

# Evaluasi Operasional dan Pemeliharaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Kimia PT. XYZ

Muchammad Ali Ma'shum Mujaddidi, Teguh Taruna Utama\*, Arqowi Pribadi

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya, Surabaya

\*Koresponden email: utama.teguh87@gmail.com

Diterima: 2 Oktober 2024

Disetujui: 8 Oktober 2024

## Abstract

PT. XYZ is a company active in the chemical industry. Both its production and domestic activities generate waste. PT. XYZ has a waste water treatment plant (WWTP) that is in operation to treat the waste water produced. The treated wastewater is applied to the soil for irrigation of landscaping within the PT. XYZ industrial estate. The objective of this study is to evaluate the performance of the WWTP, particularly in terms of the operation and maintenance phases that affect its effectiveness. The standard operating procedures are based on the STP Guide: Design, Operation, and Maintenance by Ananth S. Kodavasa (2011), Book 3 SOP Asset Operation of UPTD Domestic Wastewater Management (2018), and Minister of Public Works Regulation No. 4 of 2020, Annex II. The WWTP operation and maintenance procedures include units such as grease trap, equalisation tank, mixing tank, settling tanks I & II, aeration pond, filtration and storage tank. The study found discrepancies in several units, particularly the grease trap, equalisation tank, aeration, filtration and storage tanks. These discrepancies are due to procedures not yet included in the SOP, delayed painting schedules and uninstalled accessories. All parameters meet the required effluent quality standards. The operating costs for wastewater treatment are estimated at Rp. 4,912/m<sup>3</sup>.

**Keywords:** *wastewater treatment plant, water quality, operations, maintenance, chemical industry*

## Abstrak

PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri kimia. PT. XYZ dalam kegiatan produksi maupun domestiknya menghasilkan limbah. PT. XYZ telah memiliki satu unit IPAL yang telah beroperasi untuk mengolah air limbah yang dihasilkan. Air limbah terolah akan diaplikasikan ke tanah untuk kegiatan penyiraman pertamanan area industri PT. XYZ. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja IPAL, khususnya pada tahap operasional dan pemeliharaan yang mempengaruhi kinerjanya. Standar operasional prosedur mengacu pada Buku *The STP Guide Design, Operation and Maintenance* karya Ananth S kodavasa tahun 2011, Buku 3 SOP ASET OPERASI UPTD Pengelola Air Limbah Domestik Tahun 2018, dan Permen PUPR No 4 Tahun 2020 Lampiran II. Prosedur operasional dan pemeliharaan IPAL mencakup unit grease trap, bak ekualisasi, mixing tank, bak sedimentasi I & II, kolam aerasi, filtrasi, dan reservoir. Penelitian menunjukkan ketidaksesuaian di beberapa unit, terutama pada grease trap, bak ekualisasi, aerasi, filtrasi, dan reservoir. Ketidaksesuaian ini disebabkan oleh belum tercantumnya prosedur dalam SOP, jadwal pengecatan yang tertunda, dan aksesori yang belum terpasang. Seluruh parameter telah memenuhi baku mutu air limbah yang dipersyaratkan. Biaya operasional pengolahan air limbah diperkirakan Rp. 4.912/m<sup>3</sup>.

**Kata Kunci:** *instalasi pengolahan air limbah, kualitas air, operasional, pemeliharaan, industri kimia*

## 1. Pendahuluan

Peningkatan penduduk dan industrialisasi di Indonesia menyebabkan penurunan kualitas lingkungan. Kepadatan permukiman, kondisi sanitasi yang tidak memadai, serta pembuangan limbah industri tanpa pengolahan ke badan air atau lingkungan telah berkontribusi pada pencemaran sungai dan air tanah di Indonesia [1]. Lingkungan memiliki batas kemampuan dalam daya tampung limbah. Selama limbah yang dibuang masih dalam kapasitas tersebut, lingkungan dapat menguraikannya. Akibatnya, lingkungan kehilangan kemampuannya untuk menetralsir limbah sehingga terjadi degradasi kualitas lingkungan. Oleh karena itu, perlindungan kelestarian lingkungan harus dilakukan melalui pengelolaan limbah yang efektif [2].

Air limbah yang dihasilkan wajib memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan [3]. Pemerintah Indonesia telah mengatur pembuangan air limbah dari aktivitas industri petrokimia hulu ke lingkungan melalui Lampiran XXVII Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 mengenai Baku Mutu

Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Petrokimia Hulu. Parameter yang diuji meliputi pH, BOD, COD, TSS, Minyak dan Lemak, Fenol, Cr, Cu, Zn, serta Ni. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) merupakan fasilitas esensial yang berfungsi dalam pencegahan pencemaran lingkungan dan pengelolaan air limbah. Proses pengolahan limbah cair di IPAL dilakukan dengan mengumpulkan limbah secara terpusat sebelum diproses dalam instalasi dan akhirnya dialirkan ke sungai atau diaplikasikan ke lingkungan. IPAL terdiri dari beberapa komponen, masing-masing memiliki fungsi tertentu, terutama sebagai teknologi yang dikembangkan untuk menguraikan berbagai parameter yang terdapat dalam limbah [4].

Stabilitas operasional merupakan faktor utama bagi IPAL untuk mencapai kinerja yang optimal. Dalam operasi konvensional, IPAL harus mampu mengolah air limbah secara efisien. Untuk mencapai operasi yang berkelanjutan, IPAL perlu menjaga kestabilan operasional dengan menerapkan strategi penghematan energi, pengurangan konsumsi, serta pemulihan sumber daya, yang semuanya berfokus pada pengurangan beban operasional [5]. Pemeliharaan unit IPAL juga memegang peranan penting dalam kinerja masing-masing unit IPAL. Pemeliharaan IPAL tidak memerlukan keahlian khusus, tetapi ada beberapa hal yang perlu diperhatikan. Secara umum, pemeliharaan IPAL cukup mudah dilakukan. Aspek terpenting adalah mencegah limbah padat masuk ke dalam sistem perpipaan dan menghindari penyumbatan. Untuk itu, penting untuk melakukan pembersihan rutin pada bak screening dan bak ekualisasi guna mengatasi sampah padat [6].

PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri kimia. PT. XYZ dalam kegiatan produksi maupun domestiknya menghasilkan limbah. Salah satu limbah yang dihasilkan adalah limbah cair sisa dari proses produksi. PT. XYZ telah memiliki satu unit IPAL yang telah beroperasi untuk mengolah air limbah yang dihasilkan. Air limbah terolah akan diaplikasikan ke tanah untuk kegiatan penyiraman pertamanan area industri PT. XYZ. Pembangunan IPAL industri bertujuan untuk mengolah limbah cair sisa produksi agar sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan. Namun, jika pengolahan limbah di IPAL belum memenuhi baku mutu atau menimbulkan dampak negatif, maka tujuan IPAL belum tercapai. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengevaluasi kinerja IPAL, khususnya pada tahap operasional dan pemeliharaan yang mempengaruhi kinerjanya.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai bulan Januari hingga bulan Februari 2024. Penelitian ini berlokasi di Industri Kimia PT. XYZ. Penelitian dimulai dengan survei lapangan, wawancara operator IPAL, kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data sekunder yang mengenai IPAL PT. XYZ dari berbagai sumber dari penelitian sebelumnya. Komponen instalasi yang dievaluasi meliputi unit *grease trap*, ekualisasi, *mixing tank*, *filter press*, sedimentasi, aerasi, filtrasi dan reservoir.

