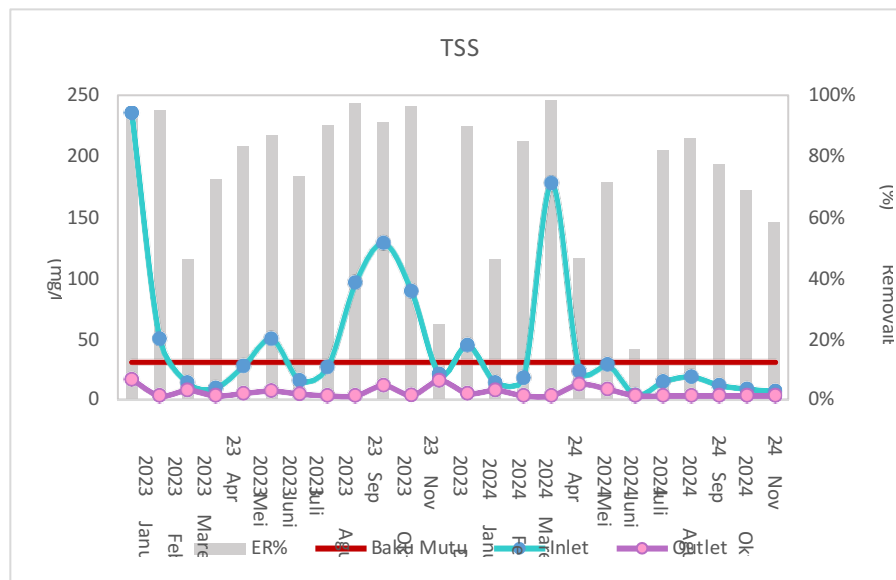
Dalam penelitian ini nilai konsentrasi TSS inlet pada IPAL HKSAN dan IPAL Sungai Andai sebesar 12,29 mg/L dan 46,40 mg/L, dengan konsentrasi efluen sebesar 2,89 mg/L dan 5,37 mg/L. Kadar TSS ini masih memenuhi standar baku mutu yaitu 30 mg/L. Konsentrasi TSS inlet tertinggi pada IPAL HKSAN terjadi dibulan Juli 2023 yaitu sebesar 47 mg/L, sedangkan pada IPAL Sungai Andai terjadi dibulan Januari 2023 yaitu sebesar 234 mg/L.

Pengolahan air limbah domestik dengan sistem RBC menghasilkan rata-rata efisiensi removal untuk mengolah TSS sebesar 70,10% untuk IPAL HKSAN dengan efisiensi removal tertinggi terjadi pada bulan Juli 2023 yang mana nilai konsentrasi outlet yaitu 3 mg/L dapat dilihat pada Gambar 4.5. Sedangkan pada IPAL Sungai

Andai dalam grafik pada Gambar 4.6 menghasilkan rata-rata efisiensi removal sebesar 74,05%, nilai efisiensi tertinggi terjadi pada bulan April 2024 sebesar 98,54% dengan nilai konsentrasi outlet sebesar 2,58 mg/L. Persentase efisiensi removal pada pengolahan RBC berkisar antara 80-95% (Putri, 2018).



Gambar 4. 5 Grafik Konsentrasi TSS dan Efisiensi Removal IPAL HKS



Gambar 4. 6 Grafik Konsentrasi TSS dan Efisiensi Removal IPAL Sungai Andai

Sebagai perbandingan dari data penelitian yang dilakukan di IPAL HKS oleh (Sari dkk., 2021), kadar TSS air limbah outlet pada bulan Januari 2021

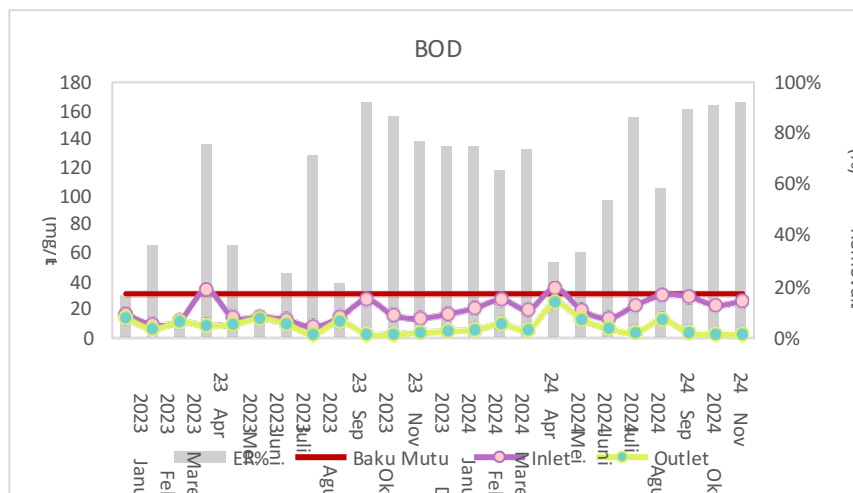
melebihi baku mutu yaitu sebesar 60,4 mg/L, untuk bulan Februari-April 2021 nilai TSS outlet semakin menurun memenuhi baku mutu. Pada bulan Juni 2021, nilai TSS air limbah outlet sedikit melebihi baku mutu yaitu sebesar 38 mg/L. Tingginya nilai TSS pada sampel dapat disebabkan karena partikel suspensi seperti lumpur, tanah liat, bahan organik terlarut dan sejenisnya banyak terkandung didalam air limbah. Penyebab lainnya dapat dikarenakan lolosnya lumpur dari bak pengolahan pertama yang masuk ke bak pengolahan selanjutnya, sehingga mengurangi performa sistem pengolahan pada unit RBC.

4.2.3 BOD (Biological Oxygen Demand)

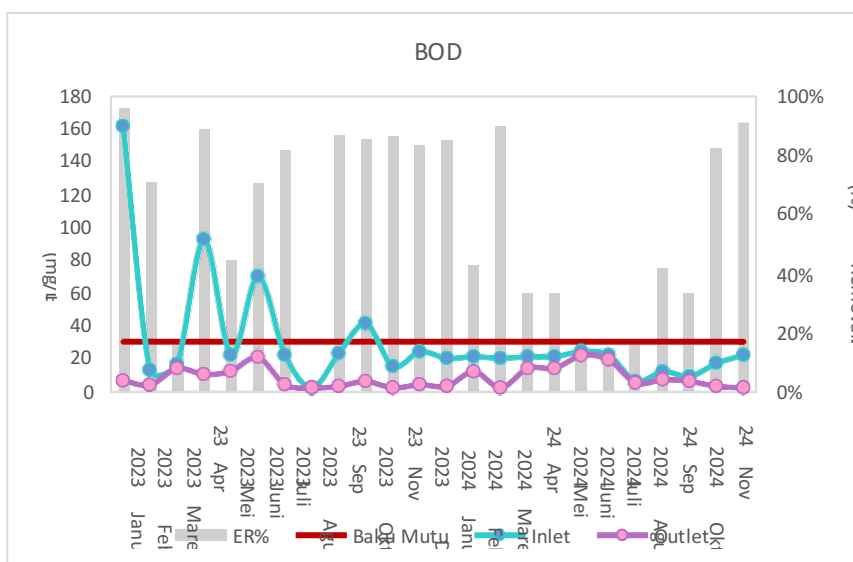
Selisih nilai antara COD dan BOD memberikan gambaran besarnya bahan organik yang sulit diurai pada air. Nilai BOD bisa sama dengan nilai COD, tetapi nilai BOD tidak bisa lebih besar dari nilai COD (Atima 2015). Analisis kadar BOD digunakan untuk mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi air limbah secara relatif, nilai ini tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya. Dalam pengertian lain, BOD diartikan sebagai jumlah oksigen yang diperlukan oleh organisme dalam mendegradasi bahan organik pada kondisi aerobik. Degradasi bahan organik digunakan sebagai bahan makanan dan energi oleh organisme dalam perairan. Pengukuran konsentrasi BOD digunakan untuk menentukan beban pencemaran dari air buangan penduduk atau industri, serta digunakan untuk mendesain sistem pengolahan air limbah yang tepat untuk air limbah tersebut (Ramadhani, 2021).

Pada IPAL HKSAN dan IPAL Sungai Andai sebelum dilakukan pengolahan, nilai konsentrasi BOD inlet rata-rata dari bulan Januari 2023 – Desember 2024 sebesar 18,99 mg/L dan 29,84 mg/L. Nilai konsentrasi BOD inlet tertinggi terjadi pada bulan Mei 2024 sebesar 34 mg/L di IPAL HKSAN dan bulan Januari 2023 sebesar 160,7 mg/L. Setelah dilakukan pengolahan dengan sistem RBC, konsentrasi BOD pada outlet mengalami penurunan yang signifikan pada Gambar 4.7 dan 4.8, dengan rata-rata efisiensi removal pada IPAL HKSAN dan IPAL Sungai Andai sebesar 57,35% dan 57,68%, mampu menghasilkan nilai konsentrasi BOD outlet rata-rata sebesar 7,29 mg/L dan 8,20 mg/L. Efisiensi removal tertinggi untuk parameter BOD dalam pengolahan air limbah dengan sistem RBC di IPAL HKSAN

dan IPAL Sungai Andai terjadi pada bulan Oktober 2023 senilai 92,31% dan bulan Januari 2023 senilai 95,96%. Penyisihan konsentrasi BOD pada sistem RBC pada umumnya berkisar 90%, pada kedua IPAL ini efisiensi removal yang dihasilkan bernilai rendah dikarenakan nilai BOD yang masuk ke pengolahan ini tergolong berkonsentrasi kecil. Sehingga nilai konsentrasi outlet pada kedua IPAL ini masih memenuhi baku mutu yaitu sebesar 30 mg/L yang berarti air limbah hasil pengolahan ini dapat dikatakan aman untuk dibuang ke lingkungan atau badan air terdekat.



