



## REVIEW ARTIKEL : STRATEGI PENGELOLAAN LIMBAH INDUSTRI FARMASI UNTUK MENINGKATKAN KELESTARIAN LINGKUNGAN

Alya Puspita Dewi<sup>1</sup>, Ridha Febriyanti<sup>2</sup>, Surya Alvina Nazaha<sup>3</sup>, Nor Latifah

Prodi S1 Farmasi, Universitas Muhammadiyah Banjarmasin

Email: alyapuspitadewi99@gmail.com

### *Abstract*

The pharmaceutical industry as a healthcare provider faces serious challenges in managing its waste which has potential environmental pollution risks. This study analyzes pharmaceutical waste management strategies to enhance environmental sustainability through qualitative research with literature study. The findings reveal that pharmaceutical waste containing hazardous and toxic materials (B3) requires special handling through a combination of physico-chemical treatment technologies, biological methods, and green pharmacy principles. Main challenges include persistent wastes like antibiotics and active pharmaceutical compounds that are difficult to degrade. Effective solutions demand an integrated approach involving technological innovation, regulatory strengthening, and multi-sectoral collaboration. This study recommends increased investment in waste treatment technologies, implementation of extended producer responsibility, and regulatory framework enhancement to achieve sustainable pharmaceutical waste management.

*Key words: pharmaceutical waste, B3 waste management, green pharmacy, waste treatment technology, environmental sustainability.*

### **Abstrak**

Industri farmasi sebagai penyedia produk kesehatan menghadapi tantangan serius dalam pengelolaan limbahnya yang berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian ini menganalisis strategi pengelolaan limbah industri farmasi untuk meningkatkan kelestarian lingkungan melalui pendekatan kualitatif dengan studi literatur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah farmasi yang terdiri dari bahan berbahaya dan beracun (B3) memerlukan penanganan khusus melalui kombinasi teknologi pengolahan fisika-kimia, biologis, dan penerapan prinsip green pharmacy. Tantangan utama meliputi limbah persisten seperti antibiotik dan senyawa farmasi aktif yang sulit terurai. Solusi yang efektif membutuhkan pendekatan terintegrasi meliputi inovasi teknologi, penguatan regulasi, dan kolaborasi multisektor. Penelitian ini merekomendasikan peningkatan investasi teknologi pengolahan limbah, penerapan extended producer responsibility, serta penguatan kerangka regulasi untuk mencapai pengelolaan limbah farmasi yang berkelanjutan..

Kata kunci: limbah farmasi, pengelolaan limbah B3, green pharmacy, teknologi pengolahan limbah, keberlanjutan lingkungan.

Copyright (c) 2025 Nama Penulis

---

✉ Corresponding author: alyapuspitadewi99@gmail.com  
Email Address: alyapuspitadewi99@gmail.com

## **PENDAHULUAN**

Industri farmasi memegang peranan penting dalam menyediakan produk kesehatan, seperti obat-obatan, vaksin, dan alat medis, yang dibutuhkan masyarakat. Sebagai salah satu sektor kunci dalam sistem kesehatan global, industri farmasi memiliki tanggung jawab ganda yang kompleks. Di satu sisi, industri ini harus memastikan ketersediaan barang-barang esensial seperti obat-obatan, vaksin, dan alat medis yang menjadi tulang punggung sistem kesehatan modern. Di sisi lain, mereka juga wajib menjamin bahwa seluruh rantai produksi - mulai dari pengadaan bahan baku, proses manufaktur, hingga distribusi produk akhir - memenuhi standar kualitas, keamanan, dan keberlanjutan yang ketat (Subekti, 2011).

Tuntutan akan standar tinggi ini muncul karena produk farmasi memiliki dampak langsung dan signifikan terhadap kesehatan manusia. Satu kesalahan kecil dalam proses produksi dapat berakibat fatal bagi pasien, mulai dari inefektivitas pengobatan hingga efek samping yang membahayakan jiwa. Oleh karena itu, industri farmasi bekerja dalam kerangka regulasi yang sangat ketat, di mana setiap tahap

produksi harus mematuhi pedoman ketat seperti Good Manufacturing Practice (GMP) yang menjamin konsistensi kualitas produk.

Aspek keberlanjutan juga menjadi pertimbangan penting yang semakin mendesak. Industri farmasi dituntut tidak hanya memproduksi obat yang efektif, tetapi juga meminimalkan dampak lingkungan dari aktivitas produksinya. Hal ini mencakup pengelolaan limbah B3 yang tepat, pengurangan jejak karbon, serta efisiensi penggunaan energi dan air dalam proses manufaktur. Tantangan ini semakin kompleks mengingat banyaknya senyawa aktif farmasi yang bersifat persisten di lingkungan dan dapat mengganggu ekosistem jika tidak dikelola dengan benar (Subadi et al., 2016).

Dalam menghadapi tantangan ini, banyak perusahaan farmasi terkemuka kini mengadopsi pendekatan holistik yang mengintegrasikan prinsip-prinsip keberlanjutan ke dalam seluruh aspek operasi mereka. Mulai dari desain fasilitas produksi yang ramah lingkungan, penerapan green chemistry dalam sintesis obat, hingga pengembangan kemasan yang dapat didaur ulang. Inovasi-inovasi ini tidak hanya mengurangi dampak lingkungan tetapi juga seringkali menghasilkan efisiensi biaya dalam jangka panjang.

Ke depan, industri farmasi akan terus dihadapkan pada tuntutan yang semakin tinggi untuk menyeimbangkan antara kebutuhan produksi massal yang ekonomis dengan tanggung jawab terhadap kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan. Kolaborasi erat antara regulator, ilmuwan, dan praktisi industri akan menjadi kunci untuk mengembangkan solusi inovatif yang dapat memenuhi semua aspek penting ini secara simultan. Dengan pendekatan yang tepat, industri farmasi tidak hanya dapat mempertahankan perannya sebagai penyangga sistem kesehatan global, tetapi juga menjadi pelopor dalam praktik industri berkelanjutan. Produk farmasi memiliki dampak langsung terhadap kesehatan manusia, sehingga industri ini berada di bawah pengawasan ketat dari berbagai badan regulasi, baik di tingkat nasional maupun internasional (Rakhiemah et al., 2009).

