

Kontaminasi Lingkungan Limbah Farmasi Rumah Tangga dan Kontribusinya dalam Resistensi Antibiotik: Tinjauan Literatur

Anggita Ayuningtias^{1*}, R. Azizah²

¹Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Airlangga, Indonesia

²Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Airlangga, Indonesia

E-mail: anggitaayts@gmail.com^{1*}

Article Info	Abstract
Article History Received: 2026-06-30 Revised: 2026-08-25 Published: 2026-09-30 Keywords: antibiotic resistance; household; medicine waste management; environmental pollution	<i>Household pharmaceutical waste is an environmental issue that warrants attention, particularly because the improper disposal of medications can serve as a pathway for pharmaceutical residues to enter the environment. Antibiotic residues in the environment have the potential to exert selective pressure on microorganisms and are associated with the presence of bacteria. This study aims to examine the contribution of household pharmaceutical waste to environmental pollution and antibiotic resistance. The study employed a narrative literature review approach by searching the PubMed and Google Scholar databases for articles published between 2019 until 2024. The search utilized keywords related to household pharmaceutical waste, medication disposal, environmental pollution, and antibiotic resistance. The selected articles were those available in full text, published within the specified period, and relevant to the study's focus. A total of 6 articles were analyzed descriptively by grouping the findings based on household medication disposal practices. The results of the study indicate that improper medication disposal still occurs and has the potential to serve as a pathway for antibiotic residues to enter the environment. In Indonesia, the limitations of the medicine take-back system and suboptimal medication management practices highlight the need to strengthen the management of household pharmaceutical waste. However, a direct causal relationship between household pharmaceutical waste and antibiotic resistance cannot yet be confirmed, as most of the available evidence remains observational.</i>
Artikel Info	Abstrak
Sejarah Artikel Diterima: 2026-06-30 Direvisi: 2026-08-25 Dipublikasi: 2026-09-30 Kata kunci: pencemaran lingkungan; pengelolaan limbah obat; resistensi antibiotik; rumah tangga	Limbah farmasi rumah tangga merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang perlu diperhatikan, terutama karena pembuangan obat yang tidak tepat dapat menjadi salah satu jalur masuknya residu farmasi ke lingkungan. Residu antibiotik yang berada di lingkungan berpotensi memberikan tekanan seleksi terhadap mikroorganisme dan berkaitan dengan keberadaan bakteri. Kajian ini bertujuan untuk menelaah kontribusi limbah farmasi rumah tangga terhadap pencemaran lingkungan dan resistensi antibiotik. Kajian dilakukan menggunakan pendekatan <i>narrative literature review</i> melalui penelusuran <i>database</i> PubMed dan Google Scholar terhadap artikel yang diterbitkan pada periode 2019-2024. Pencarian dilakukan dengan kata kunci yang berkaitan dengan limbah farmasi rumah tangga, pembuangan obat, pencemaran lingkungan, dan resistensi antibiotik. Artikel yang dipilih merupakan artikel yang tersedia dalam bentuk <i>full text</i> , diterbitkan pada periode yang ditentukan, dan relevan dengan fokus kajian. Sebanyak 6 artikel dianalisis secara deskriptif dengan mengelompokkan temuan berdasarkan praktik pembuangan obat rumah tangga. Hasil kajian menunjukkan bahwa pembuangan obat yang tidak tepat masih terjadi dan berpotensi menjadi salah satu jalur masuknya residu antibiotik ke lingkungan. Di Indonesia, keterbatasan sistem <i>medicine take-back</i> dan praktik pengelolaan obat yang belum optimal menunjukkan perlunya penguatan pengelolaan limbah farmasi rumah tangga. Meskipun dengan, hubungan kausal langsung antara limbah farmasi rumah tangga dan resistensi antibiotik belum dapat dipastikan karena sebagian besar bukti yang tersedia masih bersifat observasional.

PENDAHULUAN

Konsumsi obat di masyarakat terus meningkat seiring dengan perkembangan pelayanan kesehatan, perluasan akses fasilitas kesehatan, dan ketersediaan

produk farmasi yang semakin luas (WHO, 2024). Peningkatan ini berdampak pada semakin banyaknya obat sisa atau tidak habis digunakan yang berpotensi menjadi limbah farmasi rumah tangga. Sayangnya,

obat yang tidak terpakai tersebut masih sering dibuang bersama sampah rumah tangga ke toilet atau saluran pembuangan, bahkan dibakar tanpa melalui proses pengelolaan yang aman (Rogowska & Zimmermann, 2022). Fenomena ini memicu kekhawatiran besar karena senyawa aktif, khususnya antibiotik, dapat mencemari lingkungan akibat pembuangan yang tidak tepat.