Evaluasi operasional dan pemeliharaan IPAL PT. XYZ dilaksanakan dengan membandingkan antara kondisi eksisting dari IPAL PT. XYZ dengan menggunakan standar operasional prosedur yang sudah berlaku umum dan juga dengan peraturan-peraturan yang terkait baik dari pemerintah maupun dari internal perusahaan sendiri. Standar operasional prosedur mengacu pada Buku *The STP Guide Design, Operation and Maintenance* karya Ananth S kodavasa tahun 2011, Buku 3 SOP ASET OPERASI UPTD Pengelola Air Limbah Domestik Tahun 2018, dan Permen PUPR No 4 Tahun 2020 Lampiran II. Secara umum, operasi dan pemeliharaan unit Instalasi Pengolahan Air Limbah dapat dijabarkan pada **Tabel 1** dan **Tabel 2** berikut:

**Tabel 1.** Operasional Unit Instalasi Pengolahan Air Limbah

No.	Komponen Instalasi	Operasi
1.	Unit <i>Grease Trap</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Pastikan tidak ada benda padat yang keluar dari perangkat;</li> <li>Pastikan tidak ada minyak dan lemak yang keluar dari perangkat.</li> </ol>
2	Unit Bak Ekualisasi	<ol style="list-style-type: none"> <li>Pastikan aliran saluran inlet dan outlet bak ekualisasi bebas endapan dengan APD.</li> <li>Pastikan pengadukan bak ekualisasi optimal.</li> <li>Pastikan alat pengaduk (mixer, aerator, blower) beroperasi.</li> <li>Periksa debit efluen bak ekualisasi melalui flow meter.</li> </ol>
3	<i>Mixing Tank</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Tambahkan koagulan sesuai dosis yang tepat.</li> <li>Pantau pembentukan dan gangguan flok.</li> <li>Perbaiki pengolahan air pada pengaduk lambat jika terjadi gangguan flok.</li> </ol>

No.	Komponen Instalasi	Operasi
4	Filter Press	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Siapkan polimer untuk dicampur ke lumpur sebelum masuk filter press, gunakan APD.</li> <li>2. Pastikan filter siap digunakan.</li> <li>3. Campurkan lumpur, polimer, dan kapur di mixing tank, pastikan pencampuran sempurna dalam waktu yang ditentukan.</li> <li>4. Pastikan pemekatan sesuai jadwal.</li> <li>5. Aktifkan mesin filter press.</li> <li>6. Pastikan tekanan sesuai agar proses filtrasi optimal.</li> <li>7. Tampung lumpur kering (cake) di kontainer.</li> </ol>
5	Unit Bak Pengendap (Sedimentasi)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pastikan aliran di saluran inlet dan outlet lancar dengan APD.</li> <li>2. Pastikan aliran inlet ke bak pengendap primer bersifat laminar agar material tersuspensi mengendap.</li> <li>3. Angkut minyak/lemak ke unit pengeringan lumpur dan taburi kapur jika diperlukan.</li> <li>4. Aktifkan pompa penyedot lumpur sesuai jadwal.</li> </ol>
6	Unit Kolam Aerasi	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pastikan aliran di saluran inlet dan outlet bebas endapan agar tetap kontinu dengan APD.</li> <li>2. Pastikan aerator atau diffuser dengan blower tidak tersumbat dan berfungsi merata untuk menghasilkan air limbah homogen yang memenuhi kebutuhan oksigen.</li> <li>3. Rutin periksa pH, suhu, dan oksigen terlarut (DO).</li> <li>4. Sesuaikan operasi aerator atau blower berdasarkan pengukuran DO oleh Analis.</li> <li>5. Lakukan sampling air limbah di inlet bak aerasi untuk menganalisis BOD, COD, TSS, dan Amoniak, agar rasio C:N:P dan F/M sesuai kebutuhan.</li> <li>6. Analis melakukan sampling air limbah di bak aerasi untuk mengukur TSS dan SV30, guna mengetahui kadar MLSS dan kemampuan pengendapan lumpur.</li> </ol>
7	Unit Filtrasi	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Atur bukaan katup/pintu air ke pipa inlet.</li> <li>2. Alirkan air baku ke filter pasir cepat.</li> <li>3. Sesuaikan katup inlet untuk menjaga ketinggian air baku tetap konstan.</li> <li>4. Alirkan air hasil filtrasi ke bak penampung.</li> </ol>
8	Unit Penampung (Reservoir)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pastikan katup inlet reservoir terbuka untuk menerima suplai dari proses pengolahan sebelumnya.</li> <li>2. Periksa pH.</li> <li>3. Tambahkan larutan netralisator dan desinfektan sesuai kebutuhan.</li> <li>4. Atur katup inlet dan outlet di reservoir untuk menjaga ketinggian muka air.</li> <li>5. Baca dan catat debit air limbah yang masuk dan keluar dari reservoir melalui flowmeter di pipa inlet/outlet.</li> </ol>

Sumber: [7], [8], [9]

**Tabel 2.** Pemeliharaan Unit Instalasi Pengolahan Air Limbah

No.	Komponen Instalasi	Pemeliharaan	Jangka Waktu
1.	Unit Grease Trap	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Periksa aliran di saluran inlet dan outlet, bersihkan endapan agar aliran kontinu dengan APD.</li> <li>2. Bersihkan lemak yang mengapung dan padatan yang mengendap.</li> <li>3. Angkut minyak/lemak ke unit pengeringan lumpur dan taburi kapur jika diperlukan.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Harian</li> <li>2. Harian</li> <li>3. Harian atau sesuai kebutuhan</li> </ol>
2	Unit Bak Ekualisasi	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bersihkan padatan, lumpur, dan lemak di dinding bak ekualisasi secara berkala setelah memakai APD.</li> <li>2. Lakukan perawatan rutin blower, aerator, atau mixer sesuai manual.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Harian</li> <li>2. Tahunan</li> </ol>

