
REVIEW JURNAL PENGELOLAAN LIMBAH CAIR DI INDUSTRI FARMASI

Oleh

Raudatul Jannah¹, Laila Manada², Nor Latifah³

^{1,2,3}Universitas Muhammadiyah Banjarmasin, Barito Kuala, Kalimantan Selatan

E-mail: ¹rdtljannah100@gmail.com, ²lailacantik3105@gmail.com

Article History:

Received: 25-04-2025

Revised: 06-05-2025

Accepted: 28-05-2025

Keywords:

Limbah Cair, Industri
Farmasi, Pengelolaan
Limbah, Limbah Farmasi,
Teknologi AOP

Abstract: Limbah cair yang dihasilkan oleh industri farmasi mengandung senyawa aktif farmasi (PhACs) serta parameter pencemar seperti Chemical Oxygen Demand (COD) dan Biological Oxygen Demand (BOD), yang bersifat persisten dan sulit terdegradasi secara alami, sehingga berpotensi mencemari lingkungan perairan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji berbagai strategi dan teknologi pengolahan limbah cair di industri farmasi serta mengevaluasi efektivitasnya dalam menurunkan beban pencemar. Kajian ini menggunakan pendekatan studi pustaka terhadap literatur ilmiah dan dokumen resmi yang relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa teknologi pengolahan seperti kombinasi proses anaerobik-aerobik, sistem biofilter, koagulasi-flokulasi, serta metode reagen Fenton dan Advanced Oxidation Processes (AOPs) memiliki potensi tinggi dalam menurunkan kadar polutan. Wetland buatan juga terbukti efektif dan ramah lingkungan. Namun demikian, implementasi teknologi ini masih menghadapi tantangan, termasuk keterbatasan infrastruktur, biaya operasional yang tinggi, serta belum adanya regulasi spesifik terkait PhACs di Indonesia. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pengelolaan limbah yang terintegrasi, didukung oleh kebijakan yang adaptif serta adopsi teknologi yang berkelanjutan guna menjamin perlindungan lingkungan dan kesehatan masyarakat

PENDAHULUAN

Industri farmasi merupakan sektor strategis dalam pembangunan kesehatan nasional yang mengalami pertumbuhan signifikan di Indonesia. Namun, aktivitas produksi dalam industri ini menghasilkan berbagai jenis limbah, termasuk limbah cair yang mengandung senyawa aktif farmasi (PhACs), bahan kimia organik, serta parameter pencemar seperti Chemical Oxygen Demand (COD) dan Biological Oxygen Demand (BOD), yang apabila tidak dikelola dengan baik dapat mencemari lingkungan perairan (Meirdana dan Utomo 2021).

Pengelolaan limbah cair di industri farmasi menghadapi tantangan kompleks, terutama dalam memenuhi baku mutu lingkungan yang ditetapkan oleh peraturan perundang-

undangan. Studi menunjukkan bahwa meskipun sebagian besar parameter limbah cair telah memenuhi standar kualitas selama tiga tahun berturut-turut, nilai COD masih melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh regulasi lingkungan hidup (Meirdana dan Utomo 2021).

Berbagai teknologi telah diterapkan untuk mengolah limbah cair industri farmasi, termasuk kombinasi proses anaerobik-aerobik dan penggunaan reagen kimia seperti Fenton. Penelitian menunjukkan bahwa kombinasi proses anaerobik-aerobik mampu menurunkan COD hingga 88–90%, lebih efektif dibandingkan dengan penggunaan reagen Fenton yang hanya menurunkan COD sebesar 44,8% (Yuliasni, Pratiwi, dan Handayani 2020). Selain itu, teknologi biofilter anaerobik-aerobik dengan penambahan koagulan seperti PAC juga terbukti efektif dalam menurunkan BOD dan COD hingga 95%, serta tahan terhadap fluktuasi jumlah dan konsentrasi air limbah (Suhariyono dan Asmoro 2015).

Meskipun berbagai teknologi telah dikembangkan, pengelolaan limbah cair di industri farmasi masih menghadapi kendala, terutama terkait keberadaan senyawa aktif farmasi yang sulit terdegradasi secara biologis. Dalam hal ini, penting untuk melakukan penelitian lanjutan guna mengidentifikasi senyawa pencemar dalam limbah cair medis dan mengembangkan sistem pengolahan yang efisien. Indonesia juga belum memiliki regulasi khusus terkait PhACs dalam limbah cair, yang menjadikan isu ini semakin mendesak untuk ditangani (Razansyah dan Syafila 2022).

