

Simposium I Jaringan Perguruan Tinggi untuk Pembangunan Infrastruktur Indonesia, 2016

Evaluasi dan Desain Ulang Unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Tekstil di Kota Surabaya Menggunakan Biofilter Tercelup Anaerobik-Aerobik

Achmad Muzakky^{a,*}, Nieke Karnaningroem^{a,*}, Mohammad Razif^a

^a Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
Indonesia

Abstrak

Perkembangan dunia fashion saat ini membuat permintaan produk tekstil meningkat. Industri tekstil Z sebagai salah satu industri tekstil tua di Kota Surabaya berusaha untuk tetap bersaing dipangsa pasarnya dengan memproduksi berupa pakaian berwarna gelap. Peningkatan kegiatan produksi yang tidak diikuti dengan perubahan pada sistem pengolahan IPAL membuat perubahan pada karakteristik air limbah yang dikeluarkan oleh industri. Hal ini menyebabkan air yang dikeluarkan tidak memenuhi baku mutu. Sehingga diperlukan sebuah evaluasi dari setiap unit dan perencanaan ulang dari sistem IPAL. Perkembangan dunia fashion saat ini membuat permintaan produk tekstil meningkat. Industri tekstil Z sebagai salah satu industri tekstil tua di Kota Surabaya berusaha untuk tetap bersaing dipangsa pasarnya dengan memproduksi berupa pakaian berwarna gelap. Peningkatan kegiatan produksi yang tidak diikuti dengan perubahan pada sistem pengolahan IPAL membuat perubahan pada karakteristik air limbah yang dikeluarkan oleh industri. Hal ini menyebabkan air yang dikeluarkan tidak memenuhi baku mutu. Sehingga diperlukan sebuah evaluasi dari setiap unit dan perencanaan ulang dari sistem IPAL.

Evaluasi dilakukan dengan mengukur dimensi dari masing-masing unit IPAL eksisting, menganalisa sampel air limbah, dan membandingkannya dengan kriteria desain dari masing-masing unit. Perencanaan ulang dilakukan pada unit yang tidak berfungsi dengan baik. Biofilter tercelup anaerobik-aerobik adalah salah satu teknologi yang dapat dijadikan sebagai alternatif karena memiliki banyak kelebihan dari aspek teknis dan finansial.

Hasil evaluasi IPAL eksisting menunjukkan bahwa semua unit tidak memenuhi kriteria desain. Hal inilah yang menyebabkan air limbah yang dihasilkan tidak memenuhi baku mutu. Limbah yang dihasilkan IPAL eksisting adalah 52,05 mg/L TSS; 899,3 mg/L COD; 182,61 mg/L BOD; dan 31,85 PtCo warna. Rekomendasi berupa perencanaan ulang menggunakan biofilter tercelup anaerobik-aerobik menghasilkan limbah dengan kadar TSS, COD, BOD, dan warna secara berurutan adalah 15,93 mg/L; 29,05 mg/L; 2,99 mg/L; dan 2,63 PtCo dengan biaya investasi sebesar Rp 793.175.680.

Keywords: Biofilter Tercelup Anaerobik-Aerobik, desain ulang, evaluasi IPAL, limbah cair tekstil

1. Pendahuluan

Industri tekstil Z adalah salah satu industri tekstil tua di Kota Surabaya yang telah lama bergerak dibidang perajutan dan pencelupan. Perkembangan dunia *fashion* yang global dan dinamis membuat permintaan produk pakaian dengan warna yang lebih variatif bertambah. Dampak dari perkembangan dan meningkatnya permintaan pasar membuat industri tekstil tersebut berusaha untuk tetap bersaing dipangsa pasarnya dengan memproduksi pakaian berwarna gelap. Dampak peningkatan kegiatan produksi industri tekstil membuat produk limbah yang dihasilkan bertambah dan mengalami perubahan karakteristik. Perencanaan IPAL pada awalnya didesain untuk mengolah air limbah tekstil dengan karakter limbah berwarna cerah tetapi akibat peningkatan dan perubahan karakteristik limbah yang dihasilkan, menyebabkan IPAL tidak bekerja secara efektif. Mengetahui kurang efektifnya IPAL yang dimiliki, industri tekstil tersebut segera melakukan perbaikan pada sistem IPAL dengan penambahan unit berupa tanki aerasi yang dikombinasikan dengan unit IPAL yang telah ada sebelumnya. Kualitas limbah hasil dari modifikasi unit IPAL industri tekstil untuk parameter COD, BOD, dan TSS masih belum memenuhi baku mutu serta masih berwarna pekat. Berdasarkan kinerja yang kurang baik, dibutuhkan solusi yang tepat untuk memperbaiki IPAL agar kualitas limbah yang dikeluarkan memenuhi baku mutu yaitu dengan melakukan evaluasi dari unit IPAL eksisting dan merencanakan desain alternatif baru yang efektif dan mampu memberikan keuntungan pada industri tekstil dari aspek teknis maupun aspek finansial untuk mengolah limbah yang dihasilkan.