No.	Komponen Instalasi	Pemeliharaan	Jangka Waktu
3	<i>Mixing Tank</i> (Unit Pengaduk Lambat)	1. Bersihkan unit pembubuh bahan kimia dan area sekitarnya.	1. Harian
		2. Bersihkan dan perbaiki bak pengaduk kimia jika ada kerusakan.	2. Insidental sesuai kebutuhan
		3. Bersihkan pompa pembubuh kimia.	3. Harian
		4. Bersihkan area sekitar ruang pompa.	4. Harian
		5. Bersihkan saringan pompa.	5. Harian
		6. Bilas saluran pembubuh dengan air bersih jika pompa akan dihentikan.	6. Harian
		7. Periksa kebocoran pada pompa dan saluran pembubuh kimia, perbaiki jika ditemukan.	7. Harian
		8. Periksa kalibrasi pompa untuk memastikan akurasi.	8. Tahunan
4	<i>Filter Press</i>	1. Periksa dan bersihkan saringan/filter secara berkala setelah menggunakan APD.	1. Harian
		2. Lakukan perawatan motor bearings dan motor mixer secara berkala.	2. Tahunan
		3. Lakukan perawatan pada motor filter press.	3. Tahunan
		4. Pastikan stok bahan kimia kering dan tidak lembab.	4. Harian
		5. Jaga area lokasi tetap bersih dan sirkulasi udara memadai.	5. Harian
5	Unit Bak Pengendap (Sedimentasi)	1. Periksa dan bersihkan area sekitar bak pengendap dari kotoran dengan menyemprotkan air setelah menggunakan APD.	1. Harian
		2. Periksa konstruksi bangunan untuk mendeteksi kerusakan.	2. Bulanan
		3. Periksa dan bersihkan bak pengendap dari kotoran, lumut, dan tanaman air lainnya.	3. Mingguan
		4. Lakukan pemeliharaan pompa lumpur secara berkala.	4. Tahunan
6	Unit Kolam Aerasi	1. Bersihkan scum yang terbentuk dengan menggunakan APD terlebih dahulu.	1. Harian
		2. Bersihkan tumbuhan di tepi atau permukaan kolam.	2. Harian
		3. Periksa kondisi tanggul secara berkala.	3. Mingguan
		4. Lakukan perawatan aerator, blower, dan diffuser secara rutin sesuai buku manual.	4. Tahunan
		5. Pastikan pagar dalam kondisi baik untuk mencegah benda jatuh ke dalam kolam.	5. Tahunan
7	Unit Filtrasi	1. Bersihkan bak filter dari lumut dan lumpur.	1. Bulanan
		2. Periksa bangunan dan perlengkapannya untuk kerusakan.	2. Tahunan
		3. Cek dan bersihkan dinding bangunan filtrasi.	3. Bulanan
		4. Periksa ketebalan media penyaringan.	4. Bulanan
		5. Lakukan pengurasan bak dan angkat pasir.	5. Bulanan
		6. Cek kondisi pipa, katup, dan aksesori untuk kebocoran.	6. Tahunan

No.	Komponen Instalasi	Pemeliharaan	Jangka Waktu
		7. Cat unit logam agar tidak berkarat.	7. Tahunan
8	Unit Penampung (Reservoir)	1. Bersihkan area di sekitar reservoir dari tanaman liar, sampah, sisa bahan kimia, dan kotoran lainnya. 2. Periksa bangunan reservoir untuk memastikan tidak ada rembesan air atau keretakan. 3. Cat unit logam untuk mencegah karat. 4. Cek bak untuk endapan, dan lakukan pengurasan jika diperlukan	1. Harian 2. Bulanan 3. Tahunan 4. Tahunan

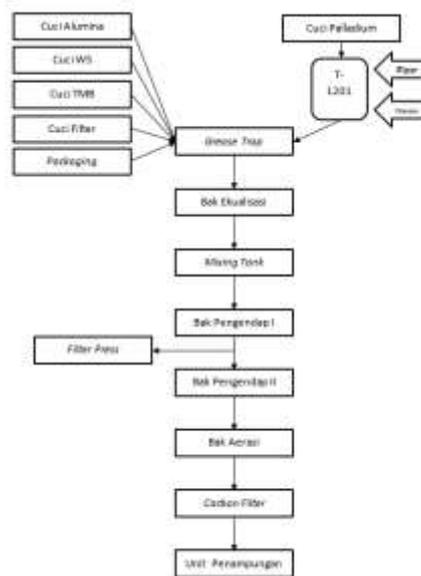
Sumber: [7], [8], [9]

### 3. Hasil dan Pembahasan

Operasi dan pemeliharaan IPAL di PT. XYZ memiliki tujuan untuk memastikan pengelolaan limbah cair sesuai dengan peraturan pemerintah yang berlaku. Menjaga agar unit-unit IPAL tetap dalam kondisi yang baik merupakan perhatian penting dari pemrakarsa perusahaan.

#### 3.1 Diagram Alir Proses IPAL di PT. XYZ

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) memainkan peran penting untuk menjaga kebersihan dan kesehatan lingkungan dalam lingkup pengolahan air limbah. Diagram alir proses IPAL memberikan gambaran visual yang jelas mengenai tahapan-tahapan utama dalam pengolahan air limbah. Diagram alir proses instalasi air limbah PT. XYZ dapat dilihat pada **Gambar 1** dibawah ini.



**Gambar 1.** Diagram Alir Proses IPAL di PT. XYZ

Diagram alir tersebut menunjukkan proses pengolahan air limbah yang dimulai dari beberapa sumber pencucian, seperti pencucian alumina, pencucian WS, pencucian TMB, pencucian filter, dan pengemasan, yang kemudian dialirkan menuju *grease trap* untuk menyaring minyak dan lemak yang terkandung dalam air limbah. Di sisi lain, proses pencucian palladium dialirkan menuju tangki T-1201 yang terhubung dengan air dan uap. Setelah melewati *grease trap*, air limbah dialirkan ke bak ekualisasi untuk menyeimbangkan aliran dan kualitas air limbah. Selanjutnya, air limbah dicampur di *mixing tank* untuk menjalani proses pembentukan flok. Proses berikutnya adalah pengendapan flok yang terbentuk di bak pengendap I, di mana sebagian kotoran disaring menggunakan *filter press* sebelum dilanjutkan ke bak pengendap II untuk proses pengendapan lanjutan.

Setelah melewati dua tahap pengendapan, air limbah masuk ke bak aerasi, di mana udara ditambahkan untuk meningkatkan proses biologis. Setelah itu, air limbah disaring menggunakan *carbon filter* sebelum dialirkan ke unit penampungan untuk ditampung. Proses ini secara keseluruhan bertujuan

untuk mengolah air limbah dengan tahapan fisik, kimia, dan biologis agar mencapai kualitas yang aman sebelum dibuang.