Gambar 4. 7 Grafik Konsentrasi BOD dan Efisiensi Removal IPAL HKS N



Gambar 4. 8 Grafik Konsentrasi BOD dan Efisiensi Removal IPAL Sungai Andai

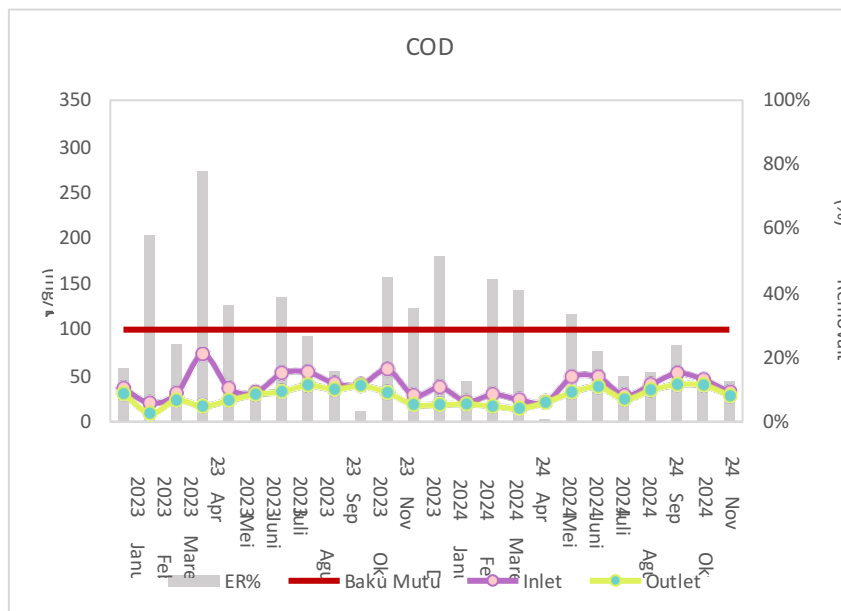
Sebagai perbandingan pada penelitian di IPAL Lambung Mangkurat oleh (Putri dkk., 2018), pengukuran kadar BOD dilakukan pengambilan sampel air limbah pada jam puncak 09.00 selama 3 hari, menunjukkan bahwa kadar BOD inlet setelah dilakukan pengolahan dengan sistem RBC terjadi penurunan kadar, dengan rata-rata BOD inlet sebesar 40 mg/L dan BOD outlet sebesar 25 mg/L. Sama halnya dengan IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai kadar BOD influen dan BOD efluen yang dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan 4.8 juga mengalami penurunan kadar. Nilai BOD inlet digunakan untuk melakukan perhitungan beban organik.

4.2.4 COD (Chemical Oxygen Demand)

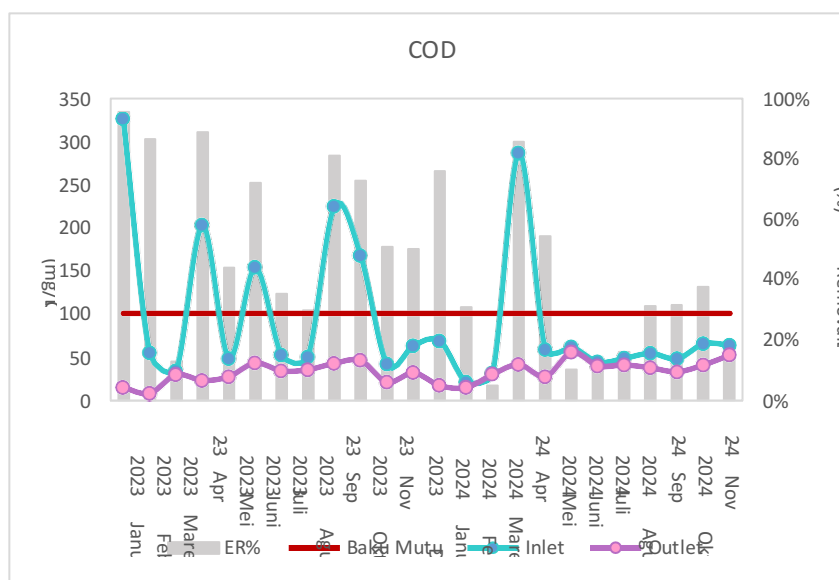
Selisih nilai antara COD dan BOD memberikan gambaran besarnya bahan organik yang sulit diurai pada air (Atima 2015). Analisis kadar COD diperlukan untuk menentukan seberapa banyak oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi (Sulistia & Septisya, 2019).

Bakteri karbon bertanggungjawab dalam mereduksi kadar COD. Penurunan nilai COD dari influen dan efluen menunjukkan konsumsi bahan organik didegradasi secara terus menerus oleh mikroorganisme yang melekat pada permukaan RBC. Efisiensi penghilangan COD cukup tinggi untuk memenuhi persyaratan pengolahan air limbah perkotaan (Waqas dkk., 2021).

Pada gambar 4.9 dan 4.10 nilai konsentrasi COD rata-rata sebelum dilakukan pengolahan pada IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai sebesar 37,34 mg/L dan 90,07 mg/L. Konsentrasi COD pada IPAL Sungai Andai lebih tinggi jika dibandingkan dengan IPAL HKSN. Dalam pengolahan dengan sistem RBC yang terjadi pada kedua IPAL mampu menghasilkan efisiensi removal rata-rata sebesar 27,87% dan 46,98%. Setelah dilakukan pengolahan, air limbah yang akan dibuang ke badan air konsentrasinya sudah memenuhi baku mutu dibawah 100 mg/L terlebih dahulu. Dapat dilihat pada grafik dibawah nilai konsentrasi outlet rata-rata untuk IPAL HKSN sebesar 26,06 mg/L dan pada IPAL Sungai Andai sebesar 32,23 mg/L. Konsentrasi COD terbesar terdapat pada bulan April 2023 yaitu 71,48 mg/L pada IPAL HKSN dan bulan Januari 2023 yaitu 325,42 mg/L pada IPAL Sungai Andai.



Gambar 4. 9 Grafik Konsentrasi COD dan Efisiensi Removal IPAL HKSAN



Gambar 4. 10 Grafik Konsentrasi COD dan Efisiensi Removal IPAL Sungai Andai

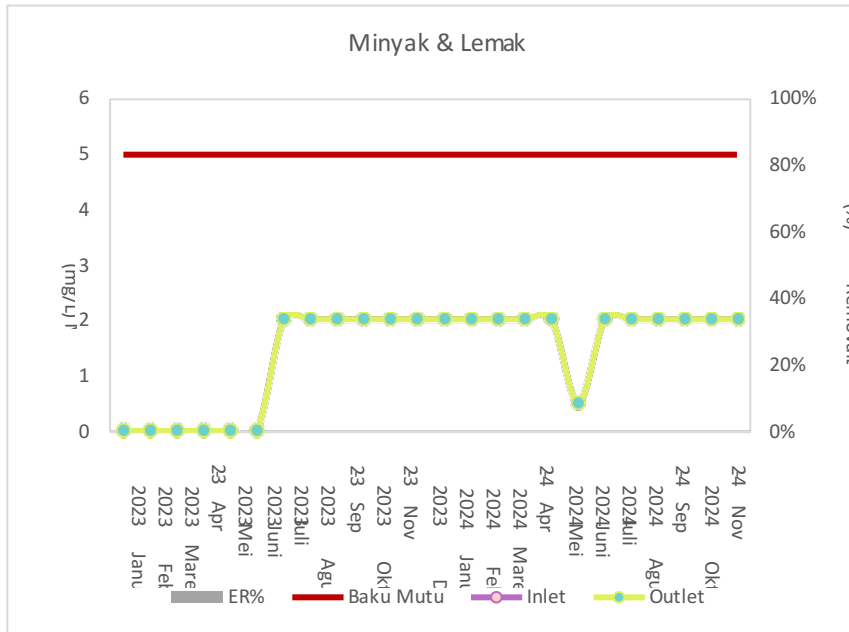
Kadar BOD dan COD yang masih relatif rendah menunjukkan bahwa bahan-bahan pencemar organik yang masuk bersifat mudah terurai. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Sari dkk., 2021) hasil pemeriksaan kualitas air limbah setelah dilakukan pengolahan pada IPAL HKSAN bulan Januari – April 2021 untuk parameter BOD dan COD masih dalam rentang baku mutu yaitu dengan nilai kadar BOD sebesar 22 mg/L dan nilai COD sebesar 61,5 mg/L. Pada bulan Juni

2021 juga dilakukan uji laboratorium dengan hasil uji sebesar 10,2 mg/L untuk parameter BOD dan 25,4 mg/L untuk parameter COD pada air limbah outlet yang mana hasil ini menunjukkan bahwa pengolahan dengan sistem RBC untuk parameter BOD dan COD pada IPAL HKSN dapat dikatakan berjalan dengan baik.

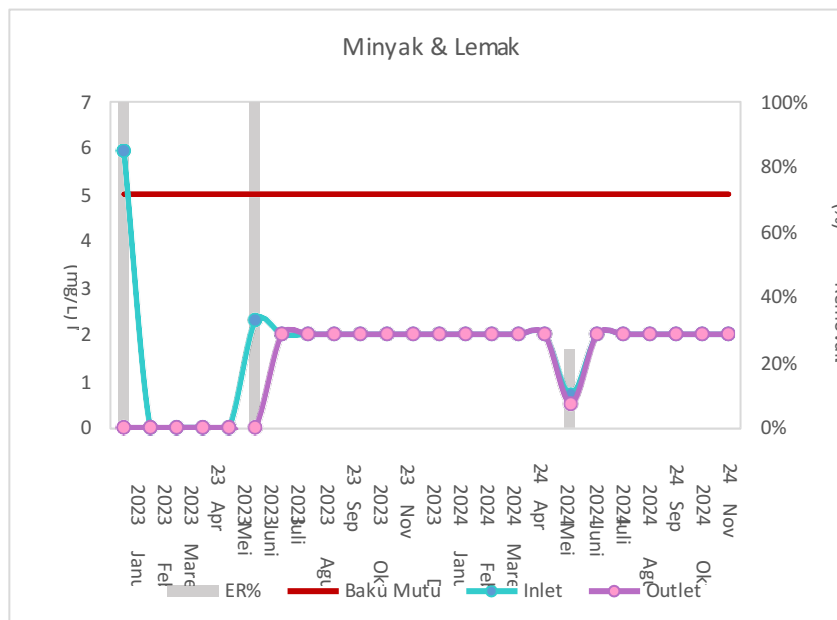
4.2.5 Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak yang masuk ke dalam air limbah domestik dapat menyebabkan penyumbatan saluran pembuangan. Penyumbatan ini dapat mengeras seiring waktu dan sulit dibersihkan, dampak negatif lainnya dapat meningkatkan risiko banjir karena pipa air limbah domestik tersumbat oleh kandungan minyak dan lemak yang mengeras, dan juga air limbah dapat meluap ke badan air terdekat (Nieuwenhuis dkk., 2018).

Dalam penelitian ini konsentrasi inlet rata-rata untuk parameter minyak dan lemak pada air limbah domestik yang diolah pada IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai bernilai rendah yaitu sebesar 1,44 mg/L dan 1,79 mg/L. Pada IPAL HKSN tidak terjadi pengurangan konsentrasi parameter minyak dan lemak sebelum diolah dengan sistem RBC dan setelah dilakukan pengolahan. Dalam kata lain nilai inlet dan outlet pada Gambar 4.11 sama nilainya sehingga efisiensi removalnya bernilai 0%. Sedangkan pada IPAL Sungai Andai rata-rata sejak bulan Januari 2023 – Desember 2024 tidak terjadi pengurangan konsentrasi minyak dan lemak sama seperti IPAL HKSN, namun ada beberapa bulan yang mengalami perubahan konsentrasi inlet dan outlet seperti pada bulan Januari 2023, Juni 2023, dan Juni 2024 yang dapat dilihat pada Gambar 4.12. Kekurangan dari sistem RBC ini adalah kurang mampu mereduksi kandungan minyak dan lemak yang masuk ke pengolahan.