Teknologi pengolahan air limbah terus berkembang seiring bertambahnya kebutuhan dan perubahan karakteristik air limbah yang lebih variatif. Perkembangan teknologi pengolahan limbah harus disesuaikan dengan kebutuhan dan daya dukung yang dimiliki oleh pihak industri. Salah satu alternatif teknologi pengolahan air limbah tekstil yang dapat digunakan adalah biofilter tercelup anaerobik-aerobik. Unit ini memiliki banyak keunggulan salah satunya adalah dengan kombinasi proses “anaerobik-aerobik” yang memiliki beberapa keunggulan seperti efisiensi penghilangan yang cukup besar untuk parameter yang diolah,

* Corresponding author. Tel.: +6285231119463

E-mail address: muzakky12@mhs.enviro.its.ac.id; nieke@enviro.its.ac.id; razif@enviro.its.ac.id

energi yang digunakan untuk operasi lebih kecil sehingga biaya lebih murah, dan pengoperasian yang lebih mudah [1].

Evaluasi IPAL eksisting diharapkan bisa menganalisis unit IPAL yang berkinerja kurang baik dan dapat memberikan solusi apa yang harus dilakukan untuk memperbaikinya. Perencanaan ulang menggunakan alternatif biofilter tercelup anaerobik-aerobik diharapkan bisa menjadi solusi bagi industri tekstil ini untuk memperbaiki kinerja IPAL eksisting sehingga kualitas air baku yang dikeluarkan dapat memenuhi baku mutu dan terjadi keseimbangan dalam biaya operasi IPAL.

2. Metodologi Perencanaan

2.1 Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan adalah sebuah diagram urutan dari setiap tahap yang dilakukan dalam evaluasi dan perencanaan ulang unit IPAL eksisting. Berikut adalah tahap-tahap yang termasuk dalam kerangka perencanaan

2.1.1 Survey Lokasi

Tahap survei lokasi adalah tahap pengamatan lokasi objek perencanaan yang memiliki permasalahan terkait pengolahan air limbah. Objek perencanaan yang digunakan adalah IPAL eksisting industri tekstil Z

2.1.2 Pengumpulan Data

Data-data yang dikumpulkan berupa data primer dan sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh dari hasil pengamatan secara langsung di lokasi. Sedangkan data sekunder merupakan data-data pendukung yang diperoleh dari instansi terkait berupa laporan kegiatan, standar dan peraturan. Berikut ini adalah data-data primer yang akan diambil:

- a. Gambaran umum IPAL industri tekstil terkait.
- b. Desain awal/eksisting unit IPAL industri tekstil terkait.
- c. Sampel air limbah yang dihasilkan dari kegiatan produksi industri tekstil terkait..
- d. Hasil uji laboratorium sampel air limbah dari unit IPAL eksisting industri tekstil terkait.

Berikut ini adalah data-data sekunder yang akan diambil :

- a. Arsip uji laboratorium sampel air limbah sebelumnya.
- b. Baku mutu yang berlaku (PERGUB JATIM No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan Kegiatan/Usaha Lainnya pada bagian Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Tekstil).
- c. Data pengolahan limbah cair industri tekstil yang lain dan data-data penunjang lainnya.

2.1.3 Studi Literatur

Tahap studi literatur adalah tahap untuk menambah dan mendalami materi yang diperlukan dalam evaluasi serta perencanaan ulang terutama pada kriteria desain dari tiap unit IPAL eksisting yang digunakan beserta perhitungan desain, karakteristik air limbah, baku mutu yang berlaku, proses pengolahan eksisting dan yang ideal, karakteristik limbah tekstil sejenis lainnya, dan sebagainya.

2.1.4 Uji Laboratorium

Tahap uji laboratorium adalah tahap untuk menguji dan menganalisis limbah cair yang dikeluarkan dari unit IPAL eksisting sebagai data primer untuk melakukan perhitungan evaluasi dan perencanaan ulang.

2.1.5 Pengolahan dan Analisis data

Tahap pengolahan dan analisis adalah tahap untuk menghitung dan mengolah data hasil uji laboratorium dan data sekunder yang telah dikumpulkan, kemudian dijadikan sebagai bahan untuk pembahasan evaluasi dan perencanaan ulang.

2.1.6 Hasil dan Pembahasan

Tahap hasil dan pembahasan adalah tahap yang terdiri dari beberapa perhitungan yaitu: kualitas air limbah IPAL eksisting, persentase removal unit IPAL eksisting, perhitungan persentase removal unit alternatif, perencanaan perhitungan dimensi dari alternatif desain menggunakan biofilter tercelup anaerobik-aerobik, perhitungan rancangan anggaran biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan alternatif desain, dan pembuatan gambar teknik desain unit.