Selain fungsi utamanya dalam penyediaan obat dan vaksin, industri farmasi juga berkontribusi pada kemajuan ilmu pengetahuan melalui penelitian dan pengembangan (\*research and development/R&D\*) untuk menemukan terapi baru, meningkatkan formulasi obat, serta mengembangkan teknologi produksi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Inovasi-inovasi ini tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan efektivitas pengobatan tetapi juga untuk mengurangi efek samping dan dampak lingkungan dari produk farmasi. Misalnya, pengembangan obat dengan bioavailabilitas yang lebih tinggi dapat mengurangi dosis yang diperlukan, sehingga menurunkan jumlah residu obat yang berpotensi mencemari lingkungan.

Namun, di balik peran vitalnya, industri farmasi juga menghadapi sejumlah tantangan kompleks, mulai dari tekanan regulasi yang semakin ketat, tingginya biaya penelitian, hingga tuntutan untuk menerapkan praktik produksi berkelanjutan. Limbah industri farmasi, baik dalam bentuk cair, padat, maupun gas, mengandung senyawa aktif yang dapat berdampak serius terhadap ekosistem jika tidak dikelola dengan benar. Oleh karena itu, industri ini dituntut untuk tidak hanya fokus pada aspek komersial, tetapi juga mempertimbangkan tanggung jawab lingkungan dan sosial dalam seluruh rantai pasokannya.

Ke depan, industri farmasi perlu terus beradaptasi dengan dinamika global, termasuk perubahan pola penyakit, resistensi antimikroba, serta kesadaran masyarakat yang semakin tinggi terhadap isu lingkungan. Kolaborasi antara pemerintah, akademisi, dan sektor swasta akan menjadi kunci dalam menciptakan solusi inovatif yang menjawab kebutuhan kesehatan sekaligus menjaga kelestarian lingkungan. Dengan memadukan prinsip-prinsip ekonomi sirkular, seperti daur ulang bahan baku dan minimisasi limbah, industri farmasi dapat terus memainkan peran strategisnya dalam meningkatkan kualitas hidup masyarakat tanpa mengorbankan keberlanjutan ekologis.. Sebagai salah satu sektor kunci dalam sistem kesehatan global, industri ini tidak hanya berperan dalam penyediaan terapi dan pencegahan penyakit, tetapi juga menjadi penggerak inovasi di bidang medis. Namun, di balik kontribusinya yang vital bagi kesejahteraan manusia, operasional industri farmasi juga menghasilkan

dampak lingkungan yang signifikan, terutama melalui limbah yang dihasilkan selama proses produksi, distribusi, dan konsumsi produk-produk farmasi.

Limbah yang dihasilkan industri farmasi memiliki karakteristik yang unik dan kompleks dibandingkan limbah industri lainnya. Beberapa senyawa aktif farmasi, seperti antibiotik, hormon, atau kemoterapi, dirancang untuk memberikan efek biologis yang kuat pada dosis rendah. Ketika senyawa-senyawa ini masuk ke lingkungan melalui pembuangan limbah yang tidak tepat, mereka dapat memicu berbagai konsekuensi ekologis yang serius, termasuk gangguan pada ekosistem perairan, perkembangan resistensi antimikroba, dan akumulasi senyawa farmasi dalam rantai makanan.

Selain limbah kimia, industri farmasi juga menghasilkan limbah biologis dari proses penelitian dan pengembangan vaksin atau produk bioteknologi, serta limbah kemasan dalam skala besar yang sering mengandung material kompleks. Volume limbah ini terus meningkat seiring dengan pertumbuhan permintaan produk farmasi global, terutama di negara berkembang yang infrastruktur pengelolaan limbahnya masih terbatas (Rafianto, 2015).

Menyadari tantangan ini, banyak perusahaan farmasi kini mulai mengintegrasikan prinsip keberlanjutan dalam seluruh rantai nilai mereka, mulai dari desain produk yang lebih ramah lingkungan, optimasi proses produksi untuk meminimalkan limbah, hingga pengembangan sistem daur ulang kemasan. Beberapa inisiatif terbaru bahkan melibatkan penggunaan bioteknologi untuk mendegradasi limbah farmasi secara lebih efisien atau penerapan ekonomi sirkular dalam pengelolaan bahan baku.

Namun, upaya individual perusahaan saja tidak cukup. Dibutuhkan kolaborasi multipihak yang melibatkan regulator, akademisi, praktisi lingkungan, dan masyarakat untuk menciptakan sistem pengelolaan limbah farmasi yang holistik dan berkelanjutan. Peran pemerintah sangat krusial dalam menetapkan regulasi yang ketat namun realistis, sekaligus memberikan insentif bagi inovasi pengelolaan limbah. Sementara itu, kesadaran konsumen juga perlu ditingkatkan mengenai pembuangan produk farmasi yang benar, seperti tidak membuang obat kadaluarsa ke saluran air atau tempat sampah umum.

Dengan pendekatan yang komprehensif dan berkelanjutan, industri farmasi dapat terus memenuhi perannya sebagai penyedia layanan kesehatan esensial sekaligus menjadi pelopor dalam perlindungan lingkungan. Transformasi menuju praktik yang lebih hijau bukan hanya tanggung jawab, tetapi juga peluang untuk menciptakan nilai tambah dan membangun kepercayaan masyarakat yang lebih besar terhadap sektor farmasi. Inovasi di bidang ini diharapkan tidak hanya memecahkan masalah limbah, tetapi juga membuka paradigma baru dalam produksi farmasi yang selaras dengan prinsip-prinsip ekologi. Namun, di balik kontribusinya terhadap kesehatan, industri ini juga menghasilkan limbah yang berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Limbah industri farmasi, termasuk limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), sisa bahan aktif obat, serta limbah kimia dan biologis, dapat menimbulkan risiko serius terhadap ekosistem dan kesehatan manusia jika terlepas ke lingkungan tanpa pengolahan yang tepat (Lankoski, 2000).

