



Analisis Komparatif Metode Pengolahan Limbah Industri Farmasi Studi Kasus Nasional dan Internasional

Nurul Mas'adah^{1*}, Nur Lutfia Salim², Nor Latifah³

^{1, 2} Universitas Muhamadiyah Banjarmasin

*Email: nluthfiasalim@gmail.com

Alamat: JL gubernur Syarkawi, Semangat Dalam, Kec. Alalak, Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan 70581

Korespondensi penulis: nluthfiasalim@gmail.com

Abstract. *The pharmaceutical industry generates both liquid and solid waste containing active compounds such as antibiotics, hormones, NSAIDs, heavy metals, and organic solvents, which are classified as hazardous and toxic waste (B3) and pose risks to the environment and human health. This study aims to evaluate and compare the effectiveness of pharmaceutical waste treatment methods in Indonesia and abroad, encompassing physical, chemical, biological, and incineration approaches. The findings indicate that a combination of Advanced Oxidation Processes (AOP) with biological systems such as anaerobic-aerobic reactors provides higher efficiency in reducing Chemical Oxygen Demand (COD) and persistent pharmaceutical compounds. In Indonesia, waste management still focuses on conventional wastewater treatment plants (WWTP) with limited infrastructure and human resources, in contrast to developed countries like Germany and Switzerland, which have implemented regular risk audits, advanced treatment technologies, and harmonized standards. Therefore, Indonesia needs to integrate advanced treatment technologies, strengthen regulations, and enhance management capacity to ensure safe, efficient, and sustainable pharmaceutical waste treatment.*

Keywords: *Pharmaceutical waste, Waste treatment, Anaerobic-aerobic reactor*

Abstrak. Industri farmasi menghasilkan limbah cair dan padat yang mengandung senyawa aktif seperti antibiotik, hormon, NSAID, logam berat, dan pelarut organik yang tergolong limbah B3 dan berpotensi mencemari lingkungan serta membahayakan kesehatan. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan efektivitas metode pengolahan limbah farmasi di Indonesia dan luar negeri, meliputi pendekatan fisik, kimia, biologi, hingga insinerasi. Hasil kajian menunjukkan bahwa kombinasi metode *Advanced Oxidation Processes* (AOP) dengan sistem biologi seperti reaktor anaerob-aerob memberikan efisiensi lebih tinggi dalam menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan senyawa farmasi aktif yang resisten terhadap degradasi. Di Indonesia, pengelolaan limbah masih terfokus pada IPAL konvensional dengan keterbatasan infrastruktur dan SDM, berbeda dengan negara maju seperti Jerman dan Swiss yang telah menerapkan sistem audit risiko berkala, teknologi pengolahan mutakhir, dan harmonisasi standar. Oleh karena itu, Indonesia perlu mengintegrasikan teknologi pengolahan lanjutan, memperkuat regulasi, serta meningkatkan kapasitas pengelolaan untuk memastikan pengolahan limbah farmasi yang aman, efisien, dan berkelanjutan.

Kata kunci: Limbah farmasi, Pengolahan limbah, Reaktor anaerob-aerob

1. LATAR BELAKANG

Industri farmasi merupakan sektor utama dalam sistem kesehatan yang menghasilkan berbagai jenis obat-obatan, namun juga menghasilkan limbah industri berbahaya. Industri farmasi memiliki peran penting dalam sistem pelayanan kesehatan masyarakat, namun aktivitas produksinya turut berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan akibat limbah berbahaya dan beracun (B3) yang dihasilkannya. Limbah ini terdiri atas senyawa aktif seperti antibiotik, hormon, senyawa antiinflamasi non-steroid (NSAID), logam berat, serta pelarut organik, yang sulit terdegradasi di lingkungan dan dapat mengganggu keseimbangan ekosistem perairan serta kesehatan manusia apabila tidak ditangani dengan tepat (Kümmerer et al., 2022).