2.1.7 Kesimpulan dan Saran

Tahap kesimpulan dan saran adalah tahap untuk memaparkan hasil analisis dan pengolahan data yang telah dilakukan dan diringkas dalam sebuah kesimpulan yang berisi hasil analisis dan saran atau rekomendasi

2.2 Kerangka Evaluasi

Kerangka evaluasi adalah diagram alir yang digunakan untuk melakukan evaluasi IPAL eksisting. Kerangka evaluasi terdiri dari beberapa tahap, yaitu: melakukan pengukuran dan pengambilan sampel → menganalisis sistem IPAL dan menghitung data hasil uji laboratorium → melakukan pembangunan ulang semua unit sesuai kriteria desain atau memperbaiki unit yang bermasalah dan diikombinasikan dengan alternatif baru.

3. Gambaran Umum Objek Perencanaan

IPAL terletak pada lahan seluas sekitar $\pm 300 \text{ m}^2$. Sistem IPAL menggunakan kombinasi pengolahan kimiawi dan biologis. Unit yang dipakai dalam sistem saat ini secara berurutan adalah sebagai berikut: bak ekualisasi → bak koagulasi-flokulasi → bak pengendap flok → bak pengendapan final.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Perhitungan Debit Air Limbah

Debit air limbah yang digunakan dalam perencanaan adalah debit yang dikeluarkan dari mesin pencelupan. Terdapat 6 buah unit mesin yang digunakan untuk proses pencelupan dan air sisa produksi dibuang langsung menuju IPAL. Setiap mesin memiliki kapasitas air yang berbeda. Debit yang dikeluarkan oleh tiap mesin beserta debit total yang masuk ke IPAL dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1.
Kapasitas Mesin dan Debit Air Limbah

Mesin	Kapasitas mesin (Liter air)	Jumlah pemakaian mesin (maksimum)	Total debit (L/hari)
1	2.500	6	15.000
2	3.000	6	18.000
3	2.000	6	12.000
4	2.000	6	12.000
5	1.500	6	9.000
6	2.500	6	15.000
Total			81.000

Sumber: Hasil Perhitungan dan Survei Lapangan

4.2 Karakteristik Air Limbah IPAL

Karakteristik air limbah yang digunakan dalam evaluasi dan perencanaan ulang adalah air limbah buangan proses produksi yang berasal dari mesin produksi. Hasil uji sampel digunakan sebagai data primer untuk menganalisis dan mengevaluasi serta perencanaan ulang menggunakan alternatif baru. Sampel diambil pada outlet mesin pencelupan kemudian diuji di laboratorium. Hasil uji laboratorium dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2.
Karakteristik Air Limbah IPAL Eksisting

Parameter	Nilai	Satuan
pH	10,6	-
TSS	364	mg/L
Warna	130	PtCo
COD	2.645	mg/L
BOD	1.640	mg/L

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil uji laboratorium menyimpulkan bahwa limbah yang dihasilkan kegiatan produksi bersifat basa, memiliki kadar COD, BOD, dan TSS yang tinggi.

4.3 Analisis dan Evaluasi IPAL Eksisting

4.3.1 Proses Sistem

Sistem pengolahan IPAL eksisting menggunakan sistem pengolahan yang terdiri dari kombinasi pengolahan fisik, kimiawi, dan biologis. Pembagian unit IPAL eksisting berdasarkan jenis pengolahannya adalah sebagai berikut:

- a. Pengolahan Fisik
 - Unit pengolahan fisik meliputi:
 - Menara pendingin (*cooling tower*)
 - Bak pengendap lumpur
 - Bak pengendap flok
 - Bak pengendap final
- b. Pengolahan Biologis meliputi unit tanki aerasi
- c. Pengolahan kimiawi meliputi unit koagulasi-flokulasi dan netralisasi

Konsep pengolahan limbah yang baik adalah pengolahan yang dilakukan secara berurutan dari proses pengolahan primer yaitu proses fisik dan dilanjutkan dengan pengolahan tahap selanjutnya dengan proses biologis atau proses kimiawi maupun kombinasi. Hal ini disebabkan karena perbedaan kemampuan dari tiap unit dalam menghilangkan zat pencemar dalam air limbah [2].

Sistem IPAL eksisting sudah memiliki konsep pengolahan yang bagus tetapi air buangan IPAL masih memiliki permasalahan karena tidak urutnya unit dalam sistem pengolahan. Hal ini dapat diketahui dari diagram alir sistem pengolahan IPAL dimana setelah bak ekualisasi pengolahan langsung dilanjutkan ke pengolahan biologis menggunakan tanki aerasi dan bakteri tanpa ada pengolahan fisik untuk menurunkan parameter fisik limbah. Kinerja pengolahan biologis kurang maksimal karena beban yang masuk kedalam pengolahan biologis terlalu tinggi sehingga kurang efektif.