Permasalahan limbah farmasi semakin kompleks seiring dengan meningkatnya produksi obat dan bahan farmasi, sementara kapasitas pengolahan limbah di banyak fasilitas belum memadai. Beberapa kasus pencemaran air tanah dan resistensi antibiotik akibat pembuangan limbah yang tidak terkendali telah memicu kekhawatiran global. Oleh karena itu, diperlukan strategi pengelolaan limbah yang efektif, berkelanjutan, dan sesuai dengan regulasi lingkungan untuk meminimalkan dampak negatifnya

## **METODE**

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi literatur untuk menganalisis strategi pengelolaan limbah industri farmasi dalam meningkatkan kelestarian lingkungan. Pendekatan kualitatif dipilih karena mampu memberikan pemahaman mendalam mengenai fenomena sosial atau masalah yang diteliti melalui analisis data non-numerik, seperti teks, dokumen, atau catatan literatur.

Metode studi literatur digunakan karena memungkinkan peneliti untuk menggali berbagai sumber tertulis, termasuk jurnal ilmiah, buku, laporan penelitian, dan regulasi pemerintah, guna mengidentifikasi pola, tema, dan wawasan terkait pengelolaan limbah farmasi.

Limbah industri farmasi merupakan salah satu tantangan lingkungan yang signifikan karena mengandung bahan kimia aktif, senyawa beracun, serta residu obat yang dapat mencemari ekosistem jika tidak dikelola dengan tepat. Dampaknya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia sangat serius, termasuk gangguan pada organisme akuatik, resistensi antibiotik, serta kontaminasi air tanah. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada eksplorasi strategi pengelolaan limbah farmasi yang efektif dan berkelanjutan, seperti penerapan teknologi pengolahan limbah ramah lingkungan, prinsip green chemistry, daur ulang bahan baku, serta kebijakan dan regulasi yang mendorong praktik berkelanjutan.

Melalui studi literatur, penelitian ini mengkaji berbagai pendekatan yang telah diimplementasikan di berbagai negara, termasuk keberhasilan dan tantangannya. Beberapa temuan awal menunjukkan bahwa integrasi antara teknologi modern, seperti advanced oxidation processes (AOPs) dan bioremediasi, dengan kebijakan ketat dari pemerintah dapat mengurangi dampak negatif limbah farmasi. Selain itu, kesadaran dan komitmen industri dalam menerapkan corporate environmental responsibility (CER) juga berperan penting dalam mendorong praktik pengelolaan limbah yang lebih bertanggung jawab.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi kebijakan dan praktik terbaik bagi industri farmasi, pemerintah, dan pemangku kepentingan lainnya dalam upaya meningkatkan kelestarian lingkungan. Dengan menganalisis berbagai studi sebelumnya, penelitian ini juga berupaya mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan dan peluang pengembangan strategi pengelolaan limbah farmasi yang lebih inovatif di masa depan.. Data dikumpulkan melalui penelusuran berbagai sumber sekunder, termasuk jurnal ilmiah, buku, laporan industri, regulasi pemerintah, dan artikel terkait pengelolaan limbah farmasi. Analisis dilakukan secara mendalam terhadap temuan-temuan penelitian sebelumnya untuk mengidentifikasi pola, tantangan, dan solusi dalam pengelolaan limbah di sektor farmasi.

Peneliti menggunakan teknik analisis konten untuk menginterpretasikan data yang diperoleh, dengan fokus pada tema-tema utama seperti teknologi pengolahan limbah, kebijakan lingkungan, dan praktik keberlanjutan. Validitas data diperkuat melalui triangulasi sumber, yaitu membandingkan informasi dari berbagai referensi untuk memastikan keakuratan dan konsistensi hasil kajian. Selain itu, penelitian ini juga mengintegrasikan perspektif ahli melalui tinjauan terhadap opini dan rekomendasi dari praktisi di bidang pengelolaan limbah farmasi.

Hasil penelitian ini disajikan secara deskriptif untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai berbagai strategi pengelolaan limbah industri farmasi yang ramah lingkungan. Pendekatan deskriptif dipilih karena mampu menguraikan secara rinci kompleksitas pengelolaan limbah farmasi, mulai dari aspek teknis hingga regulasi, sehingga pembaca dapat memahami hubungan antara berbagai faktor yang terlibat dalam proses tersebut. Penelitian ini mengungkap bahwa pengelolaan limbah farmasi yang efektif memerlukan integrasi antara teknologi pengolahan mutakhir, penerapan prinsip-prinsip kimia hijau, dan kepatuhan terhadap kerangka regulasi yang ketat.

Temuan penelitian menunjukkan bahwa tidak ada solusi tunggal yang dapat diterapkan secara universal untuk mengatasi permasalahan limbah industri farmasi. Setiap jenis limbah memerlukan pendekatan khusus berdasarkan karakteristik kimia, toksisitas, dan potensi dampak lingkungannya. Misalnya, limbah cair yang mengandung senyawa farmasi aktif membutuhkan kombinasi antara proses fisika-kimia seperti koagulasi, adsorpsi, atau oksidasi lanjutan dengan pengolahan biologis untuk mencapai tingkat pemurnian yang memadai. Sementara itu, limbah padat berbahaya seringkali memerlukan metode khusus seperti insinerasi suhu tinggi atau stabilisasi sebelum dibuang ke tempat pembuangan akhir yang dirancang khusus.