Untuk mengurangi dampak tersebut, pengolahan limbah farmasi memerlukan integrasi berbagai metode, mulai dari proses fisik dan kimia hingga teknologi biologis dan insinerasi. Negara-negara maju seperti Jerman dan Swiss telah menerapkan pendekatan holistik melalui audit lingkungan berkala dan penerapan teknologi canggih seperti *Advanced Oxidation Processes* (AOP), yang terbukti lebih efektif dalam menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan senyawa farmasi aktif yang resisten terhadap penguraian biologis (Gerrity et al., 2023). Di sisi lain, Indonesia masih mengandalkan sistem IPAL konvensional, yang belum mampu mengatasi kompleksitas karakteristik limbah farmasi secara optimal, terutama karena keterbatasan infrastruktur dan sumber daya manusia (Puspitasari et al., 2024).

Dalam menjawab tantangan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan metode studi literatur yang dianalisis secara komparatif. Data dikumpulkan dari berbagai sumber sekunder, termasuk artikel ilmiah, laporan lembaga riset, dan dokumen organisasi internasional yang membahas metode pengolahan limbah farmasi di Indonesia dan negara lain seperti Jerman, Swiss, India, dan Bulgaria. Fokus analisis mencakup efektivitas masing-masing metode dalam menurunkan parameter pencemar utama seperti COD, BOD, serta residu senyawa aktif, serta mengevaluasi hambatan teknis dan regulasi yang dihadapi. Hasil analisis ini bertujuan untuk menghasilkan rekomendasi yang relevan bagi Indonesia dalam menyusun strategi pengelolaan limbah farmasi yang aman, efisien, dan berkelanjutan (UNEP, 2023).

2. KAJIAN TEORITIS

Limbah industri farmasi terbagi menjadi dua jenis utama yaitu Limbah cair dari industri farmasi dan laboratorium mengandung senyawa aktif seperti antibiotik, hormon, dan NSAID, serta pelarut organik (etanol, metanol, aseton), logam berat (Hg, Pb), dan bahan kimia anorganik. Limbah ini umumnya berasal dari pencucian peralatan, proses sintesis, dan eksperimen laboratorium. Senyawa farmasi aktif dapat mencemari air dan mengganggu sistem

hormonal organisme akuatik meski dalam kadar rendah. Pelarut organik dan logam berat bersifat toksik dan mudah mencemari lingkungan, sehingga memerlukan pengolahan limbah yang tepat melalui sistem IPAL untuk menurunkan dampaknya terhadap ekosistem (WHO, 2012 dan Tijani et al., 2016).

Sementara itu, limbah padat meliputi sisa bahan baku, kemasan bekas, media kultur mikroba, filter, dan lumpur dari IPAL. Banyak di antaranya tergolong limbah B3 karena mengandung sisa bahan kimia toksik atau bersifat infeksius. Media kultur dan filter yang telah terkontaminasi mikroorganisme patogen harus disterilkan terlebih dahulu sebelum dibuang, sedangkan lumpur IPAL meski telah diolah tetap menyimpan risiko pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, penanganan limbah farmasi baik cair maupun padat harus dilakukan secara sistematis dan sesuai regulasi untuk mencegah dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat (Kummerer, 2004).

3. METODE PENELITIAN

Bagian Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dengan pendekatan analisis komparatif. Data dikumpulkan dari berbagai sumber sekunder, seperti artikel ilmiah, laporan penelitian, dan dokumen organisasi internasional yang membahas pengolahan limbah industri farmasi, baik di Indonesia maupun di beberapa negara lain seperti Jerman, Swiss, India, dan Bulgaria. Artikel yang dikaji dipilih berdasarkan relevansinya terhadap metode pengolahan limbah, efektivitas dalam mengurangi zat berbahaya seperti COD, BOD, dan senyawa aktif farmasi, serta tantangan teknis dan kebijakan dalam penerapannya.

Data yang terkumpul kemudian dianalisis secara komparatif untuk membandingkan metode yang digunakan di Indonesia dengan negara-negara lain. Perbandingan mencakup jenis teknologi yang digunakan (fisik, kimia, biologis, insinerasi), kelebihan dan kekurangannya, serta rekomendasi dari masing-masing studi. Hasil analisis ini menjadi dasar dalam menyusun rekomendasi pengelolaan limbah farmasi yang lebih efektif dan berkelanjutan untuk diterapkan di Indonesia.