4.3.2. Unit Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi adalah unit yang digunakan untuk menampung air limbah yang dibuang oleh mesin produksi dan menjaga kestabilan dari fluktuatifnya debit maupun konsentrasi yang masuk ke sistem IPAL [3]. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa unit bak ekualisasi IPAL eksisting tidak sesuai dengan kriteria desain karena unit eksisting memiliki nilai waktu tinggal (td) lebih dari 4 jam yaitu sekitar 28,27 jam. Rekomendasi untuk bak ekualisasi adalah adanya perbaikan pada unit dengan membangun ulang berdasarkan hasil perhitungan yang telah sesuai dengan kriteria desain. Hasil evaluasi dan rekomendasi bak ekualisasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3.
Hasil Evaluasi dan Rekomendasi Unit Bak Ekualisasi

Dimensi Unit Eksisting	Kriteria Desain	Keterangan	Dimensi Ideal
Panjang bak = 10,6 m	-	-	5,2 m
Lebar bak = 5 m	-	-	2,6 m
Tinggi bak = 2 m	< 4 m	sesuai	2 m
Waktu tinggal = 28,27 jam	4 - 8 jam	tidak sesuai	8 jam

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 3 menunjukkan bak ekualisasi IPAL eksisting tidak memenuhi kriteria desain karena memiliki waktu tinggal yang melebihi kriteria desain. Rekomendasi unit bak ekualisasi adalah melakukan pembongkaran dan dibangun ulang sesuai dengan dimensi ideal yang telah dihitung berdasarkan kriteria desain.

4.3.3. Unit Bak Koagulasi – Flokulasi

Bak koagulasi-flokulasi merupakan unit pengolahan kedua pada sistem IPAL eksisting yang digunakan saat ini untuk membentuk flok dari pencampuran dengan bahan koagulan. Koagulan yang digunakan pada tabung koagulasi adalah *polymer Aluminium Chloride (PAC)*. Kemampuan PAC dalam meremoval parameter TSS, Warna, COD, dan BOD secara berurutan adalah sebesar 67,5%; 75,5%; 66%; dan 83% [4]. Hasil evaluasi unit dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4.
Hasil Evaluasi Unit Bak Koagulasi-Flokulasi

Parameter	Unit Eksisting	Kriteria Desain	Unit	Ket
Waktu kontak	35	30 - 45	menit	sesuai
Kec. Gradien (G)	50	60 - 5	/detik	sesuai
Tahap flokulasi	7	6 - 10	buah	sesuai

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4 menunjukkan bahwa unit koagulasi-flokulasi memenuhi kriteria desain sehingga unit direkomendasikan untuk tetap digunakan.

4.3.4. Unit Bak Pengendap Flok

Bak pengendap flok adalah unit yang digunakan untuk mengendapkan flok dari proses flokulasi, Hasil perhitungan bak pengendap flok dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5.
Hasil Evaluasi dan Rekomendasi Unit Bak Pengendap Flok

Dimensi Unit Eksisting	Kriteria Desain	Keterangan	Dimensi Ideal
Td = 60 s	40 – 60 s	Sesuai	40 – 60 s
Jarak sekat = 17 cm	-	Tidak sesuai	28 cm
Jumlah baffle = 6 buah	-	Tidak sesuai	13 buah

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5 menunjukkan bak pengendap flok tidak sesuai dengan kriteria desain. Rekomendasi untuk unit ini adalah dilakukan pembongkaran karena tidak sesuai dengan kriteria desain dan memiliki fungsi yang sama dengan bak pengendap final.

4.3.5. Unit Bak Pengendap Final

Hasil perhitungan dimensi unit bak pengendap final dapat disederhanakan dan dibandingkan dengan kriteria desain pada Tabel 6.

Tabel 6.
Hasil Evaluasi dan Rekomendasi Unit Bak Pengendap Final

Dimensi Unit Eksisting	Kriteria Desain	Ket	Dimensi Ideal
Panjang Bak = 6,6 meter	-	-	2,9
Lebar Bak = 3,05 meter	-	-	1,45
Tinggi Bak = 1,8 meter	3 - 6	Tidak	3
waktu tinggal = 10,74 jam	1,5 - 2,5	Tidak	1,5
OFR = 4 m ³ /m ² jam	0,8 - 2,5	Tidak	1

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6 menunjukkan Bak pengendap final tidak sesuai dengan kriteria desain. Rekomendasi untuk unit adalah dilakukan pembongkaran dan dibangun sesuai dengan hasil perhitungan.

4.3.6. Kestimbangan Massa

Kestimbangan massa menggunakan persentase removal dari tiap unit dapat disederhanakan pada Tabel 7.

