

Perencanaan IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) Menggunakan *Activated Sludge* pada Limbah Industri Non-Woven di Sidoarjo

Andhini Chindy Artika¹ dan Novirina Hendrasarie^{1*}

¹ Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”
Jawa Timur

*Correspondence author: novirina@upnjatim.ac.id

Received: 21 January 2025; Accepted: 17 February 2025; Published: 31 May 2025

Abstract

The rapid development of the non-woven industry in Indonesia has contributed significantly to economic growth by providing high-quality products. However, this growth poses environmental challenges, especially in wastewater management. It comprehensively analyses wastewater characteristics, including chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD), and total suspended solids (TSS), which are critical for evaluating the effectiveness of wastewater treatment systems. This research emphasises the design of an activated sludge system for wastewater treatment, aiming to improve the effluent quality to meet environmental standards. The methodology includes a literature review and data collection from primary and secondary sources, ensuring a robust framework for planning wastewater treatment plants. The planning shows that the proposed system not only complies with environmental regulations but also promotes sustainability, minimising ecological impacts on surrounding water bodies, such as the Brantas River.

Keywords: Environmental Quality Standards; Industrial Wastewater; Non-Woven Sector; Sustainability; Wastewater Treatment Plant.

Abstrak

Pesatnya perkembangan industri non-woven di Indonesia telah memberikan kontribusi signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi dengan menyediakan produk-produk berkualitas tinggi. Namun, pertumbuhan ini menimbulkan tantangan lingkungan, terutama dalam pengelolaan air limbah. Perencanaan ini menganalisis komprehensif karakteristik air limbah, termasuk kebutuhan oksigen kimia (COD), kebutuhan oksigen biologis (BOD), dan padatan tersuspensi total (TSS), yang sangat penting untuk mengevaluasi efektivitas sistem pengolahan air limbah. Penelitian ini menekankan desain sistem lumpur aktif untuk pengolahan air limbah, yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas limbah untuk memenuhi standar lingkungan. Metodologi ini mencakup tinjauan literatur dan pengumpulan data dari sumber primer dan sekunder, memastikan kerangka kerja yang kuat untuk merencanakan instalasi pengolahan air limbah. Perencanaan menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan tidak hanya sesuai dengan peraturan lingkungan tetapi juga mempromosikan keberlanjutan, meminimalkan dampak ekologis pada badan air di sekitarnya, seperti Sungai Brantas.

Kata kunci: Air Limbah Industri; Baku Mutu Lingkungan; IPAL; Keberlanjutan; Sektor Non-Woven.

1. Pendahuluan

Pertumbuhan industri di Indonesia tercatat sebagai negara berkembang telah meningkatkan setiap dekade belakangan ini. Industri industri non-woven termasuk sektor untuk mendukung ekonomi dan kebutuhan masyarakat karena produk yang dihasilkan berkualitas dan ramah pasar (1). Produk non-woven, seperti kain spunbond dan geotextile, memiliki berbagai aplikasi dalam bidang kesehatan, konstruksi, dan pertanian (2). Namun, perkembangan ini juga diiringi dengan munculnya berbagai tantangan lingkungan, terutama dalam hal pengelolaan air limbah.

Dalam upaya memenuhi standar lingkungan yang ditetapkan pemerintah Pasal 20 Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 mengenai penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup (3), diperlukan sistem pengolahan air limbah yang efektif dan efisien. Teknologi ini telah terbukti efektif dalam mengolah limbah cair yang mengandung bahan organik dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme aerob. Selain itu, proses ini juga memungkinkan penyesuaian terhadap fluktuasi beban limbah, sehingga cocok untuk diterapkan pada industri dengan variasi volume produksi (4).

Perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) menggunakan metode activated sludge pada limbah industri non-woven bertujuan untuk meningkatkan kualitas air limbah yang dihasilkan agar memenuhi baku mutu yang berlaku(5). Studi ini mencakup analisis karakteristik limbah cair, perancangan proses pengolahan, serta evaluasi kinerja sistem dalam mengolah parameter-parameter utama seperti chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD), total suspended solids (TSS), dan konsentrasi bahan berbahaya lainnya.