Di tingkat global, pengelolaan limbah farmasi juga menjadi perhatian penting karena ketidakteraturan dalam praktik pembuangan dapat mengakibatkan kontaminasi lingkungan yang luas. Sebagaimana dikemukakan oleh Alnahas et al. (2020), praktik pembuangan limbah farmasi yang tidak sesuai standar, seperti pembuangan ke tempat sampah domestik atau sistem saluran air umum, masih sering ditemukan di berbagai negara, baik negara berkembang maupun maju. Hal ini menunjukkan bahwa persoalan limbah farmasi adalah isu lintas negara yang membutuhkan pendekatan komprehensif dan sistematis (Alnahas et al. 2020).

Khusus di Indonesia, pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) dari industri farmasi belum dilakukan secara optimal. Studi Azzahra dan Saptarini (2021) menemukan bahwa masih terdapat ketidaksesuaian dalam sistem pengelolaan limbah B3 di beberapa fasilitas produksi farmasi, baik dari aspek penyimpanan, pelabelan, hingga transportasi limbah. Kurangnya pemahaman tenaga kerja terhadap prinsip 3R (reduce, reuse, recycle) serta keterbatasan infrastruktur pengolahan menjadi hambatan utama dalam pengelolaan limbah secara berkelanjutan (Azzahra dan Saptarini 2021).

Lebih lanjut, keberadaan industri farmasi di wilayah padat penduduk seperti kawasan industri di Jawa Barat, DKI Jakarta, dan Banten menambah kompleksitas persoalan. Sebagian besar industri farmasi di Indonesia terletak dekat dengan badan air seperti sungai atau kanal yang juga dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar. Ketidakefisienan dalam pengelolaan limbah cair dapat berkontribusi terhadap pencemaran air sungai yang berimplikasi langsung pada kesehatan masyarakat dan ekosistem lokal (Badan POM RI 2020).

Pemerintah Indonesia, melalui Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), telah menetapkan baku mutu air limbah industri melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014, namun implementasinya di lapangan masih menghadapi berbagai kendala teknis dan finansial. Banyak instalasi pengolahan air limbah

(IPAL) di industri berskala kecil dan menengah yang belum memenuhi standar operasional dan perawatan, sehingga efisiensinya rendah dan tidak mampu mengolah senyawa kompleks dalam limbah farmasi (KLHK 2021).

Oleh karena itu, diperlukan kajian komprehensif terhadap strategi pengelolaan limbah cair di industri farmasi, termasuk evaluasi efektivitas teknologi pengolahan yang ada dan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan. Kajian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman mendalam mengenai tantangan dan solusi dalam pengelolaan limbah cair industri farmasi, serta mendorong penerapan teknologi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

LANDASAN TEORI

1. Pengertian Limbah Cair Farmasi

Limbah cair farmasi merupakan buangan hasil proses produksi yang berasal dari kegiatan industri farmasi, baik dalam bentuk senyawa kimia organik, senyawa aktif farmasi (Pharmaceutical Active Compounds/PhACs), maupun parameter pencemar seperti Chemical Oxygen Demand (COD) dan Biological Oxygen Demand (BOD). Limbah ini dikategorikan sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) karena berpotensi mencemari lingkungan perairan serta membahayakan kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya apabila tidak ditangani secara tepat (Azzahra dan Saptarini 2021).

2. Sifat dan Dampak Limbah Cair Farmasi

Limbah cair dari industri farmasi bersifat kompleks dan sering kali mengandung senyawa persisten yang sulit terurai secara alami dalam sistem perairan. Keberadaan PhACs dalam air limbah telah terbukti menimbulkan gangguan hormonal pada biota perairan dan menyebabkan resistensi antibiotik di lingkungan (Alnahas et al. 2020). Peningkatan konsentrasi COD dan BOD dalam limbah juga berdampak pada penurunan kualitas oksigen terlarut di perairan yang dapat menyebabkan kematian organisme akuatik (Razansyah dan Syafila 2022).