### 3.2 Evaluasi Operasional Unit IPAL PT. XYZ

Kegiatan operasional unit IPAL PT. XYZ telah diatur dalam buku *The STP Guide Design, Operation and Maintenance*, Lampiran II Permen PUPR Nomor 4 Tahun 2020 dan Buku 3 SOP ASET OPERASI UPTD Pengelola Air Limbah Domestik Tahun 2018. Kegiatan operasional unit IPAL di PT. XYZ dievaluasi dengan pedoman buku tersebut. Hasil evaluasi operasional unit IPAL PT. XYZ dapat dilihat pada **Tabel 3** dibawah ini.

**Tabel 3.** Kesesuaian Prosedur Operasional Unit IPAL

No	Komponen Instalasi	Prosedur	Pelaksanaan di PT. XYZ	Kesesuaian
1.	Grease Trap	Pastikan tidak ada benda padat yang keluar dari perangkap	Operator memeriksa kompartemen setelah perangkat dan pipa <i>outlet</i> tidak ada sampah atau benda padat yang lolos.	✓
		Pastikan tidak ada minyak dan lemak yang keluar dari perangkap.	Operator memeriksa dan memastikan secara rutin <i>effluent grease trap</i> tidak terdapat minyak dan lemak.	✓
2	Bak Ekualisasi	Pastikan aliran saluran inlet dan outlet bak ekualisasi bebas endapan dengan APD.	Operator memeriksa dan membersihkan saluran inlet dan outlet dengan menggunakan APD.	✓
		Pastikan pengadukan bak ekualisasi optimal;	Operator selalu memperhatikan bak ekualisasi ketika proses pengadukan. Ketika pengadukan operator menambahkan NaOH untuk menjaga agar pH air limbah tetap pada pH 11 - 12.	✓
		Pastikan alat pengaduk (mixer, aerator, blower) beroperasi	Operator memastikan dan mengecek alat pengaduk ( <i>blower</i> ) tetap beroperasi dengan baik. Apabila terjadi kerusakan operator akan melaporkan kepada kepala IPAL dan diteruskan kepada bagian <i>Maintenance &amp; Engineering</i> .	✓
		Periksa debit efluen bak ekualisasi melalui flow meter	Operator mengetahui debit <i>effluent</i> dari bak ekualisasi melalui <i>water level</i> yang ada pada bak ekualisasi.	X
3	Mixing Tank	Tambahkan koagulan sesuai dosis yang tepat.	Operator membubuhkan Setiap 30 menit, 30 liter FeSO <sub>4</sub> , penambahan asam sulfat (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), lime (CaOH) dan juga anion flokulan.	✓
		Pantau pembentukan dan gangguan flok.	Operator mengamati pembentukan flok setelah membubuhkan bahan kimia seluruhnya menggunakan gelas ukur.	✓
		Perbaiki pengolahan air pada pengaduk lambat jika terjadi gangguan flok.	Operator melaporkan kepada kepala IPAL apabila terdapat kerusakan atau adanya gangguan pada proses ini untuk ditindak lanjuti selanjutnya.	✓
4	Filter Press	Siapkan polimer untuk dicampur ke lumpur sebelum masuk filter press, gunakan APD.	Operator mencampurkan polimer ketika dalam proses pengadukan pada unit <i>mixing tank</i>	✓
		Pastikan filter siap digunakan	Operator menyiapkan dan memeriksa <i>plate frame</i> dan <i>filter</i> bersih dari lumpur sisa pengolahan sebelumnya.	✓
		Campurkan lumpur, polimer, dan kapur di mixing tank, pastikan pencampuran sempurna	Operator mencampurkan polimer dan kapur sesuai dosis yang ditentukan pada saat proses pengadukan di unit <i>mixing tank</i> .	✓

No	Komponen Instalasi	Prosedur	Pelaksanaan di PT. XYZ	Kesesuaian
		dalam waktu yang ditentukan.		
		Pastikan pemekatan sesuai jadwal.	Operator membutuhkan waktu $\pm 1,5$ jam untuk satu kali proses.	✓
		Aktifkan mesin filter press.	Operator memastikan bahwa semua persiapan telah selesai kemudian mengaktifkan mesin <i>filter press</i> dengan menekan tombol ON.	✓
		Pastikan tekanan sesuai agar proses filtrasi optimal.	Operator memeriksa dan memantau proses pengeringan lumpur dan melihat <i>pressure gauge</i> yang tertera pada motor.	✓
		Tampung lumpur kering (cake) di kontainer.	Operator terlebih dahulu memakai APD. Kemudian menaruh wadah (potongan <i>isotank</i> ) sebagai tempat pengumpulan <i>cake</i> yang didapatkan.	✓
5	Bak Pengendap 1 & 2	Pastikan aliran di saluran inlet dan outlet lancar dengan APD.	Operator memakai APD lengkap dan memeriksa saluran <i>inlet</i> maupun <i>outlet</i> tidak ada kotoran atau padatan yang menyumbat.	✓
		Pastikan aliran inlet ke bak pengendap primer bersifat laminer agar material tersuspensi mengendap.	Operator membuka katup <i>valve</i> pipa dengan perlahan dengan tujuan aliran air limbah terolah dari <i>mixing tank</i> dalam keadaan laminer.	✓
		Angkut minyak/lemak ke unit pengeringan lumpur dan taburi kapur jika diperlukan;	Minyak/ lemak yang terdapat pada bak sedimentasi akan tersedot oleh pompa <i>filter press</i> sebagai unit pengeringan lumpur	✓
		Aktifkan pompa penyedot lumpur sesuai jadwal.	Operator mengaktifkan pompa penyedot lumpur satu kali setiap shift.	✓
6	Kolam Aerasi	Pastikan aliran di saluran inlet dan outlet bebas endapan agar tetap kontinu dengan APD.	Operator memakai APD lengkap dan memeriksa saluran <i>inlet</i> maupun <i>outlet</i> tidak ada kotoran atau padatan yang menyumbat.	✓
		Pastikan aerator atau diffuser dengan blower tidak tersumbat dan berfungsi merata untuk menghasilkan air limbah homogen yang memenuhi kebutuhan oksigen.	Operator melihat dan memastikan bahwa <i>aerator</i> atau <i>diffuser</i> dibawah permukaan air (terendam) dan tidak ada endapan yang menutupi dan menyumbat lubang <i>diffuser</i> .	✓
		Rutin periksa pH, suhu, dan oksigen terlarut (DO).	Operator tidak memeriksa pH, suhu, dan oksigen terlarut	X
		Sesuaikan operasi aerator atau blower berdasarkan pengukuran DO oleh Analisis.	Operator mengaktifkan <i>aerator</i> atau <i>blower</i> sesuai dengan ketentuan yang berlaku yakni	X
		Lakukan sampling air limbah di inlet bak aerasi untuk menganalisis BOD, COD, TSS, dan Amoniak, agar rasio	Operator belum melaksanakan analisa	X