Dengan perencanaan yang tepat, diharapkan IPAL yang dirancang tidak hanya mampu memenuhi standar lingkungan, tetapi juga mendukung keberlanjutan operasional industri. Hal ini sejalan dengan prinsip pengelolaan lingkungan yang bertanggung jawab, yang menjadi salah satu pilar penting dalam pengembangan industri modern di Indonesia.

2. Metode

Adapun perencanaan yang dilakukan adalah melalui kajian literatur, dimana meliputi kajian literatur yang dilakukan dengan melakukan studi terhadap kajian teoritis (6) serta penelaahan kebijakan dan regulasi (3)(7) yang berkaitan dengan pengolahan air limbah industri dan domestik, serta referensi dari jurnal ilmiah terkait perencanaan dan pengelolaan IPAL (8). Selain itu pada tahap pengumpulan data yang melibatkan data primer dan sekunder yang diperoleh dari hasil pengukuran, pengamatan dan sumber dokumentasi yang relevan.

- Data Primer

Data primer yang digunakan adalah data yang bersumber dari hasil uji lab yang dilaksanakan oleh usaha bersangkutan. Selain itu data primer juga diperoleh melalui wawancara yang dilakukan kepada informan pada penelitian dengan topik perencanaan IPAL

- Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang tidak langsung dari sumber sebagai informasi pendukung yang dapat melengkapi analisis kebutuhan IPAL pada perusahaan non-woven ini. Data sekunder dikumpulkan melalui dokumen dan catatan yang telah tersedia sebelumnya, meliputi:

1. Volume dan Karakteristik Air Limbah: Data mengenai jenis, volume, serta karakteristik air limbah yang dihasilkan dari proses produksi industri non-woven.
2. Sistem Pengolahan Air Limbah yang Ada: Informasi terkait mekanisme pengolahan air limbah yang telah diterapkan, meliputi metode fisik, kimia, atau biologis, serta efisiensi pengolahan yang dicapai.
3. Izin Operasional IPAL: Data mengenai dokumen perizinan IPAL yang mencakup lokasi, kapasitas, dan kesesuaian dengan standar yang berlaku.
4. Regulasi Terkait:
 - Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, khususnya mengenai standar kualitas air limbah industri.
 - Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 32 Tahun 2017 untuk memastikan bahwa air yang telah diolah di IPAL memenuhi baku mutu yang aman bagi kesehatan manusia, khususnya untuk air limbah domestik yang dapat mencemari lingkungan atau berdampak pada kesehatan masyarakat.

5. Standar Pengolahan Air Limbah: Dokumen yang memuat persyaratan teknis untuk pengolahan air limbah, seperti batas parameter air buangan (COD, BOD, TSS, pH, dan lainnya) sesuai dengan regulasi yang berlaku.

3. Hasil Penelitian

3.1. Analisis Timbulan Air Limbah

Analisis timbulan air limbah di industri non-woven merupakan langkah penting untuk memahami kuantitas dan karakteristik limbah yang dihasilkan dari berbagai sumber kegiatan. Air limbah domestik, seperti dari toilet, umumnya mengandung bahan organik dan mikroorganisme yang memerlukan pengolahan biologis sebelum dilepas ke lingkungan. Limbah dari sanitasi laboratorium cenderung mengandung senyawa kimia dari proses pembersihan alat, meskipun volumenya relatif kecil. Kedua sumber ini memerlukan perhatian khusus dalam pengelolaan untuk memastikan tidak mencemari lingkungan.

Air limbah dari proses produksi, workshop, dan pencucian net cenderung lebih kompleks. Limbah dari mesin produksi sering mengandung residu bahan baku, partikel padat, dan minyak pelumas, sementara workshop menyumbang limbah dengan kandungan oli, grease, atau bahan kimia lainnya. Pencucian net menghasilkan limbah dengan kandungan deterjen, sisa bahan kimia, dan material padat (9). Debit total limbah dari berbagai sumber ini mencapai 50 m³/hari. Analisis timbulan dilakukan dengan mengukur volume limbah dari masing-masing titik secara periodik, serta mengidentifikasi kandungan polutannya. Data ini digunakan untuk merancang sistem pengolahan air limbah yang efektif, baik melalui pengolahan fisik, kimia, maupun biologis, sehingga dapat memenuhi standar baku mutu lingkungan.