Tabel 7.
Persentase Removal Unit IPAL Eksisting

Unit	Removal Eksisting			
	TSS	Warna	COD	BOD
Bak Equalisasi	0%	0%	0%	0%
Bak Koagulasi-Flokulasi	67,5%	75,5%	66%	83%
Bak Pengendap Flok	0%	0%	0%	0%
Bak Pengendap Final	56%	0%	0%	34,50%

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 7 menunjukkan persentase removal dari tiap unit sehingga dapat dihitung kadar pencemar yang dikeluarkan oleh IPAL eksisting. Hasil perhitungan dapat disederhanakan dalam Tabel 8.

Tabel 8.
Effluent IPAL Eksisting

Parameter	Inlet	Outlet	Baku Mutu	Satuan
TSS	364	118,3	50	mg/L
Warna	130	31,85	-	PtCo
COD	2.645	899,3	150	mg/L
BOD	1.640	182,61	60	mg/L

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 8 menunjukkan bahwa IPAL eksisting menghasilkan limbah dengan effluent yang melebihi baku mutu, sehingga perlu dilakukan perencanaan ulang untuk memperbaiki kinerja agar limbah yang dihasilkan tidak melebihi baku mutu.

4.3.7 Rekomendasi Evaluasi

Hasil analisis dan evaluasi unit IPAL eksisting adalah semua unit tidak memenuhi kriteria desain dan untuk rekomendasi perbaikan ada beberapa opsi, yaitu:

- Melakukan pembongkaran semua unit yang telah dievaluasi dan mengganti desain yang telah dihitung dengan kriteria desain dan menggunakannya sesuai dengan kondisi eksisting (unit dan sistem pengolahan tetap).
- Melakukan pembongkaran terhadap unit IPAL eksisting yang telah dievaluasi dan membangun kembali unit dengan dimensi yang ideal serta mengganti unit tanki aerasi yang tidak dioperasikan dan mendapatkan keluhan dalam pengoperasiannya dengan alternatif unit biofilter tercelup anaerobik-aerobik yang dikombinasikan dengan unit adsorpsi karbon aktif.

4.4 Perencanaan Ulang IPAL

Perencanaan ulang adalah mendesain ulang dan mengganti beberapa unit eksisting sehingga memenuhi kriteria desain dan menghasilkan effluent yang sesuai dengan baku mutu. Perencanaan ulang ini memiliki beberapa alternatif untuk IPAL eksisting yaitu:

4.4.1 Alternatif 1

Alternatif satu pada perencanaan ulang ini adalah menggunakan urutan unit pengolahan sebagai berikut: Bak Ekuialisasi → Bak Biofilter Tercelup Anaerobik-aerobik → Bak Koagulasi-flokulasi → Bak Pengendap Final → Karbon Aktif. Perhitungan dimensi dari unit biofilter adalah sebagai berikut mengacu pada kriteria desain dengan waktu tinggal 24-28 jam; Rasio SS/COD=0,35-0,45; dan OLR < 4,5 kg/m³.hari [5]. Perhitungan dari alternatif 1 adalah sebagai berikut:

a. Unit Bak Pengendap Awal

Debit masuk (Q_{in})	= 81	m ³ /hari
	= 0,94	L/s
Waktu masuk limbah	= 8	jam
Waktu tinggal (td)	= 2	jam
[COD _{in}]	= 2.645	mg/L
[BOD _{in}]	= 1.640	mg/L
rasio SS / COD	= 0,4	mg/L / mg/L
Waktu pengurasan lumpur (P_L)	= 6	bulan
Lebar bak (L_{bak})	= 2	m
Tinggi air minimum di inlet (H_{air})	= 2,2	m
Lebar sekat (L_{sekat})	= 0,5	m
Volume Lumpur	= 47,34	m ³
Panjang Kompartemen 1 (P_{komp1})	= $\frac{2}{3} \times V_{lumpur} / L_{bak} / H_{air}$	
	= $\frac{2}{3} \times 47,34 / 2,2 / 2$	
	= 7,17	m
	= 7,20	m
Panjang Kompartemen 2 (P_{komp2})	= $P_{komp1} \times 0,5$	
	= $7,2 \times 0,5$	
	= 3,59	
	= 3,6	m

b. Unit Bak Anaerobik Biofilter

Debit puncak (Q_{peak})	= Q_{in} / t_{limbah}	
	= 81 / 8	
	= 10,13	m ³ /jam
Volume Bak (V_{bak})	= $Q_{in} \times (HRT / 24)$	
	= 81 x (24 x 24)	
	= 81	m ³
Panjang bak	= $V_{bak} / n / ((H_{air} \times 0,25) + (L_{bak} \times (H_{air} - H_{filter}) \times (1 - P_{mf})))$	
	= $81 / 4 / ((2,2 \times 0,25) + (2 \times (2,2 - 1,05 \times (1 - 0,98))))$	
	= 4,13	m
	= 4,20	m
Tinggi (H_{filter})	= $H_{air} - L_{cb} - 0,4 - 0,05$	
	= 2,2 - 0,5 - 0,4 - 0,05	
	= 1,25	m