Gambar 4. 11 Grafik Konsentrasi Minyak & Lemak dan Efisiensi Removal IPAL HKS



Gambar 4. 12 Grafik Konsentrasi Minyak & Lemak dan Efisiensi Removal IPAL Sungai Andai

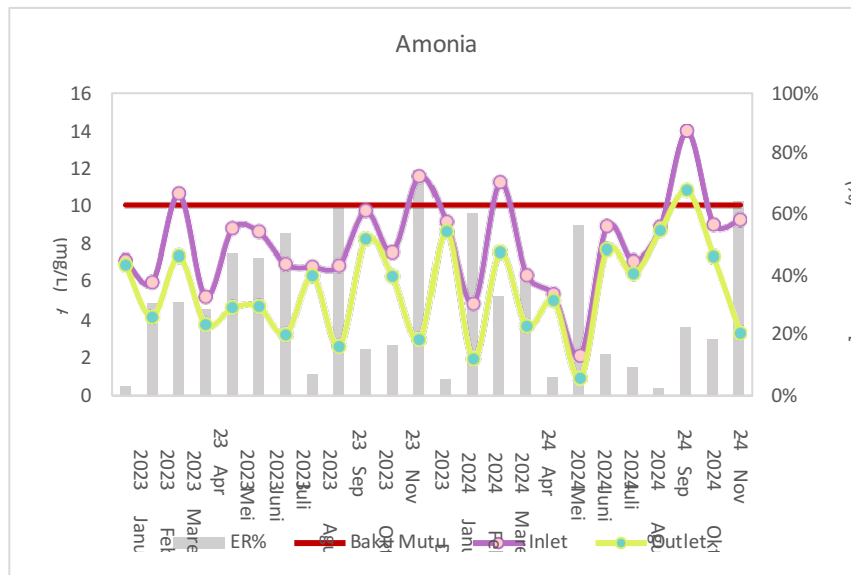
4.2.6 Amonia

Mekanisme pengolahan air limbah dengan mikroorganime yang ada di RBC ini dapat dilihat pada Gambar 2.6 dan 2.7. Biofilm yang terbentuk pada media

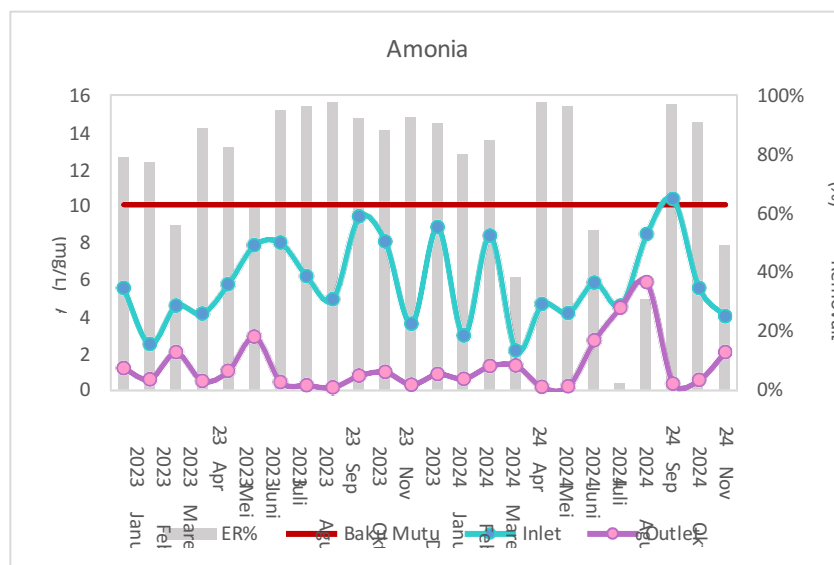
mencapai 2-4 mm, ketebalannya bergantung pada beban organik yang masuk ke dalam reaktor pengolahan serta kecepatan putarannya. Jika lapisan mikrobiologis (biofilm) yang terbentuk cukup tebal, maka pada bagian luar lapisan mikrobiologis akan terbentuk kondisi aerobik, sedangkan pada bagian dalam media akan terjadi kondisi anaerobik. Kondisi anaerobik akan membentuk gas H_2S , apabila konsentrasi oksigen terlarut pada reaktor RBC cukup besar maka gas H_2S yang terbentuk akan diubah menjadi sulfat (SO_4) oleh bakteri sulfat yang ada didalam biofilm. Pada zona aerobik, nitrogen-ammonium diubah menjadi nitrit dan nitrat dan pada zona anaerobik, nitrat yang terbentuk akan mengalami proses denitrifikasi menjadi gas nitrogen. Oleh karena itu, penghilangan senyawa nitrogen akan menjadi lebih mudah jika di dalam biofilm terjadi kondisi anaerobik dan aerobik pada saat yang bersamaan (Said, 2005). Efisiensi penghilangan amonia yang tinggi menunjukkan keberadaan aktivitas bakteri AOB (*ammonia-oxidizing bacteria*) dan NOB (*nitrite-oxidizing bacteria*) yang mereduksi amonia menjadi nitrit dan nitrat (Waqas dkk., 2021). Kandungan amonia yang terdapat pada air limbah berasal dari zat sisa metabolisme organisme lain yang terakumulasi dalam limbah tersebut. Jika kadar amonia melebihi ambang batas baku mutu yang ditetapkan maka dapat mengganggu ekosistem perairan dan makhluk hidup lainnya karena bersifat racun bagi organisme yang hidup di perairan. Walaupun bagi manusia parameter amonia ini tidak bersifat toksik, tetapi jika di lingkungan air parameter ini menjadi indikator pencemaran air (Widyayanti dkk., 2023).

Pada IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai sebelum dilakukan pengolahan, nilai konsentrasi Amonia inlet rata-rata dari bulan Januari 2023 – Desember 2024 sebesar 7,96 mg/L dan 5,8 mg/L. Nilai konsentrasi Amonia inlet tertinggi pada kedua IPAL terjadi pada bulan Oktober 2024 sebesar 13,89 mg/L di IPAL HKSN 10,31 di IPAL Sungai Andai. Setelah dilakukan pengolahan dengan sistem RBC, konsentrasi Amonia pada outlet mengalami penurunan yang signifikan pada Gambar 4.13 dan 4.14, dengan rata-rata efisiensi removal pada IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai sebesar 31,21% dan 75,84%, mampu menghasilkan nilai konsentrasi Amonia outlet rata-rata sebesar 5,52 mg/L dan 1,28 mg/L. Efisiensi removal tertinggi untuk parameter Amonia dalam pengolahan air limbah dengan sistem RBC di IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai terjadi pada bulan Desember

2023 senilai 74,55% dan bulan September 2023 senilai 97,62%. Nilai konsentrasi Amonia pada kedua IPAL ini masih memenuhi baku mutu yaitu 10 mg/L.



Gambar 4. 13 Grafik Konsentrasi Amonia dan Efisiensi Removal IPAL HKS



Gambar 4. 14 Grafik Konsentrasi Amonia dan Efisiensi Removal IPAL Sungai Andai

4.2.7 Total Coliform

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) biasanya hanya berfokus pada pengurangan konsentrasi parameter pencemar air. Namun, IPAL berpotensi menjadi sumber penyebaran mikroorganisme di lingkungan, karena mikroorganisme tidak sepenuhnya dihilangkan pada saat pengolahan air limbah.

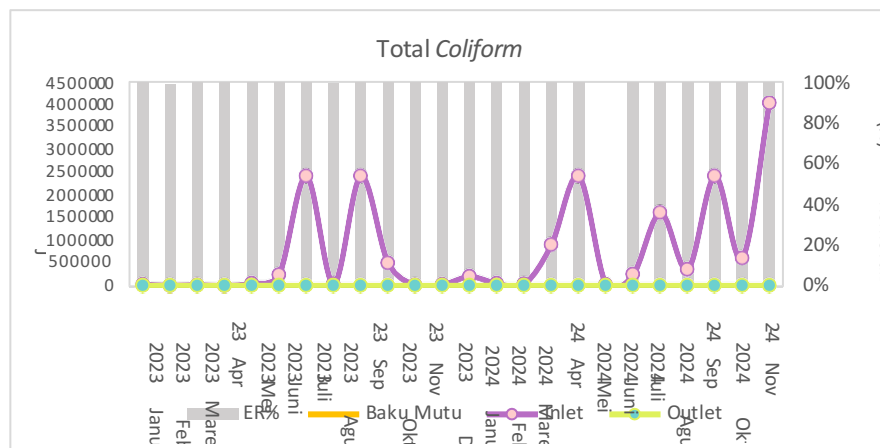
Dengan demikian air limbah yang diolah secara konvensional mungkin masih mengandung patogen seperti bakteri dan protozoa. Oleh karena itu penting untuk dilakukan proses disinfeksi terlebih dahulu sebelum air dibuang ke lingkungan. Ada beberapa metode disinfeksi seperti klorinasi, radiasi UV, ozonisasi, serta asama perasetat dan penambahan hydrogen peroksida (Zerva dkk., 2021).

Pada IPAL HKS dan IPAL Sungai Andai, air limbah yang diolah melewati proses klorinasi sebelum air limbah masuk ke bak outlet. Klorin merupakan salah satu jenis bahan biosida yang termasuk kedalam golongan bahan pelepas halogen. Bahan ini berfungsi untuk menonaktifkan mikroorganisme didalam air. Dengan mekanisme kerja klorin ketika bereaksi dengan air maka akan membentuk asam hipoklorus yang merupakan agen oksidasi yang merusak protein pada sel. Oksidasi yang terjadi pada golongan *sulfhydryl* (SH) dan ikatan disulfida (S-S) protein enzimatik dan menyebabkan denaturasi. Pada umumnya klorin digunakan pada konsentrasi 0,05-0,07% pada sektor pelayanan kesehatan untuk disinfeksi peralatan kesehatan (Suryaputra dkk., 2021).

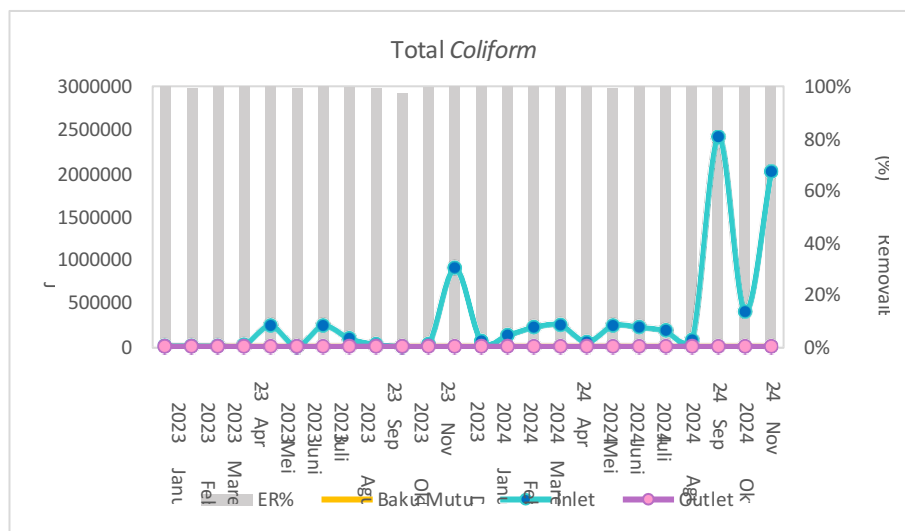
Salah satu parameter mikrobiologi yang digunakan sebagai indikator kualitas air adalah bakteri *Coliform*. Bakteri ini adalah salah satu bakteri yang tertus berkembang sejak ditemukan pada tahun 1885. Bakteri ini merupakan bagian flora normal yang terdapat dalam tubuh manusia dan hewan, terutama pada saluran pencernaan. Meskipun demikian, bakteri ini dapat bersifat patogen. *E. coli* termasuk dalam keluarga *Enterobacteriaceae* dan merupakan bakteri batang gram negatif yang tidak membentuk spora, memiliki flagela peritrik, fimbriae, serta kapsul yang semuanya berfungsi sebagai antigen. Bakteri ini bersifat fakultatif aerob, dapat tumbuh pada suhu antara 10 hingga 37°C, dan pada pH 7,2 (Suryaputra dkk., 2021).