3. Pengelolaan Limbah Cair

Pengelolaan limbah cair industri mengacu pada prinsip *waste hierarchy* atau hierarki pengelolaan limbah, yang meliputi upaya pencegahan, pengurangan, penggunaan kembali (reuse), daur ulang (recycle), pengolahan, hingga pembuangan akhir. Dalam konteks limbah B3 seperti yang dihasilkan industri farmasi, pendekatan yang umum digunakan adalah melalui sistem pengolahan fisik, kimia, dan biologis, dengan fokus utama pada penurunan beban pencemar hingga memenuhi baku mutu air limbah yang ditetapkan pemerintah (Meirdana dan Utomo 2021).

4. Sistem Pengelolaan Berkelanjutan

Pengelolaan limbah yang berkelanjutan tidak hanya mencakup aspek teknis pengolahan, tetapi juga memerlukan sistem manajemen yang baik. Teori sistem pengelolaan lingkungan (Environmental Management System/EMS) seperti ISO 14001 menekankan pentingnya komitmen manajemen, pelatihan karyawan, evaluasi risiko, dan perbaikan berkelanjutan dalam menangani limbah industri. Pendekatan sistemik ini menjadi penting dalam konteks industri farmasi yang

menghasilkan limbah kompleks dan berisiko tinggi (Alnahas et al. 2020).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kajian pustaka (literature review) sebagai pendekatan utama untuk mengkaji isu pengelolaan limbah padat di industri farmasi. Pendekatan ini dipilih karena mampu menyajikan analisis yang komprehensif berdasarkan integrasi berbagai sumber ilmiah yang telah tersedia, sehingga memungkinkan pemahaman yang mendalam terhadap dinamika permasalahan yang dibahas. Kajian pustaka juga memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi tren penelitian, kesenjangan pengetahuan, serta praktik terbaik yang telah diterapkan di berbagai konteks.

Sumber data dalam kajian ini diperoleh dari beragam publikasi ilmiah dan dokumen resmi, seperti artikel jurnal terindeks Scopus atau SINTA, prosiding konferensi ilmiah, buku teks akademik, serta peraturan dan laporan resmi dari lembaga pemerintah atau organisasi lingkungan dan kesehatan, baik nasional maupun internasional. Literatur yang dipilih diseleksi berdasarkan kriteria relevansi terhadap topik penelitian, kredibilitas sumber, keterkinian, dan ketercakupan informasi untuk memastikan bahwa data yang dihimpun mencerminkan kondisi terkini serta dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Fokus dari kajian pustaka ini mencakup strategi pengelolaan limbah cair, termasuk penerapan teknologi fisik, kimia, dan biologis dalam pengolahan air limbah, seperti proses anaerobik-aerobik, sistem biofilter, koagulasi-flokulasi, reagen Fenton, serta metode lanjutan seperti Advanced Oxidation Processes (AOPs). Selain itu, aspek regulasi, efektivitas sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), serta tantangan dalam penerapan di lapangan juga menjadi bagian penting dari analisis.

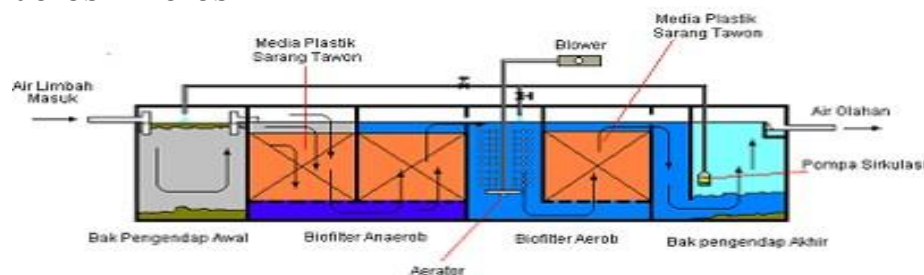
Melalui analisis terhadap berbagai pendekatan dan teknologi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan setiap metode, menilai implikasi lingkungan dan kesehatan, serta memberikan rekomendasi strategis untuk peningkatan efektivitas pengelolaan limbah cair industri farmasi di Indonesia.