Menurut PP No. 22 Tahun 2021, air limbah industri wajib memenuhi baku mutu sebelum dibuang ke badan air, dengan analisis timbulan meliputi parameter fisik, kimia, dan biologis seperti BOD, COD, TSS, kekeruhan, dan warna untuk menentukan sistem pengolahan yang efektif (3). Selain itu, sesuai Permenkes No. 32 Tahun 2017, kualitas air untuk higiene dan sanitasi juga harus diperhatikan, termasuk pengelolaan limbah toilet dan laboratorium agar tidak mencemari sumber air bersih atau membahayakan kesehatan pekerja (7). Oleh karena itu, industri non-woven perlu merancang sistem pengolahan limbah terintegrasi yang memenuhi standar lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Tabel 1 Nilai Parameter Pencemar

PARAMETER LIMBAH			
Parameter	Beban Influent (mg/L)	Baku Mutu Air Limbah (mg/L)	Peraturan
pH	8.81	6-9	PP No 22 Tahun 2021
P-Alkalinitas	113.9	80 - 200	Permenkes No 32 Tahun 2017
M-Alkalinitas	608.4	80 - 200	Permenkes No 32 Tahun 2017
Hardness	248.1	500	Permenkes No 32 Tahun 2017
Chloride ion	216.6	600	PP No 22 Tahun 2021
Total Iron	6.3	1	Permenkes No 32 Tahun 2017
Turbidity	1648.8	25	Permenkes No 32 Tahun 2017
COD	902	80	PP No 22 Tahun 2021
TSS	200	30*	Arahan KLHK menurut AMDAL perusahaan
Warna	8779.6	-	PP No 22 Tahun 2021
BOD	303	12	PP No 22 Tahun 2021
TDS	1560	2000	PP No 22 Tahun 2021