Jika konsentrasi total *Coliform* melebihi batas mutu air yang ditetapkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik yaitu sebesar 3000 jumlah/100mL, maka dapat dinyatakan bahwa adanya indikator cemaran patogen infeksius yang menimbulkan penyebaran penyakit melalui media air. Total *Coliform* pada air limbah juga mempengaruhi kehidupan makhluk hidup biota pada air. Pada Gambar 4.15 dan 4.16 jumlah total *Coliform*

sebelum diolah dengan sistem RBC yaitu 771.483 jumlah/100mL pada IPAL HKSAN dan 323.687 jumlah/100mL pada IPAL Sungai Andai. Setelah dilakukan pengolahan pada kedua IPAL jumlah total *Coliform* masih dibawah baku mutu yaitu 51,42 jumlah/100mL dan 140 jumlah/100mL. Dengan dilakukannya proses klorinasi sebelum air limbah dibuang ke bak outlet menuju badan air penerima, maka proses ini dinyatakan efektif untuk mengurangi jumlah *Coliform* yang ada dalam air limbah dengan efisiensi pengolahan sebesar 95,74% pada IPAL HKSAN dan 99,74% pada IPAL Sungai Andai.



Gambar 4. 15 Grafik Total *Coliform* dan Efisiensi Removal IPAL HKSAN



Gambar 4. 16 Grafik Total *Coliform* dan Efisiensi Removal IPAL Sungai Andai

Konsentrasi klorinasi yang digunakan untuk mendisinfeksi air limbah berkisar 20-60 mg/L. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Sulistiyawati, 2019)

kuantitas total *Coliform* pada instalasi pengolahan limbah cair medis laboratorium klinik dengan dilakukan penambahann desinfektan pada proses pengolahan maka jumlah total *Coliform* pada titik outlet menjadi sebesar 0 MPN/100mL dengan jumlah *Coliform* awal sebesar $>1,6 \times 10^5$ MPN/100mL.

4.3 Analisis T-Test Paired Two Sample dengan Software Microsoft Excel

Pengujian t-test merupakan metode statistik yang pada umumnya digunakan untuk menentukan ada tidaknya perbedaan signifikan antara dua kelompok data. Dalam pengolahan air limbah, uji t-test digunakan untuk membandingkan perbedaan konsentrasi beberapa parameter air limbah sebelum dan setelah dilakukan pengolahan, untuk menentukan apakah ada perbedaan yang signifikan secara statistik. Dalam beberapa penelitian, uji t-test telah digunakan untuk mengevaluasi perbedaan parameter kualitas air seperti Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solids (TSS), dan tingkat pH pada berbagai tahapan pengolahan air limbah di IPAL. Misalnya, di sebuah studi pada IPAL, perbandingan influen dan efluen dari proses pengolahan digunakan untuk mengukur efektivitas pengurangan parameter pencemar dengan hasil yang dianalisis menggunakan uji t-test untuk memastikan apakah perubahan signifikan (Fahira & Slamet 2022; Muzakky 2016).

Selain itu, uji t-test juga berguna dalam mengevaluasi pengaruh perbaikan pada teknologi IPAL. Misalnya, jika suatu IPAL di-upgrade dengan menggunakan filter tambahan atau teknologi biofilter, uji t-test dapat menunjukkan apakah hasil perbaikan tersebut secara signifikan meningkatkan kualitas efluen (Saputri, dkk 2021).

Penggunaan uji statistik seperti t-test dalam evaluasi IPAL mendukung pengambilan keputusan berbasis data dan memastikan bahwa teknologi yang diterapkan efektif dalam memenuhi standar lingkungan yang berlaku. Pada penelitian ini dilakukan uji t-test paired two sample dengan menggunakan software Microsoft Excel untuk membandingkan data dari hasil sebelum pengolahan dan setelah pengolahan di IPAL HKSAN dan Sungai Andai Hasil. Pengujian t-test akan dibandingkan dengan nilai P, dengan kriteria sebagai berikut.

Kriteria pengujian α 5% yaitu:

P value < 0,05 = ada perbedaan signifikan

P value > 0,05 = tidak ada perbedaan signifikan

Pada tabel 4.12 didapatkan hasil parameter suhu dan minyak lemak tidak ditemukan perbedaan setelah dilakukan pengolahan, nilai influen mendekati nilai efluen yang berarti pengolahan pada IPAL HKSAN dan IPAL Sungai Andai tidak efisien dalam mengolah parameter minyak dan lemak.

Untuk parameter lainnya seperti pH, TSS, BOD, COD, Amonia ditemukan adanya perbedaan yang signifikan setelah dilakukan pengolahan, dalam artian nilai efluen kurang dari nilai influen. Hasil ini menunjukkan bahwa proses pengolahan air limbah pada kedua IPAL berhasil dan efisien dalam menurunkan konsentrasi kontaminan dan meningkatkan kualitas air limbah setelah dilakukan pengolahan. Dari hasil pengujian ini dapat menjadi dasar dalam pengembangan sistem pengolahan air limbah pada kedua IPAL agar menjadi lebih baik dan efektif kedepannya.

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian *T-Test Paired Two Sample*

Parameter	IPAL HKSAN		IPAL Sungai Andai	
	P-Value	Hasil Pengujian	P-Value	Hasil Pengujian
Suhu	0.693	Tidak ada perbedaan	0.829	Tidak ada perbedaan
pH	0.000	Ada perbedaan signifikan	0.000	Ada perbedaan signifikan
TSS	0.000	Ada perbedaan signifikan	0.003	Ada perbedaan signifikan
BOD	0.000	Ada perbedaan signifikan	0.003	Ada perbedaan signifikan
COD	0.001	Ada perbedaan signifikan	0.003	Ada perbedaan signifikan
Minyak dan Lemak	Tidak dapat ditentukan	Tidak ada perbedaan	0.193	Tidak ada perbedaan
Amonia	0.000	Ada perbedaan signifikan	0.000	Ada perbedaan signifikan

4.4 Aspek Finansial

4.4.1 Estimasi Biaya Investasi Awal

Pada awal pembangunan Perumda PALD Banjarmasin berada langsung dibawah kelola Pemerintah Kota Banjarmasin, sehingga dana pembangunan IPAL yang ada di Kota Banjarmasin bersumber dari dana APBN. Biaya investasi pada tahun 2008-2010 untuk IPAL HKSAN sebesar Rp 14.927.286.000 dan pada tahun

2011 untuk IPAL Sungai Andai sebesar Rp 10.075.696.000 (data didapat dari PD PAL).

Namun biaya investasi yang berasal dari Pemerintah Kota Banjarmasin tidak dilakukan secara *continue*, sejak beroperasi pada tahun 2007 hingga 2021 Perumda PALD terus menanggung kerugian yang terjadi dengan biaya mencapai Rp 99 miliar. Kerugian ini berlangsung setiap tahun dengan rata-rata kerugian mencapai Rp 5 miliar pertahunnya. Dikarenakan perusahaan ini dipisahkan dari kelola pemerintah daerah sehingga untuk mencukupi kebutuhan biaya untuk operasional dan pemeliharaan hanya mengandalkan pendapatan dari pelanggan. Untuk melakukan penambahan jumlah SR juga menjadi terhambat dikarenakan defisit anggaran yang terjadi setiap tahun. Faktor ini menjadi penghambat rendahnya pertambahan pelanggan Perumda PALD dibandingkan dengan target yang telah ditetapkan pada dokumen SSK Banjarmasin 2020-2024.

4.4.2 Proyeksi Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Untuk mengetahui rincian biaya yang dikeluarkan untuk operasional dan pemeliharaan IPAL maka dilakukan perhitungan data asumsi pengeluaran dalam 1 tahun. Biaya operasional IPAL meliputi kebutuhan harian penunjang kinerja IPAL, contohnya biaya pemakaian listrik, air bersih, penggunaan kaporit sebagai disinfektan, dan lainnya yang dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan 4.14 yang didapat dari data keuangan Perumda PALD dalam rata-rata selama 1 bulan dari bulan Januari 2024-Desember 2024. Data asumsi pengeluaran IPAL ini diluar biaya gaji karyawan sebanyak 32 orang, 1 orang direktur dan dewan pengawas 1 orang.

Tabel 4. 13 Data Asumsi Pengeluaran IPAL Dalam 1 Bulan

Keterangan	IPAL HKSN	IPAL Sungai Andai
Biaya Operasional		
Listrik	Rp6.100.000	Rp3.400.000
PDAM	Rp200.000	Rp150.000
Kaporit	Rp900.000	Rp900.000
Pengujian Lab Kualitas Air	Rp1.400.000	Rp1.400.000
Operator Jaga IPAL	Rp4.300.000	Rp4.300.000
THL (Kebersihan)	Rp1.500.000	Rp1.500.000
Petugas Pengecekan Kualitas Air (2 orang)	Rp1.400.000	Rp1.400.000
Komplain dan Perbaikan	Rp700.000	Rp700.000
Pengangkutan Lumpur Drying Bed	Rp1.000.000	-

Keterangan	IPAL HKSAN	IPAL Sungai Andai
Biaya Operasional		
Total Biaya O (/bulan)	Rp17.500.000	Rp13.750.000
Total Biaya O (/tahun)	Rp210.000.000	Rp165.000.000
Biaya Pemeliharaan		
Perbaikan Kelengkapan RBC	Rp1.250.000	Rp1.250.000
Pembersihan lahan IPAL	Rp250.000	Rp250.000
Pemeliharaan Jaringan SR-IPAL	Rp850.000	Rp850.000
Total Biaya P (/bulan)	Rp2.350.000	Rp2.350.000
Total Biaya P (/tahun)	Rp28.200.000	Rp28.200.000
Total Biaya O&P (/tahun)	Rp238.200.000	Rp193.200.000

Tabel 4. 14 Data Pembiayaan IPAL HKSAN dan IPAL Sungai Andai

Komponen Biaya	Estimasi Biaya (Rp)		Keterangan
	IPAL HKSAN	IPAL Sungai Andai	
Biaya investasi (CAPEX)	14.927.286.000 (2008-2010)	10.075.696.000 (2011)	Biaya investasi IPAL kapasitas 5000 m ³ (HKSAN) dan 3000 m ³ (Sungai Andai)
Biaya operasional (OPEX)	210.000.000/tahun	165.000.000/tahun	Tabel 4.14
Biaya pemeliharaan	28.200.000/tahun	28.200.000/tahun	Perawatan rutin mesin dan instalasi (Tabel 4.14)

Sumber: Data Perumda PALD Banjarmasin 2024

4.4.3 Sumber Pendapatan

Setiap bulannya Perumda PALD Banjarmasin menerima pembayaran jasa pengelolaan air limbah domestik dari pelanggan. Tarif yang ditetapkan oleh Perumda PALD Banjarmasin berdasarkan Peraturan Walikota Banjarmasin No.152/2023 Tentang Tarif Jasa Pelayanan Pengelolaan Air Limbah Domestik dan Pelayanan Sedot Tinja. Tarif pelayanan SPALD-T ditentukan dari klasifikasi golongan pelanggan PT Air Minum Bandarmasih. Pembayaran jasa pengelolaan air limbah domestik untuk pelanggan yang berlangganan air bersih dari PT Air Minum Bandarmasih, dilakukan bersamaan dengan pembayaran air bersih dalam satu rekening yang selanjutnya akan disetorkan ke rekening kas Perumda PALD Banjarmasin. Tarif yang diatur dalam peraturan walikota ini mulai diberlakukan pada Januari 2024. Adapun total pendapatan selama 1 tahun dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan Tabel 4.16.