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi Bak (H}_{\text{bak}}) &= H_{\text{air}} + F_b \\
 &= 2,2 + 0,3 \\
 &= 2,5 \quad \text{m} \\
 \text{Luas Permukaan Bak (A}_{\text{s1}}) &= P_{\text{komp}} \times L_{\text{bak}} \\
 &= 3,8 \times 2 \\
 &= 8,40 \quad \text{m}^2 \\
 \text{Volume media filter (V}_{\text{mf}}) &= A_s \times H_{\text{filter}} \\
 &= 8,4 \times 1,25 \\
 &= 10,5 \quad \text{m}^3
 \end{aligned}$$

c. Unit Bak Aerobik Biofilter

$$\begin{aligned}
 \text{Debit puncak (Q}_{\text{peak}}) &= Q_{\text{in}} / t_{\text{limbah}} \\
 &= 81 / 8 \\
 &= 10,13 \quad \text{m}^3/\text{jam} \\
 \text{Volume Bak (V}_{\text{bak}}) &= Q_{\text{in}} \times (\text{HRT} / 24) \\
 &= 81 \times (7 \times 24) \\
 &= 23,63 \quad \text{m}^3 \\
 \text{Luas Permukaan Bak (A}_{\text{s1}}) &= V_{\text{bak}} / H_{\text{air}} \\
 &= 23,63 / 2,2 \\
 &= 10,74 \quad \text{m}^2 \\
 \text{Panjang kompartemen (P}_{\text{komp}}) &= A_s / L_{\text{bak}} \\
 &= 10,74 / 2 \\
 &= 5,37 \quad \text{m} \\
 &= 5,4 \quad \text{m} \\
 \text{Tinggi media filter (H}_{\text{filter}}) &= H_{\text{air}} - L_{\text{cb}} - 0,4 - 0,05 \\
 &= 2,2 - 0,5 - 0,4 - 0,05 \\
 &= 1,25 \quad \text{m} \\
 \text{Tinggi Bak (H}_{\text{bak}}) &= H_{\text{air}} + F_b \\
 &= 2,2 + 0,3 \\
 &= 2,5 \quad \text{m} \\
 \text{Volume media filter (V}_{\text{mf}}) &= A_s \times H_{\text{filter}} \\
 &= 10,74 \times 1,25 \\
 &= 13,42 \quad \text{m}^3
 \end{aligned}$$

d. Unit Bak Pengendap Akhir

$$\begin{aligned}
 \text{Debit masuk (Q}_{\text{in}}) &= 81 \quad \text{m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,94 \quad \text{L/s} \\
 \text{Waktu masuk limbah} &= 8 \quad \text{jam} \\
 \text{Waktu tinggal (td)} &= 2 \quad \text{jam} \\
 \text{Volume Bak (V}_{\text{bak}}) &= (\text{td} / 24) \times Q_{\text{in}} \\
 &= (2 / 24) \times 81 \\
 &= 6,75 \quad \text{meter} \\
 \text{Lebar bak (L}_{\text{bak}}) &= 2 \quad \text{meter} \\
 \text{Tinggi air (H}_{\text{air}}) &= 2,2 \quad \text{meter} \\
 \text{Luas Permukaan Bak (A}_{\text{s1}}) &= V_{\text{bak}} / H_{\text{air}} \\
 &= 6,75 / 2,2 \\
 &= 3,07 \quad \text{m}^2 \\
 \text{Panjang bak (P}_{\text{bak}}) &= A_{\text{s1}} / L_{\text{bak}} \\
 &= 3,07 / 2 \\
 &= 1,53 \quad \text{meter}
 \end{aligned}$$

Dimensi hasil perhitungan dapat disederhanakan pada Tabel 9.

Tabel 9.
Dimensi Alternatif 1

Parameter	BP awal	Bak Anaerob	Bak Aerob	BP Akhir
Panjang bak (m)	7,2 & 3,6	4,2	5,4	1,53
Lebar bak (m)	2	2	2	2
Tinggi Bak (m)	2,5	2,5	2,5	2,5
Tinggi Media (m)	-	1,25	1,25	-

Sumber: Hasil Perhitungan

Unit pengolahan alternatif 1 dapat menghasilkan persentase removal yang dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10.
Persentase Removal Unit Alternatif 1

Unit	Parameter			
	TSS	Warna	COD	BOD
Bak Equalisasi	0%	0%	0%	0%
Bak Pengendapan Awal	9,33%	0%	23,33%	24,73%
Bak Anaerobik Biofilter	55%	45%	45%	45%
Bak Aerobik Biofilter	25%	25%	35%	35%
Bak Pengendapan Biofilter	9,33%	0%	23,33%	24,73%
Koa-Flok	67,5%	75,5%	66%	83%
BP Final	56%	0%	35%	34,5%
Karbon Aktif	0%	80%	0%	0%