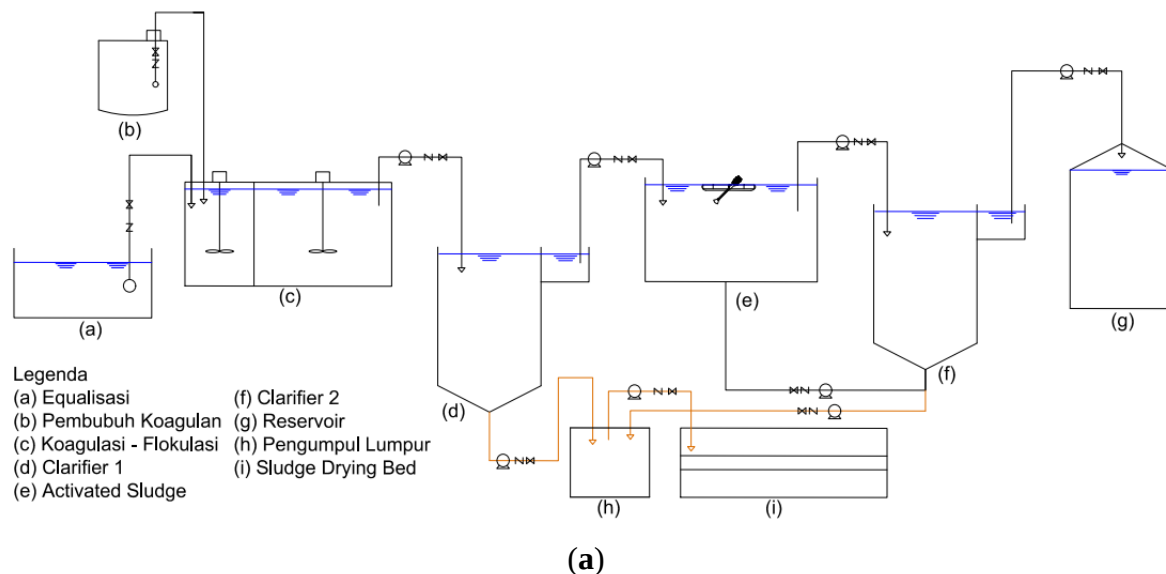
Sumber: Dokumen Perusahaan, 2024

Berdasarkan parameter pencemar di atas, air limbah yang dihasilkan dan akan diolah wajib memenuhi baku mutu sungai terdekat yang akan menjadi badan air pembuangan. Sungai Brantas merupakan sungai yang menjadi tempat pembuangan limbah setelah pengolahan. Sungai Brantas tergolong sungai kelas 4 adalah badan air yang diperuntukkan untuk pengairan pertanian, usaha peternakan, atau kegiatan lain yang membutuhkan kualitas air dengan standar paling rendah dibandingkan kelas lainnya (10).

3.2. Analisis Pengolahan Air Limbah

Limbah air yang dihasilkan proses industri harus dikelola dengan cermat untuk meminimalkan dampak buruk pada lingkungan dan memastikan kepatuhan terhadap regulasi kualitas air. Tujuan pengolahan air limbah adalah menghilangkan kandungan polutan, termasuk bahan organik, kimia dan partikel padatan terlarut, sehingga air yang diproduksi setelah pengolahan memenuhi mekanisme baku mutu (11). Analisis pengolahan air limbah memungkinkan evaluasi kinerja dari sistem pengolahan yang berlaku. Evaluasi melibatkan

pendeteksian parameter penting yang telah diperhatikan, yaitu BOD, COD, kekeruhan yang memungkinkan evaluasi jenis cara pengolahan yang diterapkan dari tahap pra pengolahan sampai pengolahan tersier.



Gambar 1. (a) Rancangan Pengolahan Air Limbah Industri Non-Woven

Pada skema rancangan tersebut menunjukkan alur proses pengolahan air limbah yang terdiri dari empat tahapan utama, yaitu *pretreatment*, *primary treatment*, *secondary treatment*, dan *tertiary treatment*. Air limbah pertama kali melalui tahap equalisasi untuk menstabilkan debit dan karakteristiknya. Selanjutnya, pada tahap *primary treatment*, air limbah diproses melalui koagulasi-flokulasi dengan penambahan PAC (*Poly Aluminium Chloride*) untuk membantu penggumpalan partikel, yang kemudian dipisahkan melalui sedimentasi. Limbah yang sudah lebih bersih kemudian masuk ke tahap *secondary treatment*, di mana proses *activated sludge* menggunakan mikroorganisme untuk menguraikan parameter pencemar seperti BOD, COD, zat besi total, alkalinitas, dan turbidity, yang diikuti oleh pemisahan lumpur aktif di unit *clarifier*. Tahap akhir, yaitu *tertiary treatment*, melibatkan pengolahan lumpur menggunakan *sludge drying bed* untuk mengurangi kadar air, sementara air bersih disimpan dalam reservoir untuk pembuangan yang aman.

3.3. Neraca Massa di Setiap Pengolahan

Untuk menilai efektivitas sistem pengolahan air limbah yang dirancang, dilakukan analisis neraca massa guna mengukur penurunan parameter pencemar pada setiap tahapan pengolahan. Analisis ini mencakup parameter fisik, kimia, dan biologis seperti BOD, COD, TSS, kekeruhan.

Neraca massa digunakan untuk membandingkan konsentrasi awal pencemar dengan hasil akhir setelah melalui pengolahan, sekaligus mengidentifikasi efisiensi masing-masing unit proses dalam sistem. Tabel berikut menyajikan data penurunan parameter limbah dari awal hingga akhir proses pengolahan untuk memastikan hasil pengolahan memenuhi standar baku mutu yang berlaku.