No	Komponen Instalasi	Prosedur	Pelaksanaan di PT. XYZ	Kesesuaian
		C:N:P dan F/M sesuai kebutuhan.		
		Analisis melakukan sampling air limbah di bak aerasi untuk mengukur TSS dan SV30, guna mengetahui kadar MLSS dan kemampuan pengendapan lumpur	Belum dilaksanakannya sampling	X
7	Bak Filtrasi	Atur bukaan katup/pintu air ke pipa inlet.	Sebelum melakukan tahap filtrasi, operator memastikan dan membuka katup pipa.	✓
		Alirkan air baku ke filter pasir cepat.	Operator mengaktifkan pompa ketika persiapan telah selesai untuk mengalirkan air dari tahapan aerasi ke tahapan filtrasi.	✓
		Sesuaikan katup inlet untuk menjaga ketinggian air baku tetap konstan.	Operator memantau dan mengatur bukaan katup saat filtrasi berlangsung agar air limbah tidak meluber.	✓
		Alirkan air hasil filtrasi ke bak penampung	Operator membuka katup/pintu air agar air dapat mengalir menuju unit penampung.	✓
8	Reservoir	Mengecek dan memastikan katup <i>inlet</i> reservoir dalam posisi terbuka untuk menerima suplai dari pengolahan sebelumnya.	Operator memastikan dan membuka katup pipa <i>inlet</i> reservoir terbuka.	✓
		Periksa pH.	Operator tidak melakukan pengecekan pH air limbah yang terolah yang masuk kedalam unit penampung.	X
		Tambahkan larutan netralisator dan desinfektan sesuai kebutuhan.	Belum tersedianya unit desinfeksi untuk pembubuhan desinfektan	X
		Atur katup inlet dan outlet di reservoir untuk menjaga ketinggian muka air.	Operator melakukan <i>setting</i> katup/pintu air untuk menjaga ketinggian muka air yang ditampung di unit reservoir.	✓
		Baca dan catat debit air limbah yang masuk dan keluar dari reservoir melalui flowmeter di pipa inlet/outlet.	Operator hanya mencatat debit <i>outlet</i> air limbah karena <i>flowmeter inlet</i> belum terpasang.	X

Keterangan: ✓ = Sesuai, X = Tidak Sesuai

Dari **Tabel 3** diatas, dapat diketahui bahwa hampir seluruh prosedur operasional pada unit IPAL di PT. XYZ telah sesuai dengan standar Buku 3 SOP ASET OPERASI UPTD Pengelola Air Limbah Domestik Tahun 2018, *The STP Guide Design, Operation and Maintenance*, PermenPUPR No. 4 Tahun 2020. Ketidaksesuaian pada prosedur operasionalnya adalah pada unit bak ekualisasi. Ketidaksesuaian pada prosedur operasionalnya adalah pembacaan *flowmeter* untuk mengetahui debit effluen bak ekualisasi. Ketidaksesuaian tersebut terjadi karena kondisi eksisting saat ini pada bak ekualisasi masih belum terpasang adanya *flowmeter*. Operator mengetahui debit masuk dan keluar melalui *water level* yang terdapat pada bak ekualisasi. Sebuah flow meter harus dipasang untuk mengontrol proses. Kegiatan pemantauan dan

pemeliharaan harus dilakukan, dan operator yang merawat instalasi pengolahan harus memahami proses unit jika terjadi kegagalan pada unit tersebut [10].

Ketidaksesuaian prosedur operasional juga terdapat pada unit kolam aerasi. Ketidaksesuaian prosedur terdapat pada poin pelaksanaan *sampling* air limbah pada bak aerasi. Ketidaksesuaian tersebut terjadi karena operator dan pengguna masih belum mengetahui pentingnya *sampling* air limbah pada bak aerasi secara berkala. Kinerja aerasi berkaitan dengan konsentrasi Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS) dan konsentrasi oksigen terlarut (DO) operasional. Pengujian parameter kinetika pertumbuhan nitrifier dilakukan pada berbagai tingkat DO. Hasilnya mengungkapkan bahwa sistem lumpur aktif dapat memenuhi kriteria efluen pada tingkat DO rendah. Selain itu, komunitas nitrifier yang dikulturkan dalam kondisi DO rendah memiliki afinitas oksigen yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang dikulturkan dalam kondisi DO tinggi, seperti ditunjukkan oleh konstanta setengah jenuh oksigen dan kemampuan nitrifikasi. Teramati bahwa pengoperasian pada DO rendah dan campuran lumpur rendah serta padatan tersuspensi volatil dapat secara signifikan mengurangi konsumsi energi [11].

Operasional unit terakhir yang belum sesuai standar yang ditetapkan adalah unit reservoir. Ketidaksesuaian terdapat pada poin pengecekan pH dan pencatatan debit *inlet* unit penampung. Ketidaksesuaian terjadi karena belum tercantumnya prosedur operasi SOP PT. XYZ untuk mengecek pH pada air limbah terolah dan belum terpasangnya *flowmeter inlet* unit penampung. pH yang stabil dan terkendali penting untuk menjaga efisiensi dan kesehatan lingkungan dalam pengolahan limbah. Analisis pH menunjukkan tingkat keasaman limbah cair, di mana limbah yang terlalu asam atau basa dapat mengganggu proses pengolahan atau merusak lingkungan. Oleh karena itu, pemantauan pH secara rutin memastikan instalasi pengolahan limbah bekerja optimal [12].

### 3.3 Evaluasi Pemeliharaan Unit IPAL PT. XYZ

Kegiatan pemeliharaan unit IPAL PT. XYZ telah diatur dalam buku *The STP Guide Design, Operation and Maintenance*, Lampiran II Permen PUPR Nomor 4 Tahun 2020 dan Buku 3 SOP ASET OPERASI UPTD Pengelola Air Limbah Domestik Tahun 2018. Kegiatan operasional unit IPAL di PT. XYZ dievaluasi dengan pedoman buku tersebut. Hasil evaluasi operasional unit IPAL PT. XYZ dapat dilihat pada **Tabel 4** dibawah ini.