4. HASIL STUDI LITERATUR

Metode Pengolahan Limbah Farmasi

Metode	Deskripsi	Kelebihan	Kekurangan
Fisik	Filtrasi, sedimentasi, flotasi	Sederhana, murah	Tidak efektif untuk senyawa terlarut
Kimia	Koagulasi, AOPs, ozonasi	Efektif untuk senyawa kompleks	Biaya tinggi, butuh energi besar
Biologi	Bioreaktor aerob/anaerob	Ramah lingkungan, biaya rendah	Kurang efektif untuk API, mikroba rentan
Insinerasi (Padat)	Pembakaran suhu tinggi	Menghancurkan mikroba & senyawa toksik	Emisi gas berbahaya jika tidak dikontrol
Stabilisasi	Campur dengan semen, kapur	Aman untuk logam berat	Tidak menghancurkan senyawa aktif
Landfilling	Pembuangan akhir	Mudah diterapkan	Risiko jangka panjang pencemara

5. Perbandingan Studi Pengolahan Limbah Industri Farmasi

A. Studi Dalam Negeri

Penulis (Tahun)	Lokasi (Daerah)	Metode & Temuan	Kelemahan	Rekomendasi
Meirdana & Utomo (2021)	Depok, Jawa Barat	IPAL anaerob-aerob; sebagian besar parameter terpenuhi kecuali COD	Efisiensi COD rendah	Optimasi pra-perlakuan dan proses IPAL

Pramestyawati & Afrianisa (2024)	Tangerang Selatan, Banten	Evaluasi B3 harian (~155 kg/hari); penyimpanan memadai	Fasilitas penyimpanan kurang lengkap	Penguatan infrastruktur & izin B3
Rustiana et al. (2021)	Surabaya, Jawa Timur	Kombinasi Fenton & anaerob-aerob (efektif COD >80%)	Fenton sendiri kurang optimal	Gabungkan metode biologis dan kimia
Wiryawan & Pharmawati (2022)	Bandung, Jawa Barat	Manajemen B3 baik (skor 90%)	Tidak mencakup limbah cair	Perlu evaluasi pengolahan cairan
Rahman et al. (2022)	Pontianak, Kalimantan Barat	IPAL klinik efisien (COD 95%, BOD 95%, TSS 91%)	Diujikan pada skala laboratorium bukan pengujian industri farmasi	Uji IPAL di skala industri

B. Studi Luar Negeri

Penulis (Tahun)	Negara/Kawasan	Metode & Temuan	Kelemahan	Rekomendasi
Stoimenova et al. (2021)	Bulgaria	Audit GDP farmasi menunjukkan kelemahan dokumentasi & SDM	Penggunaan Data lama (2017)	Butuh pembaruan dan Audit reguler dan pelatihan SDM
Muslim et al. (2022)	Negara Arab	>87% QA staff melaksanakan	Kurang mitigasi risiko struktural	Terapkan rencana

		inspeksi diri GDP		inspeksi berbasis risiko
Venkatesh & Puranik (2021)	India	Banding standar USFDA, WHO, MHRA; cocok untuk perbaikan nasional	Kurangnya data dan kuantitatif lokal	Perlu implementasi PKS dan CAPA
ECA Academy (2022)	Swiss dan Uni Eropa	Audit risiko-based minimal 1x/tahun di EU	Implementasi belum seragam antar negara	Harmonisasi standar dan frekuensi audit
PIC/S (2023)	Global (PIC/S)	Rekomendasi harmonisasi inspeksi antar negara anggota	Adaptasi lokal belum maksimal	Pelatihan inspector & pengakuan audit lintas negara

Hasil studi literatur ini menunjukkan bahwa pendekatan kombinasi memberikan hasil lebih optimal dalam pengolahan limbah farmasi. Kombinasi AOP dan sistem biologis mampu menguraikan senyawa aktif yang sulit diurai dengan satu metode. Di sisi lain, pengelolaan di Indonesia masih terfokus pada sistem konvensional dengan efisiensi terbatas.