Tabel 2 Neraca Massa Penurunan Parameter di Setiap Pengolahan

PARAMETER LIMBAH							
Parameter	Influent (mg/L)	Equalisasi	Koagulasi - Flokulasi	Clarifier 1	Activated Sludge	Clarifier 2	Baku Mutu
pH	8.81	8.8	8.8	8.8	8.8	8.81	6 - 9
P-Alkalinitas	113.9	113.9	113.9	22.8	22.8	22.78	80 - 200
M-Alkalinitas	608.4	608.4	608.4	121.7	121.7	121.68	80 - 200
Hardness	248.1	248.1	248.1	248.1	248.1	248.1	500
Chloride ion	216.6	216.6	216.6	216.6	216.6	216.6	600
Total Iron	6.3	6.3	6.3	1.9	1.9	0.34	1
Turbidity	1648.8	1648.8	1648.8	33	33	3.792	25
COD	902	902	902	306.7	306.7	15.334	80
TSS	200	200	200.0	65	65	3.25	30*
Warna	8779.6	8779.6	8779.6	2151	2151	215.1	-
BOD	303	303	303	51.5	51.5	2.06	12
TDS	1560	1560	1560	1560	1560	1263.6	2000

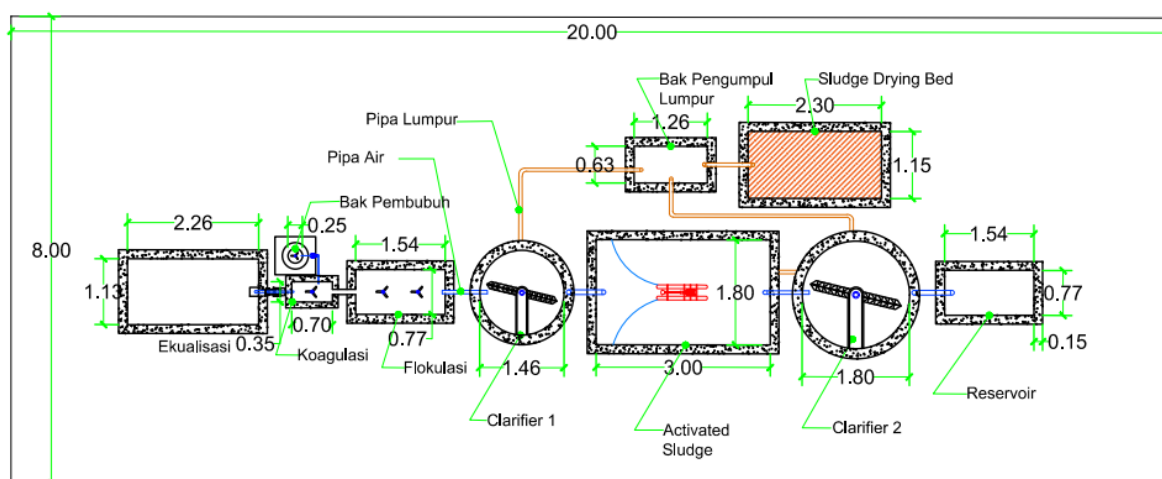
Sumber: Data Perencanaan, 2024

Neraca massa pada setiap tahap pengolahan air limbah menunjukkan efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dalam menyisihkan berbagai parameter pencemar. Pada tahap *equalisasi*, konsentrasi parameter seperti COD, BOD, dan TSS cenderung stabil karena fungsi utama tahap ini adalah menstabilkan debit dan karakteristik air limbah. Setelah proses koagulasi-flokulasi yang dilakukan pada tahap *primary treatment*, pada clarifier 1 mulai menunjukkan penyisihan parameter fisik seperti turbidity, yang menurun sebesar 97,9% (dari 1648,8 mg/L menjadi 33 mg/L)(12), dan TSS, yang berkurang sebesar 67,5% (dari 200 mg/L menjadi 65 mg/L)(13). Selain itu penurunan signifikan pada parameter organik. COD berkurang sebesar 66% (dari 902 mg/L menjadi 306,7 mg/L)(14), dan BOD turun sebesar 83% (dari 303 mg/L menjadi 51,5 mg/L)(13). Hal ini mencerminkan keberhasilan proses

sedimentasi dalam menghilangkan partikel tersuspensi dan bahan organik. Penyisihan lebih lanjut terjadi pada clarifier 2 setelah proses *biological treatment* dengan sistem *activated sludge*. Pada tahap ini, COD berkurang drastis sebesar 95% (dari 306 mg/L menjadi 15,334 mg/L)(15), dan BOD turun sebesar 96% (dari 51,5 mg/L menjadi 2,0604 mg/L)(16), keduanya telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

3.4 Rancangan Unit Pengolahan

Dalam merancang unit pengolahan air limbah industri non-woven, dipilih proses bertahap yang terdiri dari beberapa unit, mulai dari ekualisasi hingga pengolahan lumpur, yang masing-masing memiliki fungsi spesifik dalam mengolah limbah cair. Rancangan unit pengolahan ini disesuaikan dengan kapasitas pengolahan yang dibutuhkan dan luas lahan yang tersedia di perusahaan.