**Tabel 4.** Kesesuaian Prosedur Pemeliharaan Unit IPAL

No	Komponen Instalasi	Prosedur	Pelaksanaan di PT. XYZ	Kesesuaian
1.	<i>Grease Trap</i>	Periksa aliran di saluran inlet dan outlet, bersihkan endapan agar aliran kontinu dengan APD.	Operator memeriksa dan membersihkan saluran inlet dan outlet dengan menggunakan APD.	✓
		Bersihkan lemak yang mengapung dan padatan yang mengendap;	Operator membersihkan minyak/lemak yang mengapung dengan menggunakan serok dan memasukkannya ke dalam kantong sampah.	✓
		Angkut minyak/lemak ke unit pengeringan lumpur dan taburi kapur jika diperlukan.	Operator memasukkan minyak/lemak ke dalam kantong sampah dan dikeringkan tanpa unit pengeringan lumpur.	X
2	Bak Ekualisasi	Bersihkan padatan, lumpur, dan lemak di dinding bak ekualisasi secara berkala setelah memakai APD.	Operator membersihkan padatan, lumpur, dan kotoran yang menempel pada dinding bak setiap adanya <i>shutdown</i> produksi. Operator selalu memakai APD ketika bertugas.	✓
		Lakukan perawatan rutin blower, aerator, atau mixer sesuai manual.	Operator memeriksa dan melakukan perawatan sesuai manual book dan ketika terjadi kerusakan akan melaporkannya ke divisi <i>maintance &amp; engineering</i>	✓
3	<i>Mixing Tank</i>	Bersihkan unit pembubuh bahan kimia dan area sekitarnya.	Operator membersihkan unit pembubuh kimia setelah proses pengadukan selesai. Dan menjaga area unit tetap bersih.	✓

No	Komponen Instalasi	Prosedur	Pelaksanaan di PT. XYZ	Kesesuaian
			Operator selalu memakai APD ketika bertugas.	
		Bersihkan dan perbaiki bak pengaduk kimia jika ada kerusakan.	Operator membersihkan bak pengaduk ketika selesai pengolahan dan apabila terjadi kerusakan akan melaporkannya ke divisi <i>maintenance &amp; engineering</i>	✓
		Bersihkan pompa pembubuh kimia.	Operator membersihkan pompa pembubuh kimia setelah proses pengadukan selesai.	✓
		Bersihkan area sekitar ruang pompa.	Operator membersihkan area ruang pompa setelah proses pengadukan selesai dan mengkondisikan agar tetap dalam kondisi kering.	✓
		Periksa kebocoran pada pompa dan saluran pembubuh kimia, perbaiki jika ditemukan.	Operator memeriksa setiap proses pengadukan apakah terjadi kebocoran pompa dll. Operator akan melaporkannya kepada kepala IPAL untuk ditindak lanjuti.	✓
		Periksa kalibrasi pompa untuk memastikan akurasi.	Operator memeriksa tingkat akurasi pembubuhan setiap tahunnya dengan divisi <i>engineering</i> .	✓
4	Filter Press	Periksa dan bersihkan saringan/filter secara berkala setelah menggunakan APD.	Operator membersihkan saringan/filter sekaligus pada saat pengambilan <i>cake</i> dari <i>plate frame</i> dan filter setiap proses pengeringan lumpur selesai dengan tetap menggunakan APD lengkap.	✓
		Lakukan perawatan motor bearings dan motor mixer secara berkala.	Operator memeriksa dan merawat motor secara berkala untuk mencegah terjadinya malfungsi. Dan melaporkan kepada kepala IPAL apabila terjadi gangguan.	✓
		Lakukan perawatan pada motor filter press	Operator menjaga dan memastikan oli untuk piston <i>motor filter press</i> tetap terjaga volumenya sebagai bentuk perawatan pada motor.	✓
		Pastikan stok bahan kimia kering dan tidak lembab.	Operator meletakkan bahan kimia dalam gudang dan menaruhnya diatas meja dan rak agar tetap dalam kondisi kering.	✓
		Jaga area lokasi tetap bersih dan sirkulasi udara memadai.	Penempatan mesin <i>filter prees</i> berada di lokasi yang tidak tertutup tembok sehingga sirkulasi udara lancar dan operator selalu membersihkan area setelah proses pengolahan selesai.	✓
5	Bak Pengendap 1 & 2	Periksa dan bersihkan area sekitar bak pengendap dari kotoran dengan menyemprotkan air setelah menggunakan APD.	Operator membersihkan secara rutin area bak pengendap dari kotoran yang menempel dengan air dan peralatan lain dengan selalu memakai APD.	✓
		Periksa konstruksi bangunan untuk mendeteksi kerusakan.	Operator memeriksa keadaan fisik unit bak sedimentasi secara berkala dan apabila terdapat kerusakan, segera melaporkan kepada kepala IPAL.	✓
		Periksa dan bersihkan bak pengendap dari kotoran, lumut, dan tanaman air lainnya.	Operator membersihkan bak pengendap dari kotoran dengan menggunakan serok dan memasukkannya dalam kantong sampah.	✓
		Lakukan pemeliharaan pompa lumpur secara berkala.	Operator merawat dan memelihara pompa lumpur sesuai <i>manual book</i> . Dan	✓

No	Komponen Instalasi	Prosedur	Pelaksanaan di PT. XYZ	Kesesuaian
6	Kolam Aerasi	.	melaporkan kepada kepala IPAL apabila terjadi gangguan/malfungsi.	
		Bersihkan scum yang terbentuk dengan menggunakan APD terlebih dahulu.	Operator membersihkan secara rutin kolam aerasi dari kotoran atau <i>scum</i> yang ada di kolam aerasi dengan selalu memakai APD.	✓
		Bersihkan tumbuhan di tepi atau permukaan kolam.	Operator merawat dan membersihkan tepian kolam aerasi dari tumbuhan dengan mencabutnya dan dimasukkan kedalam kantong sampah.	✓
		Periksa kondisi tanggul secara berkala	Operator memeriksa secara berkala keadaan fisik unit kolam secara berkala.	✓
7	Bak Filtrasi	Pastikan pagar dalam kondisi baik untuk mencegah benda jatuh ke dalam kolam.	Operator memeriksa secara berkala keadaan fisik unit kolam secara berkala.	✓
		Bersihkan bak filter dari lumut dan lumpur.	Operator membersihkan lumut dan lumpur dengan serokan dan memasukkannya ke dalam kantong sampah.	✓
		Periksa bangunan dan perlengkapannya untuk kerusakan.	Operator memastikan tidak adanya kerusakan bak filtrasi dan komponennya secara berkala. Dan melaporkan kepada kepala IPAL apabila terdapat gangguan atau kerusakan.	✓
		Cek dan bersihkan dinding bangunan filtrasi	Operator membersihkan dinding bak aerasi apabila terdapat lumut atau lumpur yang menempel pada dinding.	✓
		Periksa ketebalan media penyaringan	Operator memeriksa ketebalan media filtrasi sebelum melakukan proses filtrasi dan menambahkan media filter secara berkala sesuai kebutuhan.	✓
		Lakukan pengurusan bak dan angkat pasir.	Operator melakukan pengurusan bak dan pembersihan media filter ketika melihat air limbah tidak menunjukkan perubahan yang signifikan karena media filter yang telah jenuh.	✓
		Cek kondisi pipa, katup, dan aksesoris untuk kebocoran.	Operator secara berkala memeriksa tidak adanya kebocoran pipa dan aksesorisnya .	✓
8	Reservoir	Cat unit logam agar tidak berkarat	Operator belum melakukan pengecatan ulang bak filtrasi	X
		Bersihkan area di sekitar reservoir dari tanaman liar, sampah, sisa bahan kimia, dan kotoran lainnya.	Operator memastikan dan membersihkan jika terdapat tanaman, rumput dan sampah di area unit penampung.	✓
		Periksa bangunan reservoir untuk memastikan tidak ada rembesan air atau keretakan.	Operator memeriksa dan memastikan tidak adanya kebocoran dan kerusakan fisik pada unit penampung dan komponennya secara berkala..	✓
		Cat unit logam untuk mencegah karat.	Operator belum melakukan pengecatan ulang unit penampung.	X
		Cek bak untuk endapan, dan lakukan pengurusan jika diperlukan.	Operator memeriksa dan memastikan tidak adanya endapan ketika membuka <i>outlet</i> untuk melakukan penyiraman.	✓