Sumber: Hasil Perhitungan

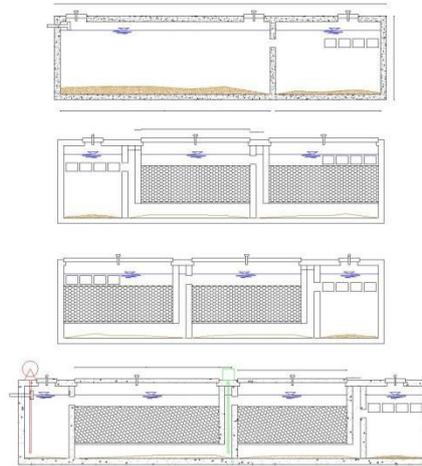
Persentase removal pada Tabel 10 dapat digunakan untuk menghitung kadar effluen dari alternatif 1. Kadar effluen alternatif 1 dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11.
Effluen Desain Alternatif 1

Parameter	Inlet	Outlet	Baku Mutu	Satuan
TSS	364	11,95	50	mg/L
Warna	130	1,97	-	PtCo
COD	2.645	104,14	150	mg/L
BOD	1.640	31,94	60	mg/L

Sumber: Hasil Perhitungan

Desain dari alternatif 1 dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar. 1. Desain Unit Biofilter Alternatif 1

4.4.2 Alternatif 2

Alternatif dua pada perencanaan ulang ini adalah menggunakan urutan unit pengolahan sebagai berikut: Bak Ekuialisasi – Bak Koagulasi-flokulasi – Bak Biofilter Tercelup Anaerobik-aerobik – Bak Pengendap Final – Karbon Aktif. Dimensi hasil perhitungan terdapat pada Tabel 12.

Tabel 12.
Effluen Desain Alternatif 2

Parameter	Bak Pengendap awal	Bak Anaerob	Bak Aerob	Bak Pengendap Akhir
Panjang bak (m)	6,2 & 3,1	4,2	5,4	1,53
Lebar bak (m)	2	2	2	2
Tinggi Bak (m)	2,5	2,5	2,5	2,5
Tinggi Media (m)	-	1,25	1,25	-

Sumber: Hasil Perhitungan

Unit pengolahan alternatif 2 dapat menghasilkan persentase removal yang dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13.
Persentase Removal Unit Alternatif 2

Unit	Parameter			
	TSS	Warna	COD	BOD
Bak Ekualisasi	0%	0%	0%	0%
Bak Koagulasi-Flokulasi	67,5%	75,5%	66%	83%
Bak Pengendapan Awal	9,33%	0%	23,3%	24,7%
Bak Anaerobik Biofilter	55%	45%	45%	45%
Bak Aerobik Biofilter	25%	25%	35%	35%
Bak Pengendapan Biofilter	9,33%	0%	23,3%	24,7%
Bak Pengendapan Final	56%	0%	0%	34,5%
Karbon Aktif	0%	80%	0%	0%

Sumber: Hasil Perhitungan

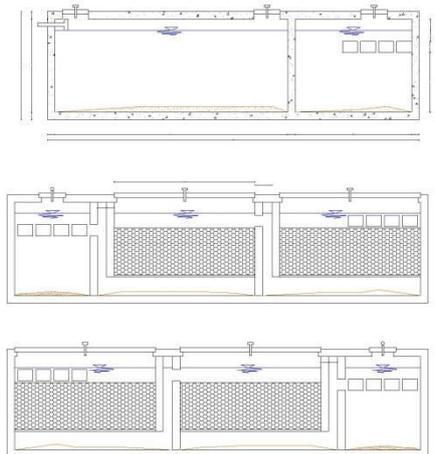
Persentase removal pada Tabel 13 dapat digunakan untuk menghitung kadar effluen dari alternatif 2. Kadar effluen alternatif 2 dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14.
Effluen Desain Alternatif 2

Parameter	Inlet	Outlet	Baku Mutu	Satuan
TSS	364	15,93	50	mg/L
Warna	130	6,33	-	PtCo
COD	2.645	29,05	150	mg/L
BOD	1.640	2,99	60	mg/L

Sumber: Hasil Perhitungan

Desain alternatif 2 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar. 2. Desain Unit Biofilter Alternatif 2

4.4.3 Alternatif 3

Alternatif satu pada perencanaan ulang ini adalah menggunakan urutan unit pengolahan sebagai berikut: Bak Ekualisasi → Bak Biofilter Tercelup Anaerobik-aerobik → Bak Pengendap Final → Karbon Aktif. Dimensi hasil perhitungan terdapat pada memiliki hasil yang sama dengan desain alternatif 1 begitu juga dengan persentase removal yang dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15.
Effluen Desain Alternatif 3