Negara-negara seperti Swiss dan Jerman telah menunjukkan keberhasilan teknologi tinggi dengan efisiensi di atas 90%, sementara India meskipun memiliki sistem modern, masih mengalami pencemaran akibat pengontrolan yang masih lemah. Hal ini menunjukkan pentingnya integrasi teknologi dan kebijakan dalam pengelolaan limbah farmasi.

PEMBAHASAN

Metode Pengolahan Limbah Farmasi Secara Fisik

Metode fisik seperti filtrasi, sedimentasi, dan flotasi digunakan untuk memisahkan partikel berukuran besar dari air limbah. Kelebihan dari metode ini adalah kemudahan dalam penerapan serta biaya operasional yang relatif rendah. Namun, metode fisik kurang efektif

dalam menghilangkan senyawa farmasi aktif (API) yang larut dalam air, sehingga hanya cocok digunakan sebagai tahap awal dalam sistem pengolahan limbah secara terintegrasi.

Metode Kimia (*Advanced Oxidation Processes* - AOPs)

Metode kimia seperti ozonasi, proses Fenton dan foto-Fenton, UV/H₂O₂, serta fotokatalisis memiliki kemampuan untuk menghancurkan senyawa farmasi yang bersifat persisten dan kompleks dengan tingkat mineralisasi yang tinggi. Walau demikian, metode ini memiliki kelemahan dari sisi biaya yang tinggi dan konsumsi energi yang besar. Selain itu, beberapa proses AOP juga menghasilkan produk samping yang berpotensi toksik, sehingga memerlukan sistem pengelolaan limbah lanjutan yang baik.

Metode Biologis dan Hybrid

Penggunaan metode biologis seperti MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*), MBR (*Membrane Bioreactor*), serta kombinasi reaktor anaerob dan aerob dikenal ramah lingkungan dan efisien dalam mengolah limbah organik. Metode ini juga berpotensi menghasilkan bioenergi dan memiliki biaya operasi yang rendah. Meski begitu, efektivitas metode ini bisa menurun jika limbah mengandung API yang tahan terhadap biodegradasi, atau jika mikroorganisme sensitif terhadap fluktuasi lingkungan, sehingga sering kali dibutuhkan kombinasi dengan metode lain.

Teknologi Nanoadsorben dan Membran

Teknologi berbasis nanomaterial seperti kolom grafena, nanopartikel magnetik, dan membran katalitik AOP menawarkan efisiensi yang sangat tinggi dalam proses adsorpsi dan degradasi senyawa pencemar. Kelebihan utama dari metode ini adalah kemampuan proses yang dapat berlangsung secara kontinu. Namun, keterbatasannya terletak pada tingginya biaya material dan adanya risiko toksisitas dari nanopartikel terhadap lingkungan maupun kesehatan manusia.

Pengolahan Limbah dengan Metode Termal dan Pengelolaan Akhir

Insinerasi dan in-situ thermal treatment seperti pembakaran bersuhu tinggi dan gasifikasi plasma sangat efektif dalam menghancurkan mikroba serta senyawa toksik dalam limbah. Namun, proses ini menghasilkan emisi gas berbahaya seperti dioksin, sehingga kontrol emisi menjadi aspek penting yang harus diperhatikan. Untuk limbah padat, metode stabilisasi dengan semen atau kapur dapat digunakan untuk mengunci kontaminan logam berat, namun tidak dapat menghilangkan senyawa aktif. Sementara itu, landfilling masih digunakan sebagai

metode akhir karena ketersediaan infrastrukturnya yang luas, meskipun menimbulkan risiko jangka panjang terhadap pencemaran tanah dan air.

Hasil Studi Pengolahan Limbah Farmasi di Indonesia

Berbagai studi dalam negeri menunjukkan variasi dalam metode dan efektivitas pengolahan limbah farmasi. Di Depok, sistem IPAL anaerob-aerob menunjukkan hasil yang cukup baik namun belum optimal dalam menurunkan kadar COD, sehingga diperlukan pra-perlakuan tambahan. Di Tangerang Selatan, limbah B3 yang dihasilkan cukup tinggi, namun fasilitas penyimpanan masih belum lengkap. Di Surabaya, penggunaan kombinasi metode Fenton dan reaktor biologis menunjukkan efisiensi pengolahan COD lebih dari 80%, tetapi metode Fenton sendiri tidak cukup efektif bila diterapkan secara terpisah. Sementara itu, Bandung menunjukkan pengelolaan B3 yang cukup baik namun belum menyentuh aspek pengolahan limbah cair, dan Pontianak melaporkan efisiensi IPAL klinik yang tinggi, meskipun pengujian masih dilakukan pada skala laboratorium.