(a)

Gambar 2. (a) Rancangan Unit Pengolahan Air Limbah Industri Non-Woven

Unit ekualisasi berfungsi untuk menyeimbangkan variasi aliran dan konsentrasi polutan dalam limbah cair yang masuk. Proses ini penting untuk menghindari fluktuasi yang drastis dalam sistem, yang dapat mempengaruhi kinerja unit pengolahan berikutnya. Kolam ekualisasi ini dirancang dengan kapasitas 50 m³/hari dapat dirancang dengan panjang 2,26 m, lebar 1,13 m, kedalaman 2 m, dan dengan waktu tinggal 2 jam sesuai kriteria perencanaan(17).

Proses koagulasi dan flokulasi bertujuan untuk menggumpalkan partikel-partikel halus yang ada dalam limbah cair agar dapat lebih mudah diendapkan. Dalam unit ini, bahan koagulan PAC ditambahkan untuk membantu proses penggumpalan. Koagulasi dan flokulasi dilakukan selama 300 detik untuk koagulasi dan 1800 detik untuk flokulasi(18). Unit koagulasi

dirancang memiliki ukuran panjang 0,7 m, lebar 0,35 m, dan tinggi 1m. Melainkan flokulasi dirancang memiliki ukuran panjang 1,54 m, lebar 0,77 m, dan tinggi 1m. Setelah proses flokulasi, limbah cair akan mengalir ke unit sedimentasi pertama, di mana flok yang terbentuk akan mengendap. Tangki sedimentasi dirancang berbentuk *circular* dengan diameter 1,46 m dan kedalaman 3 m.

Unit activated sludge merupakan tahap inti dalam pengolahan air limbah industri non-woven. Dalam unit ini, limbah cair yang telah melalui tahap sedimentasi pertama akan diaerasi dalam reaktor selama 6 jam untuk memberikan oksigen yang cukup bagi mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam limbah cair(19). Reaktor aerasi yang digunakan dirancang untuk menampung mikroorganisme menguraikan bahan organik. Ukuran reaktor aerasi memiliki panjang 3 meter, lebar 1,8 meter, dan kedalaman sekitar 4,5 meter sesuai dengan kriteria perencanaan (17).

Setelah proses aerasi dalam unit activated sludge, limbah cair akan mengalir ke unit sedimentasi kedua untuk memisahkan lumpur aktif dari air yang telah diolah. Unit ini berfungsi untuk mengendapkan lumpur yang terbentuk selama proses biologis. Sedimentasi kedua ini biasanya memiliki dimensi yang serupa dengan unit sedimentasi pertama, dengan diameter 1,8 m dan kedalaman 3 m. Lumpur yang masih aktif akan dikembalikan ke reactor aerasi untuk membantu mikroorganisme menguraikan bahan organik.

Air yang telah melewati proses pengolahan akan masuk ke dalam unit reservoir, yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan air limbah yang sudah diolah. Reservoir ini memastikan bahwa air yang sudah dibersihkan dapat dipantau kualitasnya sebelum dibuang atau digunakan kembali. Ukuran reservoir setelah dihitung memiliki Panjang 1,54 m, lebar 0,77 m, dan kedalaman 2 m. Lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan air limbah akan diproses lebih lanjut di unit *sludge drying bed*. Unit ini memiliki Panjang 2,3 m, lebar 1,15 m, dan kedalaman 2,28 m.

Rancangan unit pengolahan ini sudah disesuaikan dengan luas lahan yang tersedia di perusahaan yakni 8 m x 20 m. Dengan mempertimbangkan kapasitas masing-masing unit dan total luas lahan yang ada, sistem ini dapat dibangun secara efisien tanpa membutuhkan lahan yang terlalu luas. Setiap unit akan ditempatkan secara strategis agar aliran limbah cair dapat berjalan dengan lancar dari satu unit ke unit berikutnya.