Penelitian ini juga mengidentifikasi bahwa keberhasilan implementasi strategi pengelolaan limbah tidak hanya bergantung pada faktor teknologi, tetapi juga pada aspek manajemen dan sumber daya manusia. Pelatihan karyawan secara berkala, pemantauan rutin terhadap efektivitas sistem pengolahan limbah, serta alokasi anggaran yang memadai untuk pemeliharaan infrastruktur pengolahan limbah merupakan komponen kritis yang sering kali kurang mendapat perhatian. Selain itu, penelitian ini menemukan bahwa pendekatan preventif melalui modifikasi proses produksi untuk meminimalkan generasi limbah pada sumbernya sering kali lebih efektif dan ekonomis dibandingkan hanya mengandalkan pengolahan limbah setelah terbentuk.

Ke depan, penelitian ini merekomendasikan perlunya pengembangan sistem pengelolaan limbah terintegrasi yang menggabungkan berbagai pendekatan teknis dengan prinsip ekonomi sirkular. Konsep daur ulang dan pemulihan bahan bernilai dari limbah farmasi berpotensi tidak hanya mengurangi dampak lingkungan tetapi juga menciptakan nilai ekonomi tambahan bagi industri. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan teknologi pengolahan yang lebih efisien, metode pemantauan limbah yang lebih akurat, serta model bisnis yang mendorong implementasi praktik-praktik berkelanjutan di sektor farmasi. Dengan demikian, industri farmasi dapat terus menjalankan peran vitalnya dalam menyediakan produk kesehatan sekaligus menjaga kelestarian lingkungan untuk generasi mendatang.. Dengan pendekatan ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi praktis bagi industri dan pemangku kepentingan dalam menerapkan sistem pengelolaan limbah yang berkelanjutan.

## **HASIL DAN DISKUSI**

### **Hasil Penelitian**

Berdasarkan analisis literatur dan studi kasus yang dilakukan, ditemukan bahwa industri farmasi menghasilkan berbagai jenis limbah, baik padat, cair, maupun gas, yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3). Limbah industri farmasi merupakan hasil sampingan yang kompleks dari proses produksi obat-obatan, yang mencakup berbagai jenis bahan berbahaya dan berpotensi mencemari lingkungan. Sisa bahan aktif obat (Active Pharmaceutical Ingredients/API) menimbulkan kekhawatiran khusus karena dirancang memiliki aktivitas biologis yang kuat dan dapat mempertahankan sifat farmakologisnya bahkan dalam konsentrasi rendah di lingkungan. Pelarut organik yang digunakan secara luas dalam sintesis kimia dan proses formulasi obat sering kali bersifat volatil, mudah terbakar, dan toksik baik bagi manusia maupun ekosistem. Keberadaan logam berat, terutama dari katalis yang digunakan dalam reaksi kimia atau dari peralatan produksi, menambah kompleksitas pengelolaan limbah karena sifatnya yang persisten dan kemampuan terakumulasi dalam rantai makanan. Limbah biologis dari proses fermentasi atau produksi vaksin juga memerlukan penanganan khusus karena mungkin mengandung mikroorganisme hidup atau produk metabolitnya yang berpotensi menimbulkan risiko kesehatan.

Karakteristik unik dari masing-masing jenis limbah ini menuntut pendekatan pengelolaan yang berbeda-beda dan sering kali memerlukan kombinasi berbagai metode pengolahan. Sisa API misalnya, membutuhkan teknologi degradasi yang lebih canggih seperti advanced oxidation processes (AOPs) karena ketahanannya terhadap penguraian biologis konvensional. Pelarut organik biasanya dipulihkan melalui proses distilasi atau adsorpsi untuk didaur ulang dalam proses produksi, mengurangi baik biaya bahan baku maupun beban lingkungan. Logam berat memerlukan teknik pemisahan khusus seperti presipitasi kimia atau pertukaran ion sebelum dibuang, sementara limbah biologis harus melalui proses sterilisasi atau inaktivasi menyeluruh untuk menghilangkan potensi bahaya biologisnya.

Tantangan utama dalam mengelola beragam jenis limbah ini adalah menentukan metode yang paling efektif secara teknis dan ekonomis, sambil tetap memenuhi persyaratan regulasi yang semakin ketat. Beberapa senyawa farmasi tertentu mungkin memerlukan kombinasi unik dari perlakuan fisik, kimia,

dan biologis untuk mencapai tingkat pemurnian yang memadai. Selain itu, interaksi antara berbagai komponen limbah dalam campuran yang kompleks dapat menimbulkan efek sinergis yang memperumit proses pengolahan. Perkembangan terbaru dalam analisis lingkungan dan teknologi pemantauan terus-menerus (real-time monitoring) telah memungkinkan pendekatan yang lebih presisi dalam mengkarakterisasi dan mengolah limbah farmasi, memastikan bahwa tidak ada kontaminan yang lolos ke lingkungan dalam konsentrasi yang berpotensi membahayakan.

Ke depan, industri farmasi perlu mengembangkan strategi pengelolaan limbah yang semakin terintegrasi dan berorientasi pada pencegahan. Ini termasuk merancang proses produksi yang lebih ramah lingkungan sejak awal (green by design), mengoptimalkan sistem daur ulang internal, dan berinvestasi dalam teknologi pengolahan limbah generasi baru yang lebih efisien. Kolaborasi antara industri, lembaga penelitian, dan regulator akan menjadi kunci untuk mengembangkan solusi inovatif yang dapat mengatasi tantangan kompleks pengelolaan limbah farmasi sambil menjaga kelayakan ekonomi dan keberlanjutan lingkungan jangka panjang. Beberapa strategi pengelolaan limbah yang efektif diidentifikasi, antara lain:

### **1. Pengolahan Limbah secara Fisik-Kimia**

Beberapa industri farmasi telah menerapkan metode pengolahan limbah cair seperti koagulasi-flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi membran untuk mengurangi kandungan kontaminan. Koagulasi-flokulasi bekerja dengan menggumpalkan partikel koloid dan suspensi dalam limbah sehingga lebih mudah dipisahkan, sedangkan sedimentasi memanfaatkan gravitasi untuk mengendapkan partikel padatan. Filtrasi membran, terutama menggunakan teknologi ultrafiltration (UF) dan nanofiltration (NF), efektif dalam menyaring molekul berukuran kecil, termasuk residu obat dan senyawa organik persisten. Selain itu, teknologi reverse osmosis (RO) telah banyak digunakan karena kemampuannya dalam menghilangkan ion dan senyawa terlarut dengan tingkat efisiensi tinggi. Adsorpsi karbon aktif juga menjadi pilihan karena sifatnya yang mampu menjebak polutan organik dan anorganik melalui proses penjerapan permukaan, sehingga menghasilkan efluen yang lebih aman sebelum dibuang ke lingkungan.