Tabel 4. 15 Data Pendapatan IPAL HKSAN

Kelompok Pendapatan (Berdasarkan Tipe Bangunan)	Tarif Pelayanan (/bulan)	Banyak Bangunan (IPAL HKSAN)	Pendapatan (/bulan)
Sosial khusus 1	Rp 1,500	1	Rp 1,500
Sosial khusus 2	Rp 1,500	2	Rp 3,000
Sosial umum	Rp 2,000	6	Rp 12,000
Rumah Tangga A1-1	Rp 2,500	4	Rp 10,000
Rumah Tangga A1-2	Rp 3,000	15	Rp 45,000
Rumah Tangga A2-1	Rp 5,000	360	Rp 1,800,000
Rumah Tangga A2-2	Rp 5,000	512	Rp 2,560,000
Rumah Tangga A2-3	Rp 5,000	4	Rp 20,000
Rumah Tangga A3	Rp 22,300	374	Rp 8,340,200
Rumah Tangga A4	Rp 22,300	18	Rp 401,400
Rumah Tangga A5	Rp 22,300	0	Rp -
Instansi pemerintah	Rp 22,300	4	Rp 89,200
Lembaga pendidikan	Rp 22,300	0	Rp -
Niaga kecil 1	Rp 49,500	7	Rp 346,500
Niaga kecil 2	Rp 49,500	4	Rp 198,000
Niaga menengah 1	Rp 54,400	0	Rp -
Niaga menengah 2	Rp 54,400	3	Rp 163,200
Niaga besar 1	Rp 75,000	0	Rp -
Niaga besar 2	Rp 75,000	1	Rp 75,000
Industri kecil 1	Rp 100,000	0	Rp -
Industri kecil 2	Rp 100,000	0	Rp -
Industri besar	Rp 200,000	0	Rp -
Total (/bulan)		1315	Rp 14,065,000
Total (/tahun)			Rp 168,780,000

Sumber: Data Perumda PALD Banjarmasin 2024

Tabel 4. 16 Data Pendapatan IPAL Sungai Andai

Kelompok Pendapatan (Berdasarkan Tipe Bangunan)	Tarif Pelayanan (/bulan)	Banyak Bangunan (IPAL Sungai Andai)	Pendapatan (/bulan)
Sosial khusus 1	Rp 1,500	2	Rp 3,000
Sosial khusus 2	Rp 1,500	0	Rp -
Sosial umum	Rp 2,000	3	Rp 6,000
Rumah Tangga A1-1	Rp 2,500	0	Rp -
Rumah Tangga A1-2	Rp 3,000	0	Rp -
Rumah Tangga A2-1	Rp 5,000	334	Rp 1,670,000
Rumah Tangga A2-2	Rp 5,000	211	Rp 1,055,000
Rumah Tangga A2-3	Rp 5,000	3	Rp 15,000
Rumah Tangga A3	Rp 22,300	27	Rp 602,100
Rumah Tangga A4	Rp 22,300	1	Rp 22,300
Rumah Tangga A5	Rp 22,300	0	Rp -
Instansi pemerintah	Rp 22,300	0	Rp -

Kelompok Pendapatan (Berdasarkan Tipe Bangunan)	Tarif Pelayanan (/bulan)	Banyak Bangunan (IPAL Sungai Andai)	Pendapatan (/bulan)
Lembaga pendidikan	Rp 22,300	0	Rp -
Niaga kecil 1	Rp 49,500	1	Rp 49,500
Niaga kecil 2	Rp 49,500	0	Rp -
Niaga menengah 1	Rp 54,400	0	Rp -
Niaga menengah 2	Rp 54,400	0	Rp -
Niaga besar 1	Rp 75,000	0	Rp -
Niaga besar 2	Rp 75,000	0	Rp -
Industri kecil 1	Rp 100,000	0	Rp -
Industri kecil 2	Rp 100,000	0	Rp -
Industri besar	Rp 200,000	0	Rp -
Total (/bulan)		582	Rp 3,422,900
Total (/tahun)			Rp 41,074,800

Sumber: Data Perumda PALD Banjarmasin 2024

4.4.4 Cost-Benefit Analysis

Untuk membandingkan biaya yang dikeluarkan dengan pemasukan yang diperoleh dari pengelolaan IPAL maka diperlukan metode evaluasi *Cost-Benefit Analysis*. Komponen yang diperhitungkan dalam CBA yaitu: perhitungan biaya yang terdiri dari biaya awal investasi dan biaya operasional dan maintenance; dan perhitungan manfaat finansial yang didapatkan; kemudian dilanjutkan dengan perhitungan *Net Present Value* dan *Benefit Cost Ratio*. Jika nilai NPV bernilai positif dan $BCR > 1$, maka pengelolaan IPAL ini dianggap layak untuk dijalankan.

A. IPAL HKSAN

Tahapan pertama dalam perhitungan *Cost-Benefit Analysis* adalah melakukan perhitungan biaya proyek yang terdiri dari biaya investasi dan biaya operasional & pemeliharaan, serta melakukan perhitungan manfaat yang didapatkan yang dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Setelah dilakukan perhitungan pada Tabel 4.17 selanjutnya dilakukan perhitungan *Net Present Value*. Perhitungan ini digunakan dalam evaluasi IPAL untuk menentukan apakah pengelolaan IPAL layak secara finansial. Dengan perhitungan NPV, dapat diketahui apakah IPAL ini mendapatkan keuntungan dalam pelayanannya atau mendapatkan kerugian dalam jangka waktu tertentu.

Jika $NPV > 0$, pengelolaan IPAL layak dijalankan karena mendapatkan keuntungan, namun jika $NPV < 0$ maka pengelolaan IPAL tidak menguntungkan dan perlu diperhitungkan ulang untuk pembiayaan kedepannya. Di beberapa negara discount rate yang digunakan antara 3-6%, sehingga diambil 5% sebagai discount rate yang wajar untuk pengelolaan IPAL.

Tabel 4. 17 Perhitungan Biaya dan Manfaat IPAL HKS

Perhitungan Biaya	Jangka Waktu	Biaya
Total biaya investasi	10 tahun	Rp 14.927.286.000
Total biaya operasional dan pemeliharaan		Rp 2.382.000.000
Total biaya proyek		Rp 17.309.286.000
Perhitungan Manfaat		
Pendapatan dari tarif pengguna	10 tahun	Rp 1.687.800.000

Tabel 4. 18 Perhitungan NPV dan BCR IPAL HKS

Komponen	Hasil
NPV Biaya (total biaya proyek : $(1+0,05)^{10}$)	Rp 10.626.400.085
NPV Manfaat (total manfaat : $(1+0,05)^{10}$)	Rp 1.036.162.789
NPV Total	-Rp 9.590.237.295
BCR (total manfaat : total biaya proyek)	0,098

Kesimpulan *Cost Benefit Analysis*

- Hasil NPV: Negatif (-Rp 9.590.237.295), menunjukkan bahwa operasional IPAL ini tidak layak secara finansial, jika hanya mengandalkan pendapatann tarif pengguna.
- Hasil BCR: 0,098 (dibawah 1), mengindikasi bahwa manfaat yang didapatkan tidak cukup menutupi biaya operasional keseluruhan.

B. IPAL Sungai Andai

Tahapan pertama dalam perhitungan *Cost-Benefit Analysis* adalah melakukan perhitungan biaya proyek yang terdiri dari biaya investasi dan biaya operasional & pemeliharaan, serta melakukan perhitungan manfaat yang didapatkan yang dapat dilihat pada Tabel 4.19

Tabel 4. 19 Perhitungan Biaya dan Manfaat IPAL Sungai Andai

Perhitungan Biaya	Jangka Waktu	Biaya
Total biaya investasi	10 tahun	Rp 10.075.696.000
Total biaya operasional dan pemeliharaan		Rp 1.932.000.000
Total biaya proyek		Rp 12.007.696.000
Perhitungan Manfaat		
Pendapatan dari tarif pengguna	10 tahun	Rp 410.748.000

Setelah dilakukan perhitungan pada Tabel 4.19 selanjutnya dilakukan perhitungan *Net Present Value*. Perhitungan ini digunakan dalam evaluasi IPAL untuk menentukan apakah pengelolaan IPAL layak secara finansial. Dengan perhitungan NPV, dapat diketahui apakah IPAL ini mendapatkan keuntungan dalam pelayanannya atau mendapatkan kerugian dalam jangka waktu tertentu.

Jika $NPV > 0$, pengelolaan IPAL layak dijalankan karena mendapatkan keuntungan, namun jika $NPV < 0$ maka pengelolaan IPAL tidak menguntungkan dan perlu diperhitungkan ulang untuk pembiayaan kedepannya. Di beberapa negara discount rate yang digunakan antara 3-6%, sehingga diambil 5% sebagai discount rate yang wajar untuk pengelolaan IPAL.

Tabel 4. 20 Perhitungan NPV dan BCR IPAL Sungai Andai

Komponen	Hasil
NPV Biaya (total biaya proyek : $(1+0,05)^{10}$)	Rp 7.371.683.719
NPV Manfaat (total manfaat : $(1+0,05)^{10}$)	Rp 252.163.641
NPV Total	-Rp 7.119.520.078
BCR (total manfaat : total biaya proyek)	0,034

Kesimpulan *Cost Benefit Analysis*

- Hasil NPV: Negatif (-Rp 7.119.520.078), menunjukkan bahwa operasional IPAL ini tidak layak secara finansial, jika hanya mengandalkan pendapatann tarif pengguna.
- Hasil BCR: 0,034 (dibawah 1), mengindikasi bahwa manfaat yang didapatkan tidak cukup menutupi biaya operasional keseluruhan.