4. Pembahasan

Perencanaan IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) menggunakan metode *activated sludge* untuk limbah industri non-woven telah dirancang untuk meningkatkan kualitas air

limbah agar memenuhi standar baku mutu lingkungan. Penelitian ini mengidentifikasi beberapa parameter pencemar utama, seperti BOD, COD, TSS, dan turbidity, serta menetapkan tahapan proses pengolahan yang meliputi *pretreatment*, *primary treatment*, *secondary treatment*, dan *tertiary treatment*.

Hasil analisis neraca massa menunjukkan bahwa proses pengolahan ini efektif dalam menurunkan konsentrasi parameter pencemar. Proses *activated sludge* berhasil menurunkan COD hingga 95% dan BOD hingga 96%, sehingga memenuhi standar baku mutu air limbah yang ditetapkan oleh PP No. 22 Tahun 2021(13)(14). Efisiensi penyisihan parameter *turbidity* mencapai 97,9%, sementara TSS berkurang hingga 98,4%, menunjukkan keberhasilan teknologi yang diterapkan dalam merancang sistem pengolahan air limbah yang optimal (12)(13).

Efektivitas IPAL juga dapat dinilai dari efisiensi energi dan sumber daya yang digunakan. Sistem yang hemat energi dan bahan kimia, seperti penggunaan aerasi yang optimal atau bahan koagulan yang sesuai, akan meningkatkan keberlanjutan operasional (14). Selain itu, pengelolaan lumpur sisa yang efisien, seperti melalui pengeringan pada *sludge drying bed*, juga menjadi indikator penting (20). Sistem yang mampu meminimalkan volume sludge tidak hanya mengurangi dampak lingkungan tetapi juga menekan biaya transportasi dan pembuangan.

Stabilitas dan biaya operasional menjadi aspek penting lainnya. Sistem yang efektif harus mampu beradaptasi dengan fluktuasi debit dan konsentrasi polutan, terutama pada industri non-woven yang memiliki karakteristik limbah yang beragam (18). Ketahanan sistem terhadap gangguan teknis dan minimnya kebutuhan perawatan intensif menunjukkan bahwa IPAL dirancang dan dikelola dengan baik. Selain itu, biaya operasional yang terjangkau, termasuk untuk energi, bahan kimia, dan tenaga kerja, mencerminkan efisiensi sistem secara ekonomi.

Dampak lingkungan juga menjadi parameter utama dalam mengevaluasi efektivitas IPAL. Sistem pengolahan harus mampu mengurangi potensi pencemaran, seperti emisi gas berbahaya, bau, dan dampak terhadap ekosistem perairan. Selain itu, keberlanjutan dapat didukung melalui penerapan prinsip ekonomi sirkular, seperti pemanfaatan kembali air hasil olahan untuk kebutuhan industri atau irigasi (21).

5. Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan metode *activated sludge* efektif dalam menurunkan konsentrasi parameter pencemar utama, seperti BOD, COD, TSS, dan *turbidity*, sehingga memenuhi baku mutu air limbah sesuai regulasi yang berlaku. Sistem pengolahan yang dirancang telah

mempertimbangkan efisiensi teknologi, keberlanjutan, dan keterbatasan lahan, menjadikannya solusi yang dapat diimplementasikan untuk mendukung keberlanjutan operasional industri non-woven. Penerapan sistem ini tidak hanya dapat memenuhi standar lingkungan, tetapi juga berkontribusi pada perlindungan ekosistem Sungai Brantas dan kesehatan masyarakat sekitar. Untuk implementasi yang sukses, diperlukan komitmen perusahaan dalam menjalankan pemantauan dan evaluasi kinerja IPAL.