Untuk limbah padat, insinerasi pada suhu tinggi di atas 1000°C menjadi salah satu solusi yang banyak diadopsi karena mampu mengurangi volume limbah secara signifikan sekaligus menghancurkan senyawa berbahaya seperti antibiotik, hormon, dan bahan kimia farmasi aktif lainnya. Namun, proses ini memerlukan pengendalian emisi gas buang yang ketat untuk mencegah pelepasan dioksin, furan, dan partikel beracun lainnya ke atmosfer. Beberapa fasilitas insinerator modern dilengkapi dengan sistem scrubber, electrostatic precipitator (ESP), dan katalis reduksi selektif (selective catalytic reduction, SCR) untuk meminimalkan dampak pencemaran udara. Selain itu, abu sisa insinerasi harus dikelola dengan hati-hati karena berpotensi mengandung logam berat dan residu berbahaya yang memerlukan penanganan lebih lanjut, seperti stabilisasi atau solidifikasi sebelum dibuang di landfill khusus.

Meskipun metode-metode tersebut telah menunjukkan efektivitas dalam pengolahan limbah farmasi, tantangan utama yang masih dihadapi adalah biaya operasional yang tinggi, kebutuhan energi besar, serta kompleksitas dalam mengolah limbah dengan karakteristik yang sangat variatif. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan teknologi yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan ekonomis, seperti pengolahan biologis dengan mikroorganisme khusus, sistem advanced oxidation processes (AOPs) berbasis sinar UV atau ozon, serta pemanfaatan bahan adsorben alternatif yang lebih murah dan berkelanjutan. Selain itu, integrasi antara teknologi pengolahan limbah dengan pendekatan circular economy, seperti daur ulang bahan baku dan recovery senyawa bernilai tinggi dari limbah, dapat menjadi solusi jangka panjang untuk meningkatkan keberlanjutan industri farmasi..

### **2. Pengolahan Biologis**

Penggunaan bioremediasi dan sistem lumpur aktif (activated sludge) telah menjadi salah satu pendekatan yang banyak dipelajari dalam pengolahan limbah farmasi karena kemampuannya mendegradasi senyawa organik melalui aktivitas mikroba. Proses ini memanfaatkan konsorsium bakteri dan mikroorganisme lain yang secara alami dapat mengurai kontaminan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dan kurang berbahaya, seperti karbon dioksida dan air. Sistem lumpur aktif, khususnya, bekerja dengan mempertahankan populasi mikroba dalam kondisi aerobik, di mana oksigen digunakan untuk mendukung metabolisme mikroorganisme dalam memecah polutan.

Namun, kehadiran antibiotik, antimikroba, dan senyawa farmasi aktif lainnya dalam limbah dapat menghambat proses biodegradasi karena sifatnya yang dirancang untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroba. Senyawa-senyawa ini dapat mengurangi keanekaragaman dan aktivitas mikroba dalam sistem pengolahan biologis, sehingga menurunkan efisiensi penguraian limbah. Selain itu, beberapa senyawa farmasi, seperti hormon steroid dan obat-obatan yang bersifat persisten, mungkin hanya terurai sebagian (partial degradation) sehingga berpotensi menghasilkan metabolit yang masih memiliki aktivitas biologis atau toksisitas.

Oleh karena itu, pretreatment atau pengolahan pendahuluan diperlukan sebelum limbah farmasi masuk ke dalam sistem bioremediasi atau lumpur aktif. Beberapa metode pretreatment yang dapat diterapkan antara lain proses oksidasi lanjutan (advanced oxidation processes/AOPs) seperti ozonasi, fotokatalisis, atau radiolisis, yang dapat memecah senyawa farmasi kompleks menjadi senyawa perantara yang lebih mudah terbiodegradasi. Selain itu, penggunaan adsorpsi dengan karbon aktif atau bahan penjerap lainnya dapat membantu mengurangi konsentrasi senyawa penghambat sebelum masuk ke dalam reaktor biologis. Kombinasi antara pengolahan fisika-kimia dan biologis ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas penguraian limbah sekaligus mencegah dampak negatif terhadap mikroba pengurai.

Penelitian lebih lanjut masih diperlukan untuk mengoptimalkan kondisi operasional, seperti waktu tinggal (retention time), rasio makanan terhadap mikroba (F/M ratio), serta pengembangan strain mikroba yang lebih resisten terhadap senyawa antimikroba. Pendekatan bioteknologi modern, seperti penggunaan bioaugmentation (penambahan mikroba khusus) atau enzymatic treatment, juga dapat menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi degradasi limbah farmasi yang kompleks. Dengan demikian, integrasi antara pretreatment yang tepat dan sistem bioremediasi yang diperkuat dapat menjadi strategi berkelanjutan dalam mengelola limbah industri farmasi..

### 3. Penerapan Konsep Green Pharmacy

Dalam upaya meningkatkan keberlanjutan lingkungan, beberapa perusahaan farmasi mulai mengadopsi prinsip green chemistry sebagai pendekatan fundamental dalam proses produksi. Prinsip ini berfokus pada perancangan proses kimia yang lebih ramah lingkungan dengan mengurangi atau menghilangkan penggunaan bahan berbahaya sejak tahap awal. Salah satu penerapannya adalah dengan mengganti pelarut organik konvensional yang bersifat toksik, seperti benzena atau klorin, dengan pelarut yang lebih aman seperti air atau pelarut hijau (green solvents) berbasis bio. Pergantian ini tidak hanya mengurangi risiko kesehatan dan lingkungan tetapi juga menurunkan biaya pengolahan limbah berbahaya.