Hasil dari kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis dan praktis, serta menjadi dasar bagi pengambilan keputusan dalam perumusan kebijakan lingkungan yang lebih adaptif dan berkelanjutan, sekaligus mendorong adopsi teknologi ramah lingkungan di sektor industri farmasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengelolaan Limbah Industri Farmasi dalam Bentuk Cair

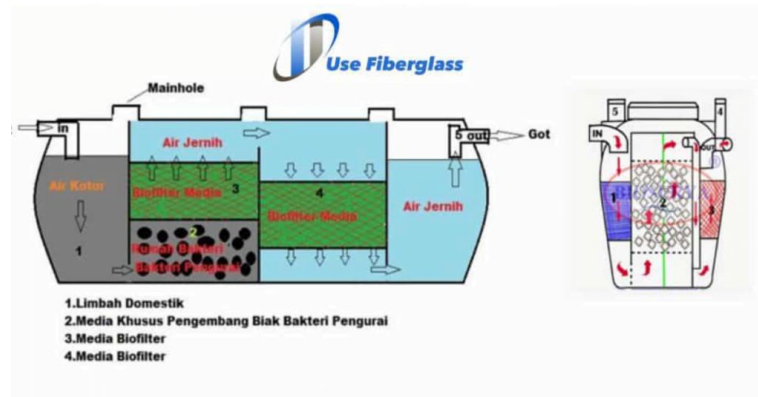
1. Proses Anaerobik-Aerobik



Gambar 1. Proses Anaerobik-Aerobik

Proses pengolahan limbah cair secara anaerobik dan aerobik merupakan pendekatan biologis yang memanfaatkan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam limbah. Dalam pengolahan anaerobik, mikroorganisme bekerja tanpa kehadiran oksigen untuk memecah bahan organik kompleks menjadi produk yang lebih sederhana seperti metana dan karbon dioksida, serta menghasilkan lumpur yang lebih sedikit dibandingkan dengan proses aerobik. Sebaliknya, pengolahan aerobik melibatkan mikroorganisme yang membutuhkan oksigen untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbon dioksida, air, dan biomassa seluler. Kombinasi dari kedua proses ini sering digunakan untuk meningkatkan efisiensi pengolahan limbah, di mana pengolahan anaerobik digunakan sebagai tahap awal untuk mengurangi beban organik tinggi, diikuti oleh pengolahan aerobik untuk penyisihan lebih lanjut dan peningkatan kualitas efluen. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pengolahan tetapi juga dapat menghasilkan energi terbarukan dalam bentuk biogas dari proses anaerobik (Mishra et al., 2023).

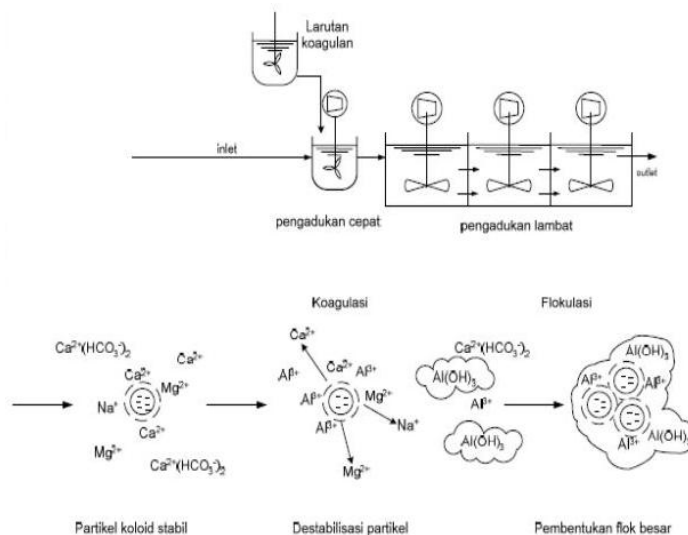
2. Sistem Biofilter



Gambar 2. Sistem Biofilter

Sistem biofilter merupakan metode pengolahan limbah cair yang memanfaatkan mikroorganisme yang tumbuh pada media tertentu untuk menguraikan polutan organik. Dalam sistem ini, air limbah dialirkan melalui media berpori seperti pasir, kerikil, plastik, atau keramik, yang menjadi tempat tumbuhnya biofilm—lapisan mikroorganisme yang aktif mendegradasi kontaminan. Proses ini umumnya bersifat aerobik, memerlukan oksigen untuk mendukung aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dan kurang berbahaya. Keunggulan utama dari biofiltrasi meliputi efisiensi tinggi dalam menghilangkan bahan organik, kebutuhan ruang yang relatif kecil, serta kemampuan adaptasi terhadap variasi beban limbah. Namun, tantangan seperti penyumbatan media akibat pertumbuhan biofilm yang berlebihan perlu dikelola melalui pemeliharaan rutin. Sistem biofilter telah digunakan secara luas dalam pengolahan limbah domestik dan industri, serta dalam aplikasi pengolahan air minum dan pengendalian bau (Muguirrima et al., 2024).