Keterangan: ✓ = Sesuai, X = Tidak Sesuai

Dari **Tabel 4** diatas, dapat diketahui bahwa hampir seluruh prosedur pemeliharaan pada unit IPAL di PT. XYZ telah sesuai dengan standar Buku 3 SOP ASET OPERASI UPTD Pengelola Air Limbah Domestik Tahun 2018, *The STP Guide Design, Operation and Maintenance*, PermenPUPR No. 4 Tahun 2020. Ketidaksesuaian pada prosedur operasionalnya adalah pada unit *grease trap*. Ketidaksesuaian pada prosedur pemeliharaannya adalah pada pengangkutan minyak/lemak menuju unit pengeringan lumpur. Hal tersebut terjadi karena minyak/lemak yang didapatkan dimasukkan ke dalam kantong sampah dan dikeringkan tanpa melalui unit pengeringan.

Ketidaksesuaian prosedur operasional juga terdapat pada unit filtrasi. Ketidaksesuaian terdapat pada poin pengecatan ulang bak filtrasi. Ketidaksesuaian tersebut terjadi karena belum dilaksanakannya pengecatan ulang unit IPAL yang bangunannya terbuat dari logam namun penjadwalan *repaint* telah ditetapkan. Operasional unit terakhir yang belum sesuai standar yang ditetapkan adalah unit reservoir. Ketidaksesuaian terdapat pada poin pengecatan ulang unit penampung. Ketidaksesuaian tersebut terjadi karena belum dilaksanakannya pengecatan ulang unit IPAL yang bangunannya terbuat dari logam namun penjadwalan *repaint* telah ditetapkan. Pengecatan ulang penting untuk dilakukan. Pengecatan ulang berfungsi untuk menghindari proses korosi pada unit IPAL yang terbuat dari logam. Korosi pada peralatan dan fasilitas instalasi pengolahan air limbah (IPAL) merupakan masalah serius yang menyebabkan kerugian besar dan dapat membahayakan lingkungan jika terjadi kebocoran limbah. Selain itu, korosi bisa menyebabkan kecelakaan tak terduga akibat kerusakan mendadak [13].

### 3.4 Analisa Kualitas Air Limbah *Effluent* IPAL di PT. XYZ

Pengujian kualitas air limbah di PT. XYZ menggunakan beberapa parameter seperti pH, BOD, COD, TSS, minyak dan lemak dan lain sebagainya sesuai dengan PERTEK yang telah disepakati dan disetujui. Waktu pengujian kualitas air limbah dilakukan selama 1 bulan sekali. Pengujian kualitas air limbah dilakukan oleh Balai Besar Laboratorium Kesehatan (BBLK) Surabaya. Hasil analisa kualitas air limbah di PT. XYZ pada bulan Januari tahun 2024 dapat dilihat pada **Tabel 5** berikut ini.

**Tabel 5.** Data Analisa Kualitas Air Limbah

No.	Parameter	Metode	Satuan	Hasil	Baku Mutu	Keterangan
1	pH	SNI 6989.11:2019	-	7,3	6,0 – 9,0	Sesuai
2	BOD <sub>5</sub>	IK/KIM.55/04-20	mg/L	8	12	Sesuai
3	COD	IK/KIM.76/01-23	mg/L	38,78	80	Sesuai
4	TSS	SNI 6989.3:2019	mg/L	20	30	Sesuai
5	Minyak & Lemak	SNI 6089.10:2011	mg/L	10	10	Sesuai
6	Klorin Bebas	IK/KIM.77/01-23	mg/L	< LoQ 0,1	1	Sesuai
7	TDS	SNI 6989.27:2019	mg/L	768	2000	Sesuai
8	Deterjen (MBAS)	IK/KIM.29/10-19	mg/L	0,023	2,4	Sesuai
9	Total Fosfat (Sebagai P)	IK/KIM.51/04-20	mg/L	0,224	1,6	Sesuai

Dari hasil uji laboratorium terhadap *effluent* Kegiatan IPAL PT. XYZ yang tersaji pada **Tabel 5** diatas, dapat diketahui bahwa hasil uji laboratorium air limbah terolah di PT. XYZ telah memenuhi baku mutu air limbah yang telah dipersyaratkan. Pemantauan kualitas air limbah penting untuk mengetahui gambaran umum kualitas air, memahami hubungan antara variabel ekologi dengan parameter fisik dan kimia, serta mendeteksi dampak pencemar terhadap lingkungan. Hasil pemantauan ini membantu menentukan kelayakan teknologi dan optimalisasi IPAL komunal agar efluen yang dihasilkan aman dibuang ke badan air. Selain itu, karena biaya pembaruan IPAL mahal, pemantauan juga dapat menghindari kebutuhan renovasi besar [14].

### 3.5 Biaya Operasional dan Pemeliharaan IPAL di PT. XYZ

PT. XYZ dalam menjalankan kegiatan pengolahan air limbah yang dihasilkan memerlukan biaya operasional dan pemeliharaan. Biaya operasional IPAL PT. XYZ meliputi gaji operator IPAL, listrik, penambahan bakteri, penggunaan desinfektan dan biaya pengurusan. Sedangkan, biaya pemeliharaan IPAL PT. XYZ meliputi biaya penggantian dan pembersihan media, pemeliharaan pompa dan *blower*, serta biaya kelistrikan. Biaya operasional dan pemeliharaan IPAL PT. XYZ tersaji pada **Tabel 6** dibawah ini.