Daftar Pustaka

1. Khalish M, Utami A, Lukito H, Herlambang S. Evaluation of Textile Industry Wastewater Treatment as an Effort to Control River Water Pollution in Central Java. *KnE Life Sci.* 2022;2022:48–61.
2. Firmansyah IA. Efisiensi Penyisihan Kandungan Warna Dan Cod Pada Air Limbah Industri Tekstil Dengan Penggunaan Dicyandiamide-Formaldehyde Polymer. *J Ilm Sain dan Teknol.* 2023;1(1):122–33.
3. Pemerintah Republik Indonesia. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Sekr Negara Republik Indones [Internet]. 2021;1(078487A):483. Available from: <http://www.jdih.setjen.kemendagri.go.id/>
4. Sekarani FA, Hendrasarie N. Reduction of Organic Parameters in Apartment Wastewater using Sequencing Batch Reactor by adding Activated Carbon Powder. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 2020;506(1).
5. Von Sperling M. Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors. Vol. 6, *Water Intelligence Online.* 2015. 9781780402123–9781780402123 p.
6. Ong SK. Wastewater Engineering. *Environmentally Conscious Materials and Chemicals Processing.* 2007. 207–235 p.
7. Menteri Kesehatan Republik Indonesia. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum. *Peratur Menteri Kesehat Republik Indones.* 2017;1–20.
8. Qatrunada SH, Mirwan M, Kamal MF. Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik Pada Unit Pengolahan Biologis Terhadap Parameter BOD Di Industri Pakan Ternak Surabaya. *J Tek Mesin, elektro dan Inform.* 2024;3(1):223–39.

9. Hendrasarie N, Redina C. Ability of Water Lettuce (*Pistia stratiotes*) And Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) To Remove Methylene Blue Anionic Surfactant (MBAS) From Detergent Wastewater. *Nat Environ Pollut Technol.* 2023;22(4):1961–70.
10. Hendrasarie N, Swandika IDA. Resistance of Loading Loads in Surabaya River and Its Branch with Qual2KW Model. *J Phys Conf Ser.* 2020;1569(4).
11. Imeson A. Theory and application. Vol. 16, *Journal of Geography in Higher Education.* 1992. 104–105 p.
12. Kusumawati E, Rofie R, Budiman F, Setianto R. Evaluasi Kinerja Operasi Unit Koagulasi Flokulasi Dalam Sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah. 2024;IX(4):10883–9.
13. Muzakky A, Karnaningroem N, Razif M, Lingkungan JT, Teknik F. 18049-43846-1-Pb. 2016;5(2).
14. Rusydi AF, Suherman D, Sumawijaya N. Pengolahan Air Limbah Tekstil Melalui Proses Koagulasi-Flokulasi dengan Menggunakan Lempung Sebagai Penyumbang Partikel Tersuspensi. *Arena Tekst.* 2017;31(2):105–14.
15. Dimane F, El Hammoudani Y. Assessment of quality and potential reuse of wastewater treated with conventional activated sludge. *Mater Today Proc [Internet].* 2021;45:7742–6. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.428>
16. Karami N, Mohammadi P, Zinatizadeh A, Falahi F, Aghamohammadi N. High rate treatment of hospital wastewater using activated sludge process induced by high-frequency ultrasound. *Ultrason Sonochem [Internet].* 2018;46:89–98. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.04.009>
17. Reynolds TD, Richards PA. Unit operation and process in environmental engineering [Internet]. Wadsworth, CA. 1982. p. 798. Available from: http://books.google.ca/books/about/Unit_Operations_and_Processes_in_Environ.html?id=9oViQgAACAAJ&pgis=1
18. kawamura. Cost Estimating Manual for Projects [Internet]. Washington Departement of Transportation. 2008. Available from: <https://www.wsdot.wa.gov/publications/manuals/fulltext/M3034/EstimatingGuidelines.pdf>
19. Adams CE, Donald JFu, Joseph BAFu L, Jerry BFu, Robert LBFu, Don DBFu, et al. *Wastewater Treatment.* 1999;

20. Brix H. Sludge dewatering and mineralization in sludge treatment reed beds. Water (Switzerland). 2017;9(3).
21. Sianipar R, Brata B, Yurike Y. Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Rawas Pada Segmen PT. Kirana Windu Di Kecamatan Rawas Ulu Kabupaten Musi Rawas Utara. Nat J Penelit Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkung. 2024;13(1):14–21.