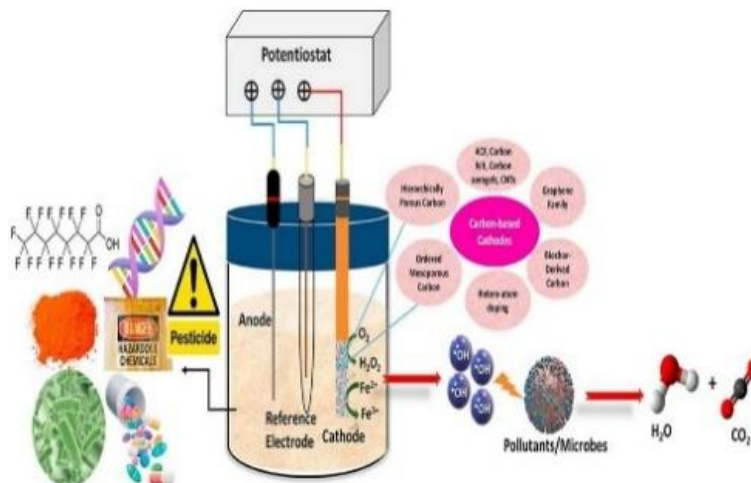
3. Koagulasi-Flokulasi



Gambar 3. Ringkasan Proses Koagulasi-Flokulasi

Koagulasi-flokulasi adalah proses penting dalam pengolahan air limbah yang bertujuan untuk menghilangkan partikel tersuspensi dan koloid melalui penambahan bahan kimia yang menyebabkan partikel-partikel tersebut menggumpal dan mengendap. Koagulasi melibatkan penambahan koagulan seperti aluminium sulfat (tawas) atau besi klorida untuk menetralkan muatan listrik partikel, sehingga memungkinkan mereka untuk saling mendekat dan membentuk gumpalan kecil. Selanjutnya, flokulasi adalah proses pengadukan lambat yang membantu partikel-partikel kecil tersebut bergabung menjadi flok yang lebih besar dan mudah mengendap. Proses ini efektif dalam mengurangi kekeruhan, warna, dan kandungan bahan organik dalam air limbah, serta sering digunakan sebagai tahap awal sebelum proses pengolahan lanjutan seperti filtrasi atau disinfeksi (El Mouhri et al., 2024).

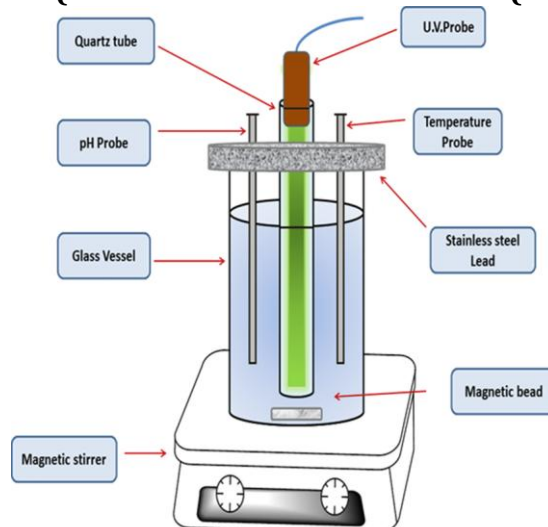
4. Reagen Fenton



Gambar 4. Gambaran Proses Pengolahan Limbah Metode Reagen Fenton

Proses Fenton merupakan metode oksidasi lanjutan (Advanced Oxidation Process/AOP) yang efektif untuk mengolah limbah cair yang mengandung senyawa organik kompleks dan sulit terurai secara biologis. Proses ini melibatkan reaksi antara hidrogen peroksida (H_2O_2) dan ion besi (Fe^{2+}) untuk menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$), yang sangat reaktif dalam mengoksidasi berbagai polutan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana atau bahkan mineralisasi total menjadi CO_2 dan H_2O . Efektivitas proses Fenton dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk pH larutan, konsentrasi H_2O_2 dan Fe^{2+} , serta waktu reaksi. Umumnya, pH optimal untuk reaksi ini berada pada kisaran 2,8 hingga 3,5, karena pada pH yang lebih tinggi, efisiensi produksi radikal hidroksil menurun akibat presipitasi ion besi. Proses Fenton telah diterapkan secara luas dalam pengolahan berbagai jenis limbah industri, seperti limbah tekstil, farmasi, dan penyamakan kulit, dengan hasil yang menunjukkan peningkatan signifikan dalam pengurangan COD, warna, dan toksisitas limbah (Ayoub M, 2022).