Hasil Studi Internasional tentang Pengelolaan Limbah Farmasi

Studi luar negeri menunjukkan penerapan manajemen dan sistem regulasi yang lebih matang. Di Bulgaria, hasil audit GDP menunjukkan kelemahan pada dokumentasi dan SDM karena data yang digunakan masih berdasarkan tahun 2017. Negara-negara Arab melaporkan bahwa lebih dari 87% staf QA telah melakukan inspeksi internal, namun mitigasi risiko struktural masih kurang. Di India, perbandingan dengan standar internasional seperti USFDA dan WHO dianggap efektif, meski kurangnya data kuantitatif lokal menjadi hambatan. Di kawasan Eropa, audit berbasis risiko telah dilakukan secara rutin, namun belum merata di semua negara. Organisasi seperti PIC/S juga mendorong harmonisasi inspeksi antarnegara, meski pelaksanaannya belum maksimal tanpa pelatihan lanjutan bagi inspektur dan pengakuan audit lintas negara.

KESIMPULAN DAN SARAN

Studi literatur ini menunjukkan bahwa penggunaan metode tunggal tidak sepenuhnya efektif dalam mengolah limbah industri farmasi. Pendekatan integratif yang menggabungkan metode fisik, kimia, dan biologis menjadi solusi yang paling potensial dalam menurunkan kadar senyawa aktif dan parameter pencemar seperti COD dan BOD. Di Indonesia, tantangan utama terletak pada efektivitas pengolahan parameter organik dan keterbatasan infrastruktur limbah yang memadai, sedangkan studi-studi internasional menyoroti pentingnya sistem

manajemen mutu, audit berbasis risiko, serta harmonisasi regulasi antarnegara dalam mendukung efektivitas pengelolaan limbah.

Dengan membandingkan praktik nasional dan internasional, dapat disimpulkan bahwa pengolahan limbah industri farmasi yang berkelanjutan tidak hanya membutuhkan inovasi teknologi, tetapi juga dukungan kebijakan, penguatan kapasitas sumber daya manusia, serta kolaborasi lintas negara. Oleh karena itu, perlu adanya upaya komprehensif yang mencakup peningkatan infrastruktur, penguatan regulasi nasional yang selaras dengan standar global, dan adopsi praktik terbaik internasional dalam sistem pengolahan limbah farmasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan artikel berjudul "Analisis Komparatif Metode Pengolahan Limbah Industri Farmasi Studi Kasus Nasional dan Internasional". Artikel ini merupakan bagian dari hasil penelitian yang disusun melalui pendekatan studi literatur, dengan dukungan berbagai sumber ilmiah dan dokumentasi terkait pengelolaan limbah farmasi di berbagai negara. Penulis juga berterima kasih kepada dosen pembimbing serta institusi yang telah memfasilitasi proses pencarian data dan referensi, sehingga artikel ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR REFERENSI

- Armand, F. (2003). Social Marketing Models for Product-Based Reproductive Health Programs: A Comparative Analysis. Occasional Paper Series. Washington, DC. Diakses dari www.cmsproject.com
- Belair, A. R. (2003). Shopping for Your Self: When Marketing becomes a Social Problem. Disertasi. Concordia University, Montreal, Quebec, Canada.
- Chain, P. (1997). Same or Different?: A Comparison of the Beliefs Australian and Chinese University Students Hold about Learning's Proceedings of AARE Conference. Swinburne University. Available at: <http://www.swin.edu.au/aare/97pap/CHAN97058.html>, diakses tanggal 27 Mei 2000.
- ECA Academy. (2022). Risk-Based Audit Planning in the Pharmaceutical Sector. European Compliance Academy. Diakses dari <https://www.gmp-compliance.org>
- Gerrity, D., Trenholm, R. A., & Snyder, S. A. (2023). Pharmaceutical Removal during Water Treatment. Water Research, 214, 118203. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.118203>
- Kotler, P., & Lee, N. R. (2009). Up and Out of Poverty: The Social Marketing Solution. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Kümmerer, K. (2004). Pharmaceuticals in the Environment: Sources, Fate, Effects and Risks.