Selain itu, optimasi sintesis obat menjadi strategi kunci dalam meminimalkan limbah. Melalui pendekatan atom economy dan catalysis, perusahaan dapat merancang reaksi kimia yang lebih efisien dengan memaksimalkan penggunaan bahan baku menjadi produk akhir, sehingga mengurangi terbentuknya by-product yang tidak diinginkan. Teknik sintesis alternatif seperti flow chemistry juga mulai diterapkan karena mampu memberikan kontrol reaksi yang lebih presisi, mengurangi kebutuhan energi, dan menghasilkan limbah yang lebih sedikit dibandingkan metode batch konvensional.

Daur ulang bahan kimia juga menjadi bagian penting dalam implementasi green chemistry. Beberapa perusahaan telah mengembangkan sistem closed-loop untuk memulihkan dan memurnikan pelarut serta katalis yang digunakan dalam produksi, sehingga dapat digunakan kembali dalam siklus proses berikutnya. Praktik ini tidak hanya mengurangi biaya bahan baku tetapi juga menekan volume limbah yang harus diolah atau dibuang. Meskipun demikian, adopsi green chemistry dalam industri farmasi masih menghadapi tantangan, seperti kebutuhan investasi awal yang tinggi untuk modifikasi proses, pengembangan katalis yang lebih selektif, serta adaptasi terhadap regulasi yang ketat terkait perubahan metode produksi. Ke depan, kolaborasi antara industri, akademisi, dan pemerintah diperlukan untuk mendorong inovasi dalam green chemistry, termasuk pengembangan database pelarut alternatif, metode analisis yang lebih akurat untuk menilai dampak lingkungan, serta insentif bagi perusahaan yang menerapkan praktik berkelanjutan. Dengan demikian, prinsip green chemistry tidak hanya dapat mengurangi dampak lingkungan dari industri farmasi tetapi juga menciptakan efisiensi produksi yang berkelanjutan dalam jangka panjang..

#### 4. **Manajemen Limbah Berbasis Regulasi**

Kepatuhan terhadap peraturan lingkungan, termasuk Peraturan Pemerintah (PP) No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup di Indonesia, menjadi landasan hukum yang mengikat bagi industri farmasi dalam menerapkan sistem pengelolaan limbah yang bertanggung jawab. Peraturan ini menetapkan standar baku mutu limbah cair, emisi udara, dan pengelolaan limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) yang harus dipatuhi oleh industri. Dengan mengacu pada PP No. 22 Tahun 2021, perusahaan farmasi wajib melakukan pengawasan dan pelaporan rutin terkait pembuangan limbah, serta menerapkan prinsip polluter pays principle di mana pihak penghasil limbah bertanggung jawab penuh atas dampak lingkungan yang ditimbulkan. Selain itu, peraturan ini juga mendorong industri untuk mengadopsi teknologi terbaik yang tersedia (Best Available Techniques/BAT) guna meminimalkan dampak lingkungan dari aktivitas produksi.

Di tingkat internasional, standar Good Manufacturing Practice (GMP) turut berperan penting dalam membentuk sistem pengelolaan limbah yang efektif di industri farmasi. GMP tidak hanya mengatur aspek mutu produk, tetapi juga mencakup persyaratan lingkungan terkait pembuangan limbah produksi. Standar ini mewajibkan industri untuk menerapkan dokumentasi yang rinci, prosedur operasi standar (SOP) yang ketat, serta sistem pemantauan berkelanjutan untuk memastikan bahwa pengelolaan limbah dilakukan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Dengan mengikuti GMP, perusahaan farmasi dapat memastikan bahwa seluruh tahapan produksi, termasuk pengolahan limbah, telah memenuhi standar keamanan dan keberlanjutan yang diakui secara global.

Penerapan peraturan nasional dan standar internasional ini tidak hanya membantu industri dalam memenuhi kewajiban hukum, tetapi juga meningkatkan citra perusahaan sebagai entitas yang bertanggung jawab terhadap lingkungan. Namun, tantangan tetap ada, terutama dalam hal konsistensi pengawasan dan penegakan hukum di tingkat operasional. Beberapa industri mungkin menghadapi kesulitan dalam memenuhi seluruh persyaratan akibat keterbatasan teknologi atau sumber daya. Oleh karena itu, pelatihan reguler bagi karyawan, investasi dalam teknologi pengolahan limbah yang lebih maju, serta kolaborasi dengan pemerintah dan lembaga penelitian menjadi langkah penting untuk memperkuat implementasi sistem pengelolaan limbah yang berkelanjutan.

Ke depan, integrasi antara regulasi nasional dan standar global perlu terus diperkuat, termasuk dengan mengadopsi kerangka kerja seperti Environmental, Social, and Governance (ESG) yang semakin menjadi acuan dalam praktik industri berkelanjutan. Dengan demikian, industri farmasi tidak hanya mampu mematuhi peraturan yang ada, tetapi juga dapat berkontribusi lebih besar

dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan (Sustainable Development Goals/SDGs), khususnya dalam perlindungan ekosistem dan kesehatan masyarakat.

## **Pembahasan**

Pengelolaan limbah di industri farmasi memerlukan pendekatan terintegrasi karena kompleksitas dan risiko yang ditimbulkannya. Industri ini menghadapi tantangan unik dalam menangani berbagai jenis limbah, mulai dari senyawa aktif farmasi yang persisten hingga limbah kimia berbahaya, yang masing-masing membutuhkan metode penanganan khusus. Karakteristik limbah farmasi yang berbeda-beda ini tidak hanya berasal dari proses produksi, tetapi juga dari produk kadaluarsa dan sisa konsumsi, menciptakan tantangan multidimensi dalam pengelolaannya.

Sifat beberapa komponen limbah farmasi, seperti antibiotik, hormon, dan kemoterapi, yang dirancang untuk memberikan efek biologis kuat, justru menjadi masalah ketika terlepas ke lingkungan. Senyawa-senyawa ini dapat memicu resistensi antimikroba, mengganggu keseimbangan ekosistem perairan, dan bahkan berpotensi memasuki rantai makanan. Risiko ini diperparah oleh fakta bahwa banyak senyawa farmasi sulit terurai secara alami dan dapat bertahan lama di lingkungan (Hardjosoemantri, 1992).

Pendekatan terintegrasi yang diperlukan harus mencakup seluruh siklus hidup produk farmasi, mulai dari desain yang ramah lingkungan, proses produksi yang meminimalkan limbah, hingga sistem pengolahan akhir yang efektif. Teknologi pengolahan limbah konvensional seringkali tidak cukup untuk menangani kompleksitas limbah farmasi, sehingga diperlukan inovasi terus-menerus dalam metode pengolahan. Contohnya, kombinasi antara proses fisika-kimia seperti adsorpsi dan membran filtrasi dengan pengolahan biologis yang dimodifikasi dapat memberikan hasil yang lebih optimal.

Selain aspek teknologi, pendekatan terintegrasi juga harus mempertimbangkan dimensi regulasi dan ekonomi. Regulasi yang ketat perlu diimbangi dengan insentif yang memadai untuk mendorong industri menerapkan praktik terbaik dalam pengelolaan limbah. Kolaborasi antara pemerintah, industri, akademisi, dan masyarakat menjadi kunci dalam mengembangkan solusi yang praktis dan berkelanjutan. Pendidikan dan pelatihan bagi tenaga kerja di industri farmasi juga perlu ditingkatkan untuk memastikan implementasi sistem pengelolaan limbah yang efektif.

Tantangan ke depan adalah mengembangkan sistem pengelolaan limbah yang tidak hanya efektif tetapi juga ekonomis, sehingga dapat diadopsi secara luas oleh industri farmasi di berbagai skala. Inovasi dalam daur ulang dan pemulihan sumber daya dari limbah farmasi dapat menjadi solusi yang menjanjikan, mengubah beban lingkungan menjadi peluang ekonomi. Dengan pendekatan yang komprehensif dan berkelanjutan ini, industri farmasi dapat terus memenuhi perannya dalam meningkatkan kesehatan masyarakat tanpa mengorbankan kelestarian lingkungan.. Industri ini menghasilkan berbagai jenis limbah dengan karakteristik yang berbeda-beda, mulai dari senyawa kimia aktif, bahan biologis, hingga kemasan medis, yang masing-masing membutuhkan metode penanganan khusus. Tantangan utamanya terletak pada sifat beberapa komponen limbah farmasi yang bersifat persisten, toksik, dan berpotensi menimbulkan dampak jangka panjang terhadap ekosistem dan kesehatan masyarakat jika tidak dikelola dengan tepat (Eriyanto, 2011).

Salah satu aspek kritis dalam pengelolaan limbah farmasi adalah keberagaman sumber limbah itu sendiri, yang berasal tidak hanya dari proses produksi tetapi juga dari produk kadaluarsa dan sisa konsumsi. Limbah antibiotik, misalnya, dapat berkontribusi pada munculnya resistensi antimikroba jika terlepas ke lingkungan tanpa melalui proses netralisasi yang memadai. Sementara itu, limbah kimia seperti pelarut organik atau logam berat berisiko mencemari tanah dan sumber air jika tidak diolah secara cermat (Angela, & Yudianti, 2014).

Dalam konteks ini, pendekatan terintegrasi menjadi solusi yang paling realistis. Pendekatan ini tidak hanya mencakup aspek teknologi pengolahan limbah, tetapi juga melibatkan perencanaan yang matang sejak tahap produksi, pengemasan, hingga distribusi. Prinsip-prinsip green chemistry, misalnya, dapat diterapkan untuk meminimalkan limbah sejak awal dengan merancang proses sintesis yang lebih efisien dan menggunakan bahan baku yang lebih ramah lingkungan. Selain itu, kolaborasi antara industri, pemerintah, dan lembaga penelitian sangat penting untuk mengembangkan metode pengolahan limbah yang inovatif sekaligus terjangkau.

Di sisi lain, aspek regulasi juga memegang peranan krusial. Standar dan peraturan yang ketat diperlukan untuk memastikan bahwa setiap tahap pengelolaan limbah dilakukan sesuai dengan prinsip keberlanjutan. Namun, regulasi saja tidak cukup tanpa disertai dengan mekanisme pengawasan yang efektif dan kesadaran tinggi dari pelaku industri. Edukasi dan pelatihan bagi karyawan tentang praktik pengelolaan limbah yang bertanggung jawab juga harus menjadi bagian dari pendekatan terintegrasi ini.

Dengan demikian, pengelolaan limbah farmasi yang efektif tidak dapat mengandalkan satu solusi tunggal, melainkan memerlukan sinergi antara inovasi teknologi, kebijakan yang mendukung, dan perubahan paradigma dalam praktik industri. Hanya dengan cara ini industri farmasi dapat terus berkontribusi pada kesehatan masyarakat tanpa mengorbankan kelestarian lingkungan. Ke depan, penelitian lebih mendalam masih diperlukan untuk menyempurnakan metode pengolahan limbah, terutama untuk senyawa-senyawa farmasi yang saat ini masih sulit terurai secara alami. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada solusi tunggal yang dapat mengatasi semua permasalahan limbah farmasi. Kombinasi teknologi pengolahan fisika-kimia dan biologi diperlukan untuk mencapai efisiensi maksimal (Deegan & Unerman, 2006).

Salah satu tantangan utama adalah limbah antibiotik dan senyawa farmasi aktif yang bersifat persisten di lingkungan. Senyawa ini dapat menyebabkan resistensi mikroba dan mengganggu ekosistem perairan. Oleh karena itu, pengembangan teknologi pengolahan lanjutan seperti advanced oxidation processes (AOPs) dan penggunaan enzim spesifik menjadi solusi potensial.