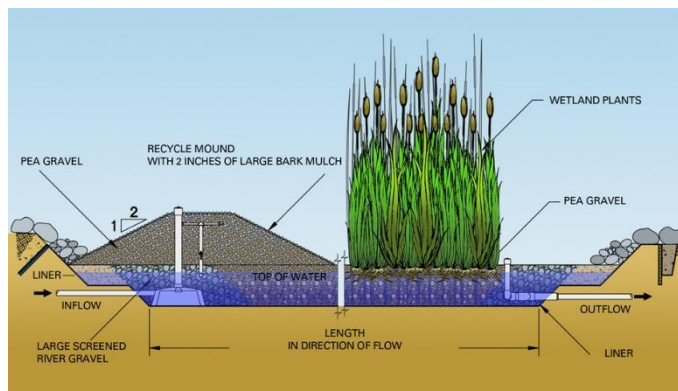
5. Proses Oksidasi Lanjutan (*Advanced Oxidation Processes (AOPs)*)



Gambar 5. Skema sistem reaktor proses oksidasi lanjutan (AOP)

Advanced Oxidation Processes (AOPs) adalah serangkaian metode pengolahan limbah cair yang memanfaatkan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) sebagai agen oksidasi kuat untuk menguraikan polutan organik kompleks yang sulit diolah secara biologis. Radikal ini dihasilkan melalui kombinasi berbagai agen pengoksidasi seperti ozon (O_3), hidrogen peroksida (H_2O_2), sinar ultraviolet (UV), atau katalis seperti titanium dioksida (TiO_2). AOPs efektif dalam menghilangkan senyawa organik persisten, termasuk pestisida, farmasetik, dan senyawa aromatik, dengan mengoksidasi mereka menjadi senyawa yang lebih sederhana atau bahkan mineralisasi total menjadi CO_2 dan H_2O . Keunggulan AOPs mencakup efisiensi tinggi dalam menghilangkan polutan, pengurangan pembentukan lumpur, dan peningkatan biodegradabilitas efluen. Namun, tantangan seperti biaya operasional yang tinggi dan kebutuhan akan kondisi operasi yang spesifik, seperti pH dan suhu, perlu dipertimbangkan dalam penerapannya (Hübner et al., 2024).

6. Wetland Buatan (*Constructed Wetlands*)



Gambar 6. Gambaran Wetland Buatan (*Constructed Wetlands*)

Wetland buatan (*constructed wetlands*) adalah sistem pengolahan limbah cair yang dirancang menyerupai ekosistem rawa alami, memanfaatkan interaksi antara tanaman air, mikroorganisme, dan media filter seperti pasir atau kerikil untuk menghilangkan polutan dari air limbah. Sistem ini efektif dalam mengurangi kandungan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor, logam berat, serta bahan organik, dengan biaya operasional yang rendah dan dampak lingkungan minimal. Di Indonesia, penerapan wetland buatan telah menunjukkan hasil yang menjanjikan. Misalnya, sebuah studi di pabrik tapioka di Sumedang menggunakan tanaman *Phragmites karka* dalam sistem wetland buatan, yang mampu menurunkan BOD₅ hingga 99,07%, COD hingga 98,99%, dan total padatan mengendap hingga 92,54%, memenuhi standar baku mutu limbah industri nasional. Selain itu, penelitian lain menunjukkan bahwa penggunaan wetland buatan untuk mengolah greywater domestik dapat menghasilkan air olahan yang memenuhi standar kualitas air limbah domestik di Indonesia, menjadikannya solusi yang layak untuk diterapkan di tingkat rumah tangga maupun komunitas (Kurniadie et al., 2018).