4.4.5 Strategi Keberlanjutan Finansial

Untuk dapat menjalankan keberlanjutan kedua IPAL ini khususnya pada aspek finansial, Perumda PALD Banjarmasin perlu melakukan strategi:

- Meningkatkan tarif pengguna untuk menutupi biaya operasional dan pemeliharaan.
- Penambahan jaringan SR untuk memenuhi kapasitas debit yang terpasang pada masing-masing IPAL.
- Menerapkan pendekatan inovatif dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan.
- Mencari dukungan dari pemerintah untuk subsidi atau bantuan keuangan.
- Mengoptimalkan biaya operasional dan maintenance untuk efisiensi.

A. Perhitungan Tarif Pengguna yang Seharusnya

Diperlukan peningkatan tarif pengguna agar dapat mengurangi defisit keuangan, yang dihitung berdasarkan:

$$\text{Biaya retribusi} = \frac{\text{total biaya operasi dan pemeliharaan}}{\text{jumlah sambungan rumah yang terpasang}}$$

Biaya retribusi IPAL HKSN:

$$= \frac{\text{Rp } 238.200.000/\text{tahun}}{1314 \text{ SR}} = \frac{\text{Rp } 181.278}{\text{tahun/SR}} = \text{Rp } \frac{15.107}{\text{bulan/SR}}$$

Biaya retribusi IPAL Sungai Andai:

$$= \frac{\text{Rp } 193.200.000/\text{tahun}}{581 \text{ SR}} = \frac{\text{Rp } 332.530}{\text{tahun/SR}} = \text{Rp } \frac{27.710}{\text{bulan/SR}}$$

Berdasarkan pada tabel 4.13, jenis bangunan yang paling banyak pada IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai adalah rumah tangga A2-1, A2-2, A2-3, dan A3. Pada bulan April 2024, Perumda PALD melakukan penetapan biaya retribusi layanan terbaru yaitu dengan berdasarkan luasan bangunan dan seluruh masyarakat Banjarmasin baik yang berlangganan maupun tidak berlangganan dikenakan biaya layanan ini, namun sistem biaya layanan seperti ini hanya bertahan 2 bulan hingga bulan Juni 2024, karena adanya beberapa penolakan dari masyarakat yang tidak menggunakan layanan pengelolaan air limbah dari Perumda PALD.

Dari hasil perhitungan yang didapatkan, strategi yang dapat dilakukan oleh pihak Perumda PALD adalah melakukan penyesuaian tarif / melakukan kenaikan tarif kepada pelanggan untuk bangunan tipe rumah tangga A2-1, A2-2, A2-3, dan

A3, karena tarif yang ditetapkan masih sangat rendah, sehingga tidak menutupi biaya operasional dan pemeliharaan untuk IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai.

B. Peningkatan Jumlah SR pada Setiap IPAL

Dari jumlah SR pada kedua IPAL yang terpasang, debit yang masuk kedalam IPAL masih jauh dari kapasitas IPAL yang ada. Untuk memenuhi kapasitas IPAL tersebut, diperlukan peningkatan jumlah pelanggan/SR. Dengan adanya penambahan SR harapannya biaya operasional dan pemeliharaan per-tahunnya dapat tertutupi. Perhitungan peningkatan jumlah SR sebesar 50% dari kapasitas dapat dilihat pada Tabel 4.21. dan Tabel 4.22.

Tabel 4. 21 Penambahan Jumlah SR Berdasarkan Debit *Real* yang Masuk

IPAL	Jumlah Pelanggan (SR)	Kapasitas Terpasang (m ³ /hari)	Debit Masuk <i>Real</i> (m ³ /hari)	Debit yang Direncanakan Masuk (m ³ /hari)	Penambahan Jumlah Pelanggan (SR)
IPAL HKSN	1314	5000	124,17	2500	25142
IPAL Sungai Andai	581	3000	76,96	1500	10742

Tabel 4. 22 Penambahan Jumlah SR Berdasarkan Debit *Teoritis* yang Masuk

IPAL	Jumlah Pelanggan (SR)	Kapasitas Terpasang (m ³ /hari)	Debit Masuk <i>Teoritis</i> (m ³ /hari)	Debit yang Direncanakan Masuk (m ³ /hari)	Penambahan Jumlah Pelanggan (SR)
IPAL HKSN	1314	5000	367,92	2500	7615
IPAL Sungai Andai	581	3000	213,76	1500	3496

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.21 dan Tabel 4.22 jika debit air limbah yang masuk sesuai dengan perhitungan teoritis dengan debit perencanaan yang masuk memenuhi 50% dari kapasitas IPAL yang terpasang, maka dibutuhkan penambahan pelanggan sebanyak 7.615 SR untuk IPAL HKSN dan 3.496 SR untuk IPAL Sungai Andai.

4.5 Skenario Penambahan Jumlah SR

4.5.1 Aspek Teknis

A. IPAL HKSN

Kapasitas air limbah yang dapat diolah dengan menggunakan sistem RBC pada IPAL HKSN sebesar 5000 m³/hari hanya melayani pelanggan sebesar

2,48% dari kapasitas IPAL yang terpasang. Pada Tabel 4.2 debit air limbah yang masuk perhari seharusnya sebesar 367,92 m³/hari namun pada realitanya debit air limbah yang masuk perhari hanya sebesar 124,17 m³/hari. Untuk dapat menaikkan efektivitas pengolahan air limbah domestik agar pembiayaan pada IPAL HKSAN lebih efisien, maka dilakukan simulasi penambahan jumlah pelayanan SR pada IPAL ini.

IPAL HKSAN melayani beberapa kelurahan yaitu kelurahan: Alalak Tengah; Alalak Utara; Alalak Selatan; dan Pangeran. Berdasarkan dari Satu Data Banjarmasin (Dinas Informasi, 2023), jumlah penduduk perkelurahan yang dilayani IPAL HKSAN dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4. 23 Jumlah Penduduk Per Kelurahan

Kelurahan	Jumlah Penduduk 2023 (orang)	Jumlah KK (jika 1 KK = 5 orang)	Debit Air Limbah (m ³ /hari)
Pangeran	9115	1823	172,26
Alalak Utara	13978	2795	264,11
Alalak Tengah	8799	1759	166,22
Alalak Selatan	14373	2874	271,58
Total	46265	9251	874,17

Jumlah pelanggan pada IPAL HKSAN sebesar 1314 SR dengan debit air limbah rata-rata per SR yang masuk 94,50 L/hari/SR, pada Tabel 4.21 penambahan jumlah pelanggan untuk meningkatkan debit air limbah yang masuk sebesar 50% dari kapasitas terpasang seharusnya sebanyak 25142 SR. Namun berdasarkan pada Tabel 4.23 dari data jumlah penduduk yang dapat terlayani pada IPAL HKSAN hanya mencapai 9251 KK. Agar dapat memenuhi kapasitas IPAL HKSAN maka penambahan wilayah pelayanan kelurahan lain yang ada di Banjarmasin Utara juga perlu dilakukan. Dilakukan simulasi penambahan jumlah SR sebesar 50%, 70%, dan 100% dari jumlah KK yang telah dihitung pada Tabel 4.23 , dapat dilihat pada Tabel 4.24.

Tabel 4. 24 Simulasi Penambahan Jumlah SR pada IPAL HKSAN

Jumlah SR	% Penambahan SR	Debit Air Limbah yang Masuk (m ³ /hari)	Kapasitas Terpasang (m ³ /hari)	% Layanan dari Kapasitas Terpasang
9251	50%	437,09	5000	8,74%
	70%	611,92		12,24%
	100%	874,17		17,48%

B. IPAL Sungai Andai

Kapasitas air limbah yang dapat diolah dengan menggunakan sistem RBC pada IPAL Sungai Andai sebesar 3000 m³/hari hanya melayani pelanggan sebesar 2,57% dari kapasitas IPAL yang terpasang. Pada Tabel 4.5 debit air limbah yang masuk perhari seharusnya sebesar 213,76 m³/hari namun pada realitanya debit air limbah yang masuk perhari hanya sebesar 76,96 m³/hari. Untuk dapat menaikkan efektivitas pengolahan air limbah domestik agar pembiayaan pada IPAL Sungai Andai lebih efisien, maka dilakukan simulasi penambahan jumlah pelayanan SR pada IPAL ini.

IPAL Sungai melayani kelurahan Sungai Andai. Berdasarkan dari Satu Data Banjarmasin (Dinas Informasi, 2023), jumlah penduduk perkelurahan yang dilayani IPAL Sungai Andai dapat dilihat pada Tabel 4.25.

Tabel 4. 25 Jumlah Penduduk Per Kelurahan

Kelurahan	Jumlah Penduduk (tahun 2023)	Jumlah KK (jika 1 KK = 5 orang)	Debit Air Limbah (m ³ /hari)
Sungai Andai	30659	6131	812,16

Jumlah pelanggan pada IPAL Sungai Andai sebesar 581 SR dengan debit air limbah rata-rata per SR yang masuk 132,47 L/hari/SR, pada Tabel 4.21 penambahan jumlah pelanggan untuk meningkatkan debit air limbah yang masuk sebesar 50% dari kapasitas terpasang seharusnya sebanyak 10742 SR. Namun berdasarkan pada Tabel 4.25 dari data jumlah penduduk yang dapat terlayani pada IPAL Sungai Andai hanya mencapai 6131 KK. Maka dilakukan simulasi penambahan jumlah SR sebesar 50%, 70%, dan 100% dari jumlah KK yang ada, dapat dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4. 26 Simulasi Penambahan Jumlah SR pada IPAL Sungai Andai

Jumlah SR	% Penambahan SR	Debit Air Limbah yang Masuk (m ³ /hari)	Kapasitas Terpasang	% Layanan dari Kapasitas Terpasang
6131	50%	406,08	5000	13,54%
	70%	568,51		18,95%
	100%	812,16		27,07%

4.5.2 Aspek Finansial

Untuk mencukupi kebutuhan operasional dan pemeliharaan dari kedua IPAL karena berdasarkan perhitungan *Cost Benefit Analysis*, nilai NPV masih negatif dan nilai BCR masih dibawah angka 1, maka dilakukan simulasi perhitungan tarif jika penambahan jumlah SR dilakukan pada kedua IPAL. Tarif yang digunakan dalam perhitungan pada Tabel 4.27 berasal dari pembagian biaya operasional dan pemeliharaan masing-masing IPAL pada Tabel 4.13 dengan jumlah SR yang akan dilayani nantinya jika penambahan SR dilakukan.

Tabel 4. 27 Biaya Retribusi Per SR

IPAL	Biaya Operasional dan Pemeliharaan (/tahun)	% Penambahan SR	Jumlah SR	Biaya Retribusi (/bulan/SR)
IPAL HKSN	Rp 238,200,000	50%	3968	Rp 5.003
		70%	5555	Rp 3.573
		100%	7936	Rp 2.501
IPAL Sungai Andai	Rp 193,200,000	50%	2774	Rp 5.804
		70%	3884	Rp 4.145
		100%	5549	Rp 2.901

Biaya retribusi setiap pelanggan jika dilakukan penambahan jumlah SR akan lebih murah dibandingkan dengan perhitungan biaya retribusi pada sub-bab 4.4.5. Jika jumlah pelanggan tidak ditambah maka biaya retribusi per SR setiap bulannya untuk IPAL HKSN sebesar Rp 15.107 (hasil perhitungan pada sub-bab 4.4.5) dan untuk IPAL Sungai Andai sebesar Rp 27.710, biaya retribusi ini dinilai cukup untuk menutupi biaya operasional dan pemeliharaan pada kedua IPAL. Jika dilakukan penambahan jumlah SR maka biaya retribusi per SR setiap bulannya dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Pada kedua IPAL tidak terjadi peningkatan pelanggan yang signifikan, dikarenakan beberapa faktor utama diantaranya: tidak adanya subsidi dari pemerintah sedangkan biaya pemasangan SR terbilang mahal bisa mencapai Rp 25 juta/rumah, kurangnya minat masyarakat untuk menggunakan layanan IPAL Terpusat dengan persepsi bahwa penggunaan *septic tank* individual lebih dinilai praktis, keterbatasan akses untuk penambahan SR juga menjadi faktor penghambat pertumbuhan pelanggan, karena gang-gang rumah yang sempit, rumah di bantaran

sungai, lahan bangunan ditanah gambut membuat pemasangan pipa menjadi lebih mahal dan kompleks.

Sebagai referensi, biaya pemasangan sambungan rumah (SR) menuju IPAL di Kota Palembang mencapai Rp 25.000.000/rumah, namun pemerintah Kota Palembang memberikan subsidi sehingga biaya pemasangan SR dapat ditekan hingga menjadi sekitar Rp 6.000.000/rumah. Setelah dilakukan pemasangan SR, biaya retribusi yang diterapkan sebesar Rp 16.500/rumah.

Namun biaya retribusi ini memerlukan kajian ulang berdasarkan survey lapangan secara langsung karena jumlah tipe bangunan pada masing-masing daerah yang dilayani pada kedua IPAL belum didapatkan data pasti jika dilakukan penambahan SR. Dengan dilakukannya penambahan jumlah pelanggan pada IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai diharapkan dapat memenuhi kebutuhan biaya operasional dan pemeliharaan IPAL dan mendapatkan keuntungan dalam pengelolaan air limbah domestik untuk Perumda PALD.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan analisa yang telah dilakukan terhadap aspek teknis dan aspek finansial untuk IPAL HKSAN dan IPAL Sungai Andai, maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

1. Komparasi aspek teknis dengan perhitungan nilai rasio BOD/COD inlet pada IPAL HKSAN sebesar 0,48 dan IPAL Sungai Andai sebesar 0,32 yang berarti rasio ini masih memenuhi kriteria desain RBC. Nilai beban BOD pada IPAL HKSAN sebesar 1,75 gr/m² dan IPAL Sungai Andai sebesar 3,47 gr/m². Sedangkan nilai waktu tinggal pada masing-masing IPAL sebesar 6,1 jam dan 4,6 jam. Sehingga nilai beban BOD dan waktu tinggal pada kedua IPAL masih berada diluar dari nilai kriteria desain RBC.
2. Hasil pengujian effluen yang dilakukan di Laboratorium Kesehatan Kota Banjarmasin pada kedua IPAL dengan parameter uji pH, TSS, BOD, COD, minyak dan lemak, amonia, dan total *Coliform* sudah memenuhi standar baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
3. Efektivitas kinerja sistem IPAL pada IPAL Sungai Andai memiliki efisiensi removal yang lebih baik daripada IPAL HKSAN untuk penyisihan parameter pH, TSS, BOD, COD, minyak dan lemak, amonia. Namun untuk hasil pengujian signifikansi efisiensi removal dengan menggunakan *t-test paired two sample* ditemukan adanya persamaan antara kedua IPAL tersebut yaitu tidak adanya perbedaan yang signifikan pada parameter minyak dan lemak setelah dilakukan pengolahan dengan sistem RBC, sedangkan untuk parameter pH, TSS, BOD, COD, dan amonia ditemukan adanya perbedaan yang signifikan dari air limbah sebelum diolah dengan sistem RBC dan setelah dilakukan pengolahan.
4. IPAL HKSAN dan IPAL Sungai Andai sudah lama dioperasikan, namun penambahan jumlah SR tidak signifikan meningkat. Faktor yang

menyebabkan rendahnya pertumbuhan pelanggan Perumda PALD dibandingkan dengan target yang telah ditetapkan pada dokumen SSK Banjarmasin 2020-2024 dengan penambahan 6500 SR setiap tahunnya hanya terealisasi sebanyak 108 SR setiap tahunnya disebabkan karena Perumda PALD tidak mendapatkan subsidi dari Pemerintah Kota Banjarmasin untuk memenuhi pembiayaan operasional dan pemeliharaan IPAL. Sehingga berdasarkan data yang didapatkan diketahui bahwa Perumda PALD selalu mengalami kerugian setiap tahunnya sejak 2007.

5. Pengelolaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) HKSAN dan IPAL Sungai Andai oleh Perumda PALD Banjarmasin menunjukkan tantangan finansial yang signifikan. Analisis biaya dan manfaat menunjukkan bahwa kedua IPAL tidak layak secara finansial, dengan Net Present Value (NPV) yang negatif dan Benefit-Cost Ratio (BCR) di bawah 1. Dengan kapasitas IPAL HKSAN 5000 m³/hari dan IPAL Sungai Andai 3000 m³/hari sedangkan pelayanan pengolahan air limbah masih diangka 2,48% dan 2,57% dari kapasitas layanan dapat dikatakan bahwa kedua IPAL ini *over capacity* dengan artian kapasitas pengolahan terlalu besar untuk jumlah pelanggan yang tidak mengalami peningkatan selama bertahun-tahun. Hal ini juga mengindikasikan bahwa pendapatan dari tarif pengguna saat ini tidak mencukupi untuk menutupi biaya operasional dan pemeliharaan. Untuk itu diperlukan langkah strategis untuk mencapai keberlanjutan IPAL ini.
6. Penambahan jumlah pelanggan/SR yang telah dilakukan simulasi perlu kajian dan survey lapangan yang lebih mendalam. Karena dibutuhkan data rinci untuk masing-masing kategori tipe bangunan yang ada pada wilayah pelayanan IPAL tersebut. Penambahan jaringan SR ini juga memerlukan biaya yang besar dan kajian teknis lebih lanjut dalam penelitian selanjutnya. Agar tercipta aspek finansial yang sehat, maka dari itu penyesuaian tarif retribusi akan lebih efisien jika dilakukan berdasarkan penyesuaian tarif retribusi per kategori bangunan.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah disampaikan, berikut adalah beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan kinerja dan keberlanjutan IPAL HKSN dan IPAL Sungai Andai:

1. Peningkatan kualitas desain dan operasional:

Melakukan evaluasi dan perbaikan pada desain sistem RBC untuk memastikan bahwa nilai beban BOD dan waktu tinggal memenuhi kriteria desain yang optimal. Beban BOD yang rendah pada air limbah mengartikan bahwa air limbah tersebut memiliki sedikit bahan organik yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Namun hal ini akan mengakibatkan proses pengolahan menjadi tidak efektif, karena beban BOD yang masuk kedalam pengolahan nilainya kecil, sedangkan IPAL yang ada berkapasitas besar. Penggunaan energi listrik juga tidak dinilai efisien jika *line stage* RBC diaktifkan dalam jumlah banyak. Untuk efisiensi penggunaan energi dan peningkatan efektivitas pengolahan, maka *line stage* RBC akan lebih baik jika hanya 1 *line* yang diaktifkan dan secara bergantian setiap harinya pengaktifan *line* lain juga dilakukan, agar tidak terjadi fase kematian mikroorganisme yang melekat pada modul RBC dengan material HDPE tipe plat bergelombang.

2. Monitoring dan pengujian rutin:

Pengujian effluen secara berkala setiap bulan terus dilakukan untuk memastikan bahwa parameter kualitas air tetap memenuhi standar baku mutu. Pengawasan yang ketat akan membantu dalam mendeteksi masalah lebih awal dan mengambil tindakan yang diperlukan.

3. Optimalisasi proses pengolahan:

Penerapan teknologi atau metode baru yang dapat meningkatkan efisiensi removal perlu dipertimbangkan, terutama untuk parameter yang menunjukkan hasil kurang optimal seperti minyak dan lemak, misalnya dengan penambahan grease trap sebelum air limbah masuk ke dalam bak RBC. Pelatihan bagi operator juga dapat meningkatkan pemahaman dan keterampilan dalam pengelolaan sistem.

4. Reformulasi struktur tarif:

Perlu dilakukan kajian ulang untuk menyesuaikan tarif pengguna agar pembiayaan IPAL dapat memehuni biaya operasional dan pemeliharaan. Penyesuaian tarif yang tepat dapat membantu meningkatkan pendapatan dan mendukung keberlanjutan finansial IPAL.

5. Mencari sumber pendapatan lain:

Perumda PALD Banjarmasin diharapkan mencari peluang untuk mendapatkan pendanaan tambahan, seperti kerjasama dengan sektor swasta, program CSR, atau bantuan subsidi dari Pemerintah Kota Banjarmasin. Sehingga pendanaan tambahan dapat membantu menutupi defisit keuangan yang ada.

6. Edukasi dan keterlibatan masyarakat:

Perlu dilakukan peningkatan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan air limbah dan dampaknya terhadap lingkungan. Keterlibatan masyarakat dalam program-program pengelolaan dapat meningkatkan dukungan dan partisipasi dalam menjaga keberlanjutan IPAL.

Dengan menerapkan saran-saran ini, diharapkan Perumda PALD Banjarmasin dapat meningkatkan kinerja teknis dan finansial untuk IPAL HKSAN dan IPAL Sungai Andai, sehingga memberikan manfaat yang lebih besar bagi masyarakat dan lingkungan. Serta perlunya diadakan pengakajian dalam aspek teknis dan finansial untuk IPAL lainnya di Kota Banjarmasin.