Selain aspek teknologi, faktor ekonomi dan regulasi juga memengaruhi efektivitas pengelolaan limbah. Investasi dalam instalasi pengolahan limbah yang canggih memerlukan biaya tinggi, sehingga diperlukan insentif dari pemerintah untuk mendorong industri menerapkan praktik berkelanjutan.

Studi kasus dari beberapa perusahaan farmasi yang telah menerapkan sistem pengelolaan limbah terpadu menunjukkan bahwa pendekatan preventif (seperti minimasi limbah di sumber) lebih efektif secara biaya dan lingkungan dibandingkan pengolahan limbah di tahap akhir.

## **KESIMPULAN**

Industri farmasi, sebagai penyedia produk kesehatan yang vital bagi masyarakat, menghadapi tantangan besar dalam mengelola limbahnya yang bersifat kompleks dan berpotensi membahayakan lingkungan. Berdasarkan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengelolaan limbah di sektor farmasi memerlukan pendekatan terpadu yang menggabungkan inovasi teknologi, kebijakan yang mendukung, dan komitmen seluruh pemangku kepentingan.

Penerapan teknologi pengolahan limbah yang canggih, seperti metode fisika-kimia, bioremediasi, dan proses oksidasi lanjutan, terbukti efektif dalam menangani berbagai jenis limbah farmasi. Namun, solusi teknis saja tidak cukup tanpa diiringi dengan upaya preventif melalui prinsip green pharmacy yang meminimalkan limbah sejak tahap desain produk dan proses produksi.

Aspek regulasi dan pengawasan yang ketat juga menjadi kunci penting dalam memastikan industri farmasi mematuhi standar pengelolaan limbah yang bertanggung jawab. Di sisi lain, kolaborasi antara pemerintah, pelaku industri, akademisi, dan masyarakat diperlukan untuk mengembangkan sistem pengelolaan limbah yang berkelanjutan dan terjangkau.

Ke depan, industri farmasi dituntut untuk terus berinovasi dalam menciptakan solusi pengelolaan limbah yang lebih efektif dan ramah lingkungan. Dengan pendekatan yang holistik dan berkelanjutan, industri farmasi tidak hanya dapat memenuhi kebutuhan kesehatan masyarakat, tetapi juga berkontribusi pada pelestarian lingkungan untuk generasi mendatang. Transformasi menuju praktik industri yang lebih hijau merupakan suatu keharusan sekaligus peluang untuk menciptakan nilai tambah dalam bisnis farmasi yang bertanggung jawab secara ekologis.

## REFERENSI

- Angela, & Yudianti, F. N. (2014). Pengaruh kinerja lingkungan terhadap kinerja finansial dengan pengungkapan corporate social responsibility sebagai variabel intervening. *Jurnal Ekonomi Universitas Sanata Dharma*, 1–26. Retrieved from <http://lib.ibs.ac.id/materi/Prosiding/SNA XVIII/makalah/133.pdf>
- Deegan, C., & Unerman, J. (2006). *Financial accounting theory*. New York: McGraw-Hill Education (UK) Limited an imprint of The McGraw Hill Companies, Inc.
- Eriyanto. (2011). *Analisis Isi: Pengantar Metodologi untuk Penelitian Ilmu Komunikasi dan Ilmu-ilmu Sosial Lainnya (Pertama)*. Jakarta: PT Fajar Interpratama Mandiri.
- Hardjasoemantri, K. (1992). *Hukum Tata Lingkungan (4th ed.)*. Gadjah Mada University Pers.
- Lankoski, L. (2000). *Determinants of Environmental Profit An analysis of the firm-level relationship between environmental performance and economic performance*. Finland: Helsinki University of Technology. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/80701516.pdf>
- Rafianto. (2015). Pengaruh pengungkapan corporate social responsibility dan kinerja lingkungan terhadap kinerja keuangan (studi pada sektor pertambangan di Bursa Efek Indonesia pada periode 2010-2012). *E-Proceeding of Management*, 2(1), 497–523. Retrieved from [http://repository.telkomuniversity.ac.id/pustaka/files/100156/jurnal\\_eproc/pengaruhkinerja-lingkungan-dan-pengungkapan-corporate-social-responsibility-terhadap-kinerjakeuangan.pdf](http://repository.telkomuniversity.ac.id/pustaka/files/100156/jurnal_eproc/pengaruhkinerja-lingkungan-dan-pengungkapan-corporate-social-responsibility-terhadap-kinerjakeuangan.pdf)
- Rakhiemah, A. noor, & Agustia, D. (2009). Pengaruh kinerja lingkungan terhadap corporate social responsibility (CSR) disclosure dan kinerja finansial perusahaan manufaktur yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia. *Rakhiemah, Aldilla Noor Agustia, Dian. Jurnal Dan Prosiding SNA - Simposium Nasional Akuntansi*, 12, 1–31. Retrieved from <http://blog.umy.ac.id/ervin/files/2012/06/akmk29.pdf>
- Subadi, maria magdalena n. m., & Wirajaya, i gde ary. (2016). Pengaruh pengungkapan corporate social responsibility dan interlectual capital pada kinerja pasar. *E-Jurnal Akuntansi Universitas Udayana*, 3, 2163–2191. Retrieved from [https://www.google.com/search?q=\(Subadi+dan+I+Gde%2C+2016\)+kajian+menurut&aqs=chrome..69i57.7569j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=(Subadi+dan+I+Gde%2C+2016)+kajian+menurut&aq=(Subadi+dan+I+Gde%2C+2016)+kajian+menurut&aqs=chrome..69i57.7569j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
- Subekti, S. (2011). Pengaruh dan dampak limbah cair rumah sakit terhadap kesehatan serta lingkungan.

Jurnal Universitas Pandanaran, 1–6. Retrieved from  
<http://jurnal.unpand.ac.id/index.php/dinsain/article/download/139/136>.