Springer-Verlag.

- Kümmerer, K., Dionysiou, D. D., Olsson, O., & Fatta-Kassinos, D. (2022). A Framework for Reducing Pharmaceuticals in the Environment. *Nature Sustainability*, 5, 251–258. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00837-0>
- Lindawati. (2015). Analisis Faktor yang Mempengaruhi Perilaku Ekonomi dan Kesejahteraan Rumah Tangga Petani Usahatani Terpadu Padi-Sapi di Provinsi Jawa Barat. Institut Pertanian Bogor. Diakses dari <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/85350>
- LPPSP. (2016). Statistik Indonesia 2016. Badan Pusat Statistik. Jakarta. Diakses dari <https://www.lppsps.go.id/index.php/publikasi/326>
- Meirdana, I. K., & Utomo, R. B. (2021). Evaluasi Efisiensi IPAL di Industri Farmasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(2), 127–135.
- Muslim, M., Al-Sarawi, H., & Al-Otaibi, R. (2022). Evaluation of GDP Compliance in Arab Pharmaceutical Supply Chains. *Arabian Journal of Quality*, 13(1), 45–53.
- Norsyaheera, A.W., Lailatul, F.A.H., Shahid, S.A.M., & Maon, S.N. (2016). The Relationship Between Marketing Mix and Customer Loyalty in Hijab Industry: The Mediating Effect of Customer Satisfaction. In *Procedia Economics and Finance* (Vol. 37, pp. 366–371). Elsevier B.V. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(16\)30138-1](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(16)30138-1)
- PIC/S. (2023). Harmonisation of Inspection Procedures in Pharmaceutical Industry. Pharmaceutical Inspection Co-operation Scheme. Diakses dari <https://www.picscheme.org>
- Pramestyawati, D., & Afrianisa, R. (2024). Manajemen Limbah B3 di Industri Farmasi. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 12(1), 66–74.
- Puspitasari, R., Handayani, S., & Santoso, W. (2024). Evaluasi Sistem IPAL Farmasi di Indonesia. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(1), 22–30.
- Rahman, T., Dewi, A., & Sari, M. (2022). Efektivitas IPAL Klinik dalam Mengolah Limbah Farmasi. *Jurnal Teknik Kesehatan*, 14(2), 88–96.
- Risdwiyanto, A. (2016). Tas Kresek Berbayar, Ubah Perilaku Belanja? *Kedaulatan Rakyat*, 22 Februari, hlm. 12.
- Rustiana, D., Setyawan, A., & Nuraini, R. (2021). Penggunaan Kombinasi Fenton dan Biologi dalam Pengolahan Limbah. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 19(3), 215–223.
- StatSoft, Inc. (1997). *Electronic Statistic Textbook*. Tulsa OK., StatSoft Online. Available at: <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html> , diakses tanggal 27 Mei 2000.
- Stoimenova, A., Petrova, G., & Miteva-Katrandzhieva, T. (2021). Challenges in GDP Implementation in Bulgaria. *Bulgarian Pharmaceutical Journal*, 17(2), 99–108.
- UNEP. (2023). *Global Chemicals Outlook II: From Legacies to Innovative Solutions*. United Nations Environment Programme. Diakses dari <https://www.unep.org>
- Venkatesh, N., & Puranik, P. (2021). Regulatory Framework Comparison for Pharmaceutical Waste in India. *Journal of Regulatory Affairs*, 11(1), 55–63.
- WHO. (2012). *Safe Management of Wastes from Health-care Activities* (2nd ed.). World Health Organization.
- Wiryawan, T., & Pharmawati, A. (2022). Pengelolaan Limbah B3 di Industri Farmasi Kota Bandung. *Jurnal Kesmas Nasional*, 7(4), 231–238.