Residu antibiotik yang masuk ke lingkungan dapat terdeteksi pada air dan tanah karena proses pengolahan air limbah konvensional belum mampu menghilangkan seluruh senyawa farmasi tersebut secara sempurna. Paparan antibiotik berkonsentrasi rendah secara terus-menerus dapat memberikan tekanan seleksi terhadap mikroorganisme, sehingga memicu keberlangsungan hidup bakteri resisten (Larsson & Flach, 2022). Selain itu, senyawa farmasi yang tersisa setelah proses pengolahan air limbah terbukti berkaitan erat dengan keberadaan gen resistensi antibiotik (*antibiotic resistance genes*) (Liu et al., 2023). Hal ini menunjukkan bahwa lingkungan tidak hanya menjadi tempat penampungan residu antibiotik, tetapi juga berfungsi sebagai reservoir gen resistensi yang berpotensi menyebar melalui mekanisme *horizontal gene transfer* ke manusia maupun hewan (Larsson & Flach, 2022). WHO (2024) menyatakan bahwa resistensi antimikroba merupakan salah satu ancaman kesehatan global utama yang dapat menyulitkan pengobatan infeksi, memperpanjang masa perawatan, meningkatkan biaya kesehatan, serta menaikkan risiko kematian.

Di Indonesia, pengelolaan obat pada tingkat rumah tangga masih menghadapi tantangan besar. Sebagian masyarakat masih membuang obat bersama sampah domestik karena sistem pengembalian obat belum didukung oleh kebijakan dan sistem operasional yang memadai (Alfian et al., 2024). Penelitian lokal juga menunjukkan bahwa antibiotik masih sering ditemukan dalam penyimpanan rumah tangga, yang diperparah oleh rendahnya pengetahuan, sikap, dan praktik masyarakat terkait penggunaan serta pembuangan antibiotik yang benar (Karuniawati et al., 2025; Zairina et al., 2023).

Meskipun penelitian terdahulu telah membahas praktik pembuangan obat rumah tangga serta mengidentifikasi keberadaan residu antibiotik dan gen resistensi di lingkungan (Wilkinson et al., 2022), data yang tersedia masih bersifat observasional dan tersebar secara parsial. Terlebih lagi, belum ada penelitian yang secara langsung mengukur hubungan kausal antara pembuangan limbah farmasi rumah tangga dan peningkatan resistensi di lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan sebuah tinjauan literatur yang mengintegrasikan berbagai temuan tersebut untuk memahami kontribusi nyata limbah farmasi rumah tangga terhadap pencemaran lingkungan dan resistensi antibiotik. Berdasarkan urgensi tersebut, kajian ini bertujuan untuk menelaah kontribusi limbah farmasi rumah tangga terhadap pencemaran lingkungan dan resistensi antibiotik melalui tinjauan literatur (*literature review*).

METODE

Kajian ini menggunakan pendekatan tinjauan literatur naratif (*narrative literature review*) untuk mengidentifikasi dan mensintesis bukti ilmiah mengenai limbah farmasi rumah tangga, pencemaran lingkungan, dan resistensi antibiotik. Literatur diperoleh melalui penelusuran pada basis data (*database*) PubMed dan Google Scholar. Penelusuran dibatasi pada artikel yang diterbitkan dalam periode tahun 2019–2024 menggunakan kata kunci yang berkaitan dengan limbah farmasi rumah tangga, pembuangan obat, pencemaran lingkungan, dan resistensi antibiotik.

Kriteria inklusi dalam kajian ini meliputi artikel ilmiah yang tersedia dalam bentuk teks lengkap (*full text*), diterbitkan pada periode 2019–2024, serta memiliki relevansi langsung dengan topik limbah farmasi rumah tangga, pencemaran lingkungan, atau resistensi antibiotik. Jenis penelitian yang dipertimbangkan meliputi studi laboratorium, survei masyarakat, penelitian kualitas lingkungan, serta dokumen kebijakan yang relevan. Sebaliknya, artikel yang tidak sesuai dengan fokus kajian, tidak tersedia dalam bentuk teks lengkap, atau tidak memenuhi kriteria tahun terbit akan dikeluarkan dari proses seleksi (kriteria eksklusi).

Proses seleksi literatur dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu identifikasi

artikel berdasarkan hasil penelusuran basis data, penyaringan (*screening*) berdasarkan kesesuaian judul dan abstrak, serta pemeriksaan teks lengkap