DAFTAR PUSTAKA

- Aghababae, S., Malekmohammadi, S., & Sepehri, S. (2022). Treatment of Petroleum Refinery Effluents By A Hybrid System Of Activated Sludge And Rotation Biological Reactor, Followed By The Sand Filter Treatment Of Petroleum Refinery Effluents By The Sand Filter. *Journal Of Hydraulic Structures*, 8(2), 1–26. <https://doi.org/10.22055/JHS.2022.41648.1227>
- Anastasya Bisa, G., & Nasruddin. (2022). Upaya Penanganan Limbah Yang Mencemari Sungai Di Kota Banjarmasin Kalimantan Selatan (Spatial Association Analylsis). *Jurnal Penelitian Multidisiplin*, 1(2), 117–125. <https://doi.org/10.58705/jpm.v1i2.66>
- Atima, W. (2015). BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air Dan Baku Mutu Air Limbah. *Jurnal Biology Science & Education*, 4, 83–98.
- Bakkara, C. G., & Purnomo, A. (2022). Kajian Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Terpusat di Indonesia. *Jurnal Teknik ITS*, 11(3).
- Cortez, S., Teixeira, P., Oliveira, R., & Mota, M. (2008). Rotating Biological Contactors: A Review On Main Factors Affecting Performance. Vol. 7, Nomor 2, hlm. 155–172. <https://doi.org/10.1007/s11157-008-9127-x>
- Cortez, S., Teixeira, P., Oliveira, R., & Mota, M. (2013). Bioreactors: Rotating Biological Contactors. *Encyclopedia of Industrial Biotechnology* (hlm. 1013–1030). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470054581.eib650>
- Costley, S. C., & Wallis, F. M. (2000). Effect of Flow Rate On Heavy Metal Accumulation By Rotating Biological Contactor (RBC) Biofilms. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 24(4), 244–250. <https://doi.org/10.1038/sj.jim.2900812>
- Dinas Informasi, Komunikasi dan Statistik Kota Banjarmasin. (2023). Satu Data Banjarmasin. <https://satudata.banjarmasinkota.go.id/>.
- Eko Prianto, D., Yanuwadi, B. (2015). Studi Pengelolaan IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) Domestik Komunal di Kota Blitar, Jawa Timur. *J-PAL*, 6 (1).
- Fajarwati, F. I., & Putri, A. D. (2022). Analisis Parameter Fisika dan Kimia Outlet Ipal komunal Domestik Dusun Sukunan di Pusat Pengembangan Teknologi

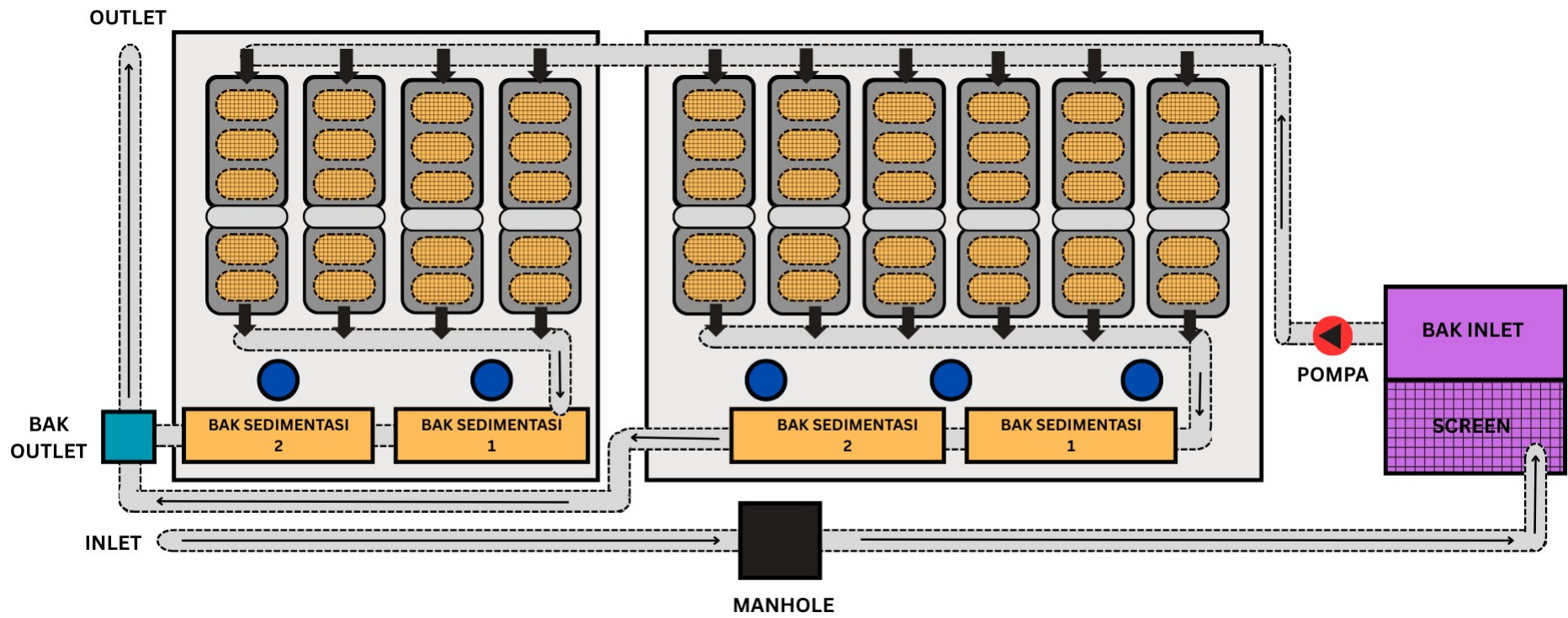
- Tepat Guna Pengolahan Air Limbah (PUSTEKLIM) Yogyakarta. *Indonesian Journal Of Chemical Research*, 98–110. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss2.art6>
- Israni, S. H. , Koli, S. S. , Patwardhan, A. W. , Melo, J. and, & D'souza, S. (2002). Phenol Degradation In Rotating Biological Contactors. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 77, 1050–1057.
- Junaidi, & Hatmanto, Bima Patria Dwi. (2006). Analisis Teknologi Pengolahan Limbah Cair Pada Industri Tekstil (Studi Kasus PT Iskandar Indah Printing Textile Surakarta). *Jurnal PRESIPITASI*, 1.
- Kadu, P. A., & M Rao, Y. R. (2012). A Review of Rotating Biological Contactors System. Dalam *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)* (Vol. 2, Nomor 5). www.ijera.com
- Kholif, A. (2020). Pengelolaan Air Limbah Domestik. *Scopindo Media Pustaka*.
- Lee, J., Ahn, W.-Y., & Lee, C.-H. (2001). Comparison Of The Filtration Characteristics Between Attached And Suspended Growth Microorganisms In Submerged Membrane Bioreactor. Dalam *Wat. Res* (Vol. 35, Nomor 10).
- Nieuwenhuis, E., Langeveld, J., & Clemens, F. (2018). The Relationship Between Fat, Oil And Grease (FOG) Deposits in Building Drainage Systems and FOG Disposal Patterns. *Water Science and Technology*, 77(10), 2388–2396. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.173>
- Patwardhan, A. W. (2003). Rotating Biological Contactors: A Review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42(10), 2035–2051. <https://doi.org/10.1021/ie0200104>
- Putri, A. R., Samudro, G., & Handayani, D. S. (t.t.). Penentuan Rasio BOD/COD optimal pada reaktor Aerob, Fakultatif dan Anaerob.
- Putri, L. K. (2018). Evaluasi Kinerja Sistem RBC di IPAL Lambung Mangkurat: Pengaruh Variasi Waktu Tinggal Terhadap Efisiensi Penurunan Kadar BOD. *Jurnal Purifikasi*, 18, 69–76.
- Putri, R. D. (t.t.). Aplikasi Teknologi Rotating Biological Contactor (RBC) Pada Pengolahan Air Limbah.
- Ramadhani, M. A. (2018). Evaluasi dan Perencanaan Pengelolaan Air Limbah di Kecamatan Banjarmasin Selatan Kota Banjarmasin. *Institusi Teknologi Sepuluh November*.

- Rana, S., Gupta, N., & Rana, R. S. (2018). Removal Of Organic Pollutant With The Use Of Rotating Biological Contactor. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 4218–4224. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.685>
- Said, N. I. (2005). Pengolahan Air Limbah Dengan Sistem Reaktor Biologis Putar (Rotating Biological Contactor) dan Parameter Disain. *JAI*, 1(2).
- Sari, R. N., Hadi, Z., & Fauzan, A. (2021). Efektivitas Sistem Pengolahan Air Limbah Pada IPAL HKSN di Perusahaan Daerah Pengelola Air Limbah Kota Banjarmasin.
- Sari, R. N., Sunarto, & Wiryanto. (2015). Analisis Komparasi Kualitas Air Limbah Domestik Berdasarkan Parameter Biologi, Fisika Dan Kimia Di Ipal Semanggi Dan Ipal Mojosongo Surakarta 1. Dalam *Jurnal EKOSAINS* |: Vol. VII (Nomor 2).
- Sasongko, E. B., Widyastuti, E., & Priyono, R. E. (2014). Kajian Kualitas Air Dan Penggunaan Sumur Gali Oleh Masyarakat di Sekitar Sungai Kaliyasa Kabupaten Cilacap. *12*, 72–82.
- Sulistia, S., & Septisya, A. C. (2019). Analisis Kualitas Air Limbah Domestik Perkantoran. *Analisis Kualitas Air-JRL*, 12(1), 41–57.
- Sulistiyawati, I. (2019). Kuantitas Total Bakteri Coliform pada Instalasi Pengolahan Limbah Cair Medis Laboratorium Klinik. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 19(3), 675. <https://doi.org/10.33087/jiubj.v19i3.718>
- Suryaputra, K. F., Pasaribu, D. M. R., & Ade Dharmawan. (2021). Efektivitas Daya Hambat Disinfektan Klorin terhadap Bakteri Escherichia Coli Penghasil Extended Spectrum Beta Lactamase. *Jurnal Kedokteran Meditek*, 27(3), 217–222. <https://doi.org/10.36452/jkdoktmeditek.v27i3.2002>
- Szulzyk-Cieplak, J., Tarnogórska, A., & Lenik, Z. (2018). Study On The Influence Of Selected Technological Parameters Of A Rotating Biological Contactor On The Degree Of Liquid Aeration. *Journal of Ecological Engineering*, 19(6), 247–253. <https://doi.org/10.12911/22998993/92512>
- Waqas, S., & Bilad, M. R. (2019). A Review on Rotating Biological Contactors. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(2), 241–256. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i2.18181>

- Waqas, S., Bilad, M. R., & Man, Z. B. (2021). Performance And Energy Consumption Evaluation Of Rotating Biological Contactor For Domestic Wastewater Treatment. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 6(1), 101–112. <https://doi.org/10.17509/ijost.v6i1.31524>
- Widyayanti, O. A., Inayah, M. N., Marwati, E., & Pratiwi, M. I. N. (2023). Deteksi Kadar Amonia (NH₃) pada Air Limbah Domestik di Rumah Makan Ajibarang Purwokerto. *Corona: Jurnal Ilmu Kesehatan Umum, Psikolog, Keperawatan dan Kebidanan*, 1(2), 01–09. <https://doi.org/10.61132/corona.v1i2.662>
- Zerva, I., Remmas, N., Kagalou, I., Melidis, P., Ariantsi, M., Sylaios, G., & Ntougias, S. (2021). Effect Of Chlorination On Microbiological Quality Of Effluent Of A Full-Scale Wastewater Treatment Plant. *Life*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/life11010068>

LAMPIRAN 1

1. Detail Aliran Air Limbah pada IPAL HKSN



2. Detail Aliran Air Limbah pada IPAL HKS