**Tabel 6.** Biaya Operasional dan Pemeliharaan IPAL di PT. XYZ

No	Deskripsi	Biaya/Tahun (Rupiah)
<b>Operasional IPAL</b>		
1	Gaji Operator IPAL	48.000.000
2	Listrik	36.600.000
3	Penambahan Bakteri	900.000
4	Penggunaan Desinfektan	204.000
5	Biaya Pengurusan	1.500.000
<b>Pemeliharaan IPAL</b>		
6	Penggantian dan Pembersihan Media	1.040.000
7	Pemeliharaan pompa, <i>blower</i>	500.000
8	Kelistrikan	500.000
<b>Jumlah</b>		89.244.000

Jumlah biaya operasional dan pemeliharaan IPAL di PT. XYZ yang tersaji pada **Tabel 6** diatas adalah sebesar Rp. 89.244.000/Tahun. Jika Kegiatan produksi PT. XYZ menghasilkan air limbah terolah (*effluent*) sebesar 49,78 m<sup>3</sup>/hari, maka biaya operasional dan pemeliharaan IPAL PT. XYZ per meter kubik air limbahnya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Biaya O \& M} = \frac{\text{Biaya Operasional dan Pemeliharaan/Tahun}}{\text{Debit air limbah/tahun}}$$

$$\text{Biaya O \& M} = \frac{\text{Rp.89.244.000/Tahun}}{49,78 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 365 \text{ hari}}$$

$$\text{Biaya O \& M} = \frac{89.244.000/\text{Tahun}}{181.697 \text{ m}^3/\text{Tahun}}$$

$$\text{Biaya O \& M} = \text{Rp. 4.912}/\text{m}^3$$

Berdasarkan perhitungan diatas, biaya operasional dan pemeliharaan IPAL PT. XYZ untuk mengolah air limbah per meter kubiknya adalah sebesar Rp. 4.912/m<sup>3</sup>. Biaya operasional, termasuk biaya pelaksanaan, pemeliharaan rutin, dan manajemen (OPM), dikeluarkan setelah konstruksi selesai dan distribusi air dimulai. Biaya ini memastikan kondisi dan manajemen IPAL berjalan sesuai aturan yang berlaku [15].

#### 4. Kesimpulan

Prosedur operasional IPAL mencakup unit grease trap, bak ekualisasi, mixing tank, bak sedimentasi I & II, kolam aerasi, filtrasi, dan reservoir. Penanggung jawab IPAL telah mengikuti SOP perusahaan. Evaluasi penerapan SOP IPAL dibandingkan dengan literatur seperti buku "The STP Guide" (Ananth S. Kodavasa, 2011), SOP UPTD Pengelola Air Limbah Domestik (2018), dan Permen PUPR No. 4 Tahun 2020. Hasil evaluasi menunjukkan ketidaksesuaian di beberapa unit, terutama pada grease trap, bak ekualisasi, aerasi, filtrasi, dan reservoir. Ketidaksesuaian ini disebabkan oleh belum tercantumnya prosedur dalam SOP, jadwal pengecatan yang tertunda, dan aksesoris yang belum terpasang. Seluruh parameter telah memenuhi baku mutu air limbah yang dipersyaratkan. Biaya operasional pengolahan air limbah diperkirakan Rp. 4.912/m<sup>3</sup>.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT. XYZ atas dukungan dan kesempatan yang diberikan selama penelitian ini. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada para dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan berharga yang sangat membantu dalam penyusunan dan penyelesaian penelitian ini. Dukungan dan kontribusi dari berbagai pihak sangat berarti dalam tercapainya hasil yang optimal.

#### 6. Referensi

- [1] Asmadi and Suharno, *Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Yogyakarta, Indonesia: Gosen Publishing.

- [2] A. Husin, M. Faisal, and T. U. Naibaho, "Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tepung Tapioka PT Sari Tani Sumatera, Serdang Bedagai," *J. Serambi Eng.*, vol. 7, no. 1, Dec. 2021, doi: 10.32672/jse.v7i1.3822.
- [3] T. N. Choliso and I. F. Purwanti, "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Depo Pemasaran Ikan Lingkar Timur, Sidoarjo," *J. Tek. ITS*, vol. 12, no. 3, pp. D170–D176, Dec. 2023, doi: 10.12962/j23373539.v12i3.121770.
- [4] D. M. Hutabarat, W. S. Witasari, and R. Baskoro, "Pengaruh Jenis Koagulan Dan Variasi Ph Terhadap Kualitas Limbah Cair Di Instalasi Pengolahan Air Limbah Pt Kawasan Industri Intiland," *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 8, no. 3, pp. 588–594, May 2023, doi: 10.33795/distilat.v8i3.464.
- [5] J. Zhang *et al.*, "Current operation state of wastewater treatment plants in urban China," *Environ. Res.*, vol. 195, p. 110843, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.envres.2021.110843.
- [6] R. Rohana and F. Umar, "Desain Perencanaan Ipal (Instalasi Pengolahan Air Limbah) Menggunakan Proses Biofilter 'Up Flow' Rumah Sakit Pendidikan Unismuh," *J. Linears*, vol. 3, no. 1, p. Progress, May 2020, doi: 10.26618/j-linears.v3i1.3222.
- [7] KEMEN-PUPR, "Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2020." Berita Negara Republik Indonesia, 2020.
- [8] Dr. A. S. Kodavasal, *STP Guide: Design, Operation and Maintenance.*, First. India: Karnataka State Pollution Control Board (KSPCB), 2011.
- [9] Direktorat Jenderal Cipta Karya, *BUKU 3 - SOP ASET OPERASI*. 2018.
- [10] N. A. Jasim, "The design for wastewater treatment plant (WWTP) with GPS X modelling," *Cogent Eng.*, vol. 7, no. 1, p. 1723782, Jan. 2020, doi: 10.1080/23311916.2020.1723782.
- [11] H. Fan, L. Qi, G. Liu, Y. Zhang, Q. Fan, and H. Wang, "Aeration optimization through operation at low dissolved oxygen concentrations: Evaluation of oxygen mass transfer dynamics in different activated sludge systems," *J. Environ. Sci.*, vol. 55, pp. 224–235, May 2017, doi: 10.1016/j.jes.2016.08.008.
- [12] A. M. Pata'dungan, W. Y. Tandirerung, and E. S. Pasinggi, "Analisis Parameter Kimia dalam Limbah Cair di Instalasi Pengolahan Air Limbah TPA Karua," *Agroland J. Ilmu-Ilmu Pertan.*, vol. 31, no. 2, pp. 117–123, Aug. 2024, doi: 10.22487/agrolandnasional.v31i2.2207.
- [13] Sánchez Blanco, "A study of the corrosion in the equipment of a WWTP for planning preventive measures," *Téc. Ind.*, vol. 336, pp. 52–60, Dec. 2023, doi: 10.23800/10544.
- [14] N. Quraini, M. Busyairi, and F. Adnan, "Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal Berbasis Masyarakat Kelurahan Masjid Samarinda Seberang," *J. Teknol. Lingkungan UNMUL*, vol. 6, no. 1, p. 1, Jun. 2022, doi: 10.30872/jtlunmul.v6i1.7231.
- [15] O. Osfaldo and D. Noviarti, "Analisa Kelayakan Ekonomi Proyek Pembangunan IPAL Kota Palembang ( Studi Kasus Pada Jalan RE Martadinata Kelurahan II Ilir )," *Tek. J. Tek.*, vol. 8, no. 1, p. 21, Jul. 2021, doi: 10.35449/teknika.v8i1.165.