Unit	Alternatif 1			
	TSS	Warna	COD	BOD
Bak Ekualisasi	0%	0%	0%	0%
BP Awal	9,33%	0%	23,33%	24,73%
Bak Anaerobik	55%	45%	89,84%	92,71%
Bak Aerobik	25%	25%	58,53%	60,29%
BP Akhir Biofilter	0%	0%	0%	0%
BP Final	52,63%	0%	0%	31,25%
Karbon Aktif	0%	80%	0%	0%

Sumber: Hasil Perhitungan

4.4.4 Unit Karbon Aktif

Karbon aktif digunakan untuk menurunkan kadar warna dalam air limbah bahan yang digunakan adalah arang kelapa. Karbon aktif yang diperlukan adalah sebesar 759,38 kg.

4.5 Rancangan Anggaran Biaya

Rancangan anggaran biaya dalam perencanaan ulang terdiri dari dua jenis yaitu biaya investasi dan biaya operasional. Biaya investasi adalah biaya yang diperlukan untuk membangun unit IPAL yang direncanakan. Biaya operasi adalah biaya yang dibutuhkan untuk menjalankan IPAL setelah dibangun. Rancangan Anggaran Biaya dari kedua alternatif desain yang terpilih dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13.
Rancangan Anggaran Biaya

Unit	Alternatif 1	Alternatif 2
Bak Ekualisasi	Rp 88.512.430	Rp 88.512.430
Bak Pengendap Awal	Rp 82.314.539	Rp 80.562.532
Biofilter	Rp 506.748.015	Rp 497.640.389
Bak Pengendap Akhir	Rp 88.512.430	Rp 88.512.430
Adsorpsi	Rp 37.947.899	Rp 37.947.899
Diffuser	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000
Filter Press	Rp 150.000.000	Rp 150.000.000
Total	Rp 804.035.312	Rp 793.175.680

Sumber: Hasil Perhitungan

5. Kesimpulan

- Unit IPAL industri tekstil Z yang tidak berfungsi dengan baik adalah semua unit. Hal ini berdasarkan hasil perhitungan bahwa unit yang digunakan dalam sistem IPAL eksisting tidak sesuai dengan kriteria desain sehingga efektivitas dalam menghilangkan parameter pencemar tidak maksimal.
- Limbah yang dihasilkan sistem IPAL eksisting dengan sistem IPAL eksisting tidak memenuhi baku mutu karena memiliki kadar TSS, COD, BOD, dan warna secara berurutan sebesar 52,05 mg/L; 899,3 mg/L; 182,61 mg/L; dan 31,85 PtCo.
- Rekomendasi dari hasil evaluasi adalah melakukan perencanaan ulang dengan mengganti unit tanki aerasi menggunakan unit biofilter tercelup anaerobik-aerobik karena tanki aerasi IPAL eksisting yang tidak dioperasikan dan mendapat keluhan kesulitan dalam pengoperasiannya.
- Perencanaan ulang dibuat dengan tiga alternatif yaitu:
 - Alternatif 1: Bak Ekualisasi– Bak Biofilter Tercelup Anaerobik-aerobik – Bak Koagulasi-Flokulasi – Bak Pengendap Final – Karbon Aktif
 - Alternatif 2: Bak Ekualisasi – Bak Koagulasi-Flokulasi – Bak Biofilter Tercelup Anaerobik-aerobik – Bak Pengendap Final – Karbon Aktif
 - Alternatif 3: Bak Ekualisasi – Bak Biofilter Tercelup Anaerobik-aerobik – Bak Pengendap Final – Karbon Aktif
- Limbah yang dihasilkan perencanaan ulang terpilih (alternatif 2) memiliki kadar TSS, COD, BOD, dan warna secara berurutan sebesar 15,93 mg/L; 29,05 mg/L; 2,99 mg/L; dan 2,63 PtCo dengan biaya investasi sebesar Rp 793.175.680.

Daftar Pustaka

- [1] N. I. Said, *Teknologi Pengolahan Limbah Cair Dengan Proses Biologis, Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri*. Samarinda: BPPT – BAPEDALDA, 2002.
- [2] M. von Sperling and C. A. Chernicharo, *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions Volume One*. London: IWA Publishing, 2005.
- [3] Metcalf and Eddy, *Wastewater Engineering Treatment And Resource Recovery. 5th edition*. New York: Mc Graw Hill, 2014.
- [4] W. A. Baraoidan, L. L. Tun, and E. Al, "A Study on the Relative Performance of Different Coagulant and the Kinetics of COD in the Treatment of a Textile Bleaching and Dyeing Industrial Wastewater.," *ASEAN J. Chem. Eng.*, vol. 7, pp. 49–60, 2007.
- [5] L. Sasse, *Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries (DEWATS)*. Jerman: Borda, 1998.