KESIMPULAN

Industri farmasi menghasilkan limbah cair yang kompleks dan berbahaya, mengandung senyawa organik, logam berat, dan residu obat yang sulit diuraikan secara alami. Pengelolaan limbah cair yang efektif sangat penting untuk mencegah pencemaran lingkungan dan dampak kesehatan. Berbagai teknologi telah digunakan, mulai dari proses biologis (aerobik dan anaerobik), koagulasi-flokulasi, hingga biofilter. Namun, teknologi konvensional sering kali kurang efektif dalam menguraikan polutan spesifik dari industri farmasi.

Demi mengatasi keterbatasan tersebut, teknologi lanjutan seperti reagen Fenton, Advanced Oxidation Processes (AOPs), dan wetland buatan mulai diterapkan. Teknologi-teknologi ini mampu meningkatkan efisiensi pengolahan limbah, namun masih menghadapi tantangan biaya operasional, pemeliharaan, dan penerapan di skala industri. Pada masa depan nanti, diperlukan pendekatan terpadu yang menggabungkan efisiensi teknis, keberlanjutan lingkungan, dan kepatuhan terhadap regulasi agar pengelolaan limbah cair farmasi di Indonesia menjadi lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alnahas, F., A. Abdelsalam, A. Aljaouni, and F. Almazrouei. "Pharmaceutical Waste Management: A Review of Existing Disposal Practices across the Globe." *Environmental Management* 66, no. 4 (2020): 523–535.
- [2] Azzahra, M. F., and N. Saptarini. "Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) pada Industri Farmasi." *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat* 12, no. 1 (2021): 45–52.
- [3] Ayoub, M. "Fenton Process for the Treatment of Wastewater Effluent from the Edible Oil Industry." *Water Science and Technology* 86, no. 6 (2022): 1388–1401.
- [4] Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia. *Profil Industri Farmasi di Indonesia 2020*. Jakarta: BPOM, 2020.
- [5] El Mouhri, G., I. Elmansouri, H. Amakdouf, H. Belhassan, R. Kachkoul, F. E. El Oumari, M. Merzouki, and A. Lahrichi. "Evaluating the Effectiveness of Coagulation–Flocculation Treatment on a Wastewater from the Moroccan Leather Tanning Industry: An Ecological Approach." *Heliyon* 10, no. 5 (2024).
- [6] Hübner, U., S. Spahr, H. Lutze, A. Wieland, S. Rüting, W. Gernjak, and J. Wenk. "Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment – Guidance for Systematic Future Research." *Heliyon* 10, no. 9 (2024).
- [7] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). *Laporan Kinerja Pengawasan Pengelolaan Limbah Industri 2021*. Jakarta: KLHK, 2021.
- [8] Kurniadie, D., D. Wijaya, D. Widayat, U. Umiyati, and Iskandar. "Constructed Wetland to Treat Tapioca Starch Wastewater in Indonesia." *Asian Journal of Water, Environment and Pollution* 15, no. 3 (2018): 107–113.
- [9] Meirdana, S., and S. W. Utomo. "Studi Kasus Evaluasi Penaatan Aspek Pengolahan Limbah Cair Industri Farmasi." *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan* 4, no. 3 (2021): 592–603.
- [10] Mishra, S., V. Singh, B. Ormeci, A. Hussain, L. Cheng, and K. Venkiteshwaran. "Anaerobic–Aerobic Treatment of Wastewater and Leachate: A Review of Process Integration, System Design, Performance and Associated Energy Revenue." *Journal of Environmental Management* 327 (2023).
- [11] Muguirrima, P. V. M., N. P. Chirinza, F. León Zerpa, and C. A. Mendieta Pino. "Treatment of Domestic Effluents Using Sustainable Biofilter Methods." *Desalination and Water Treatment* 317 (2024).
- [12] Razansyah, F., and M. Syafila. "Tinjauan terhadap Alternatif Sistem Pengolahan Senyawa Aktif Farmasi pada Limbah Cair Medis." *Jurnal Teknik Lingkungan* 28, no. 2 (2022): 123–134.
- [13] Suhariyono, S., and P. Asmoro. "Penggunaan Reaktor Biofilter untuk Meningkatkan Kualitas Limbah Cair di RSUD Dr. Soetomo Surabaya." *Waktu: Jurnal Teknik UNIPA* 13, no. 1 (2015): 45–52.
- [14] Yuliasni, R., N. I. Pratiwi, and N. I. Handayani. "Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Farmasi." *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri* 7, no. 1 (2020): 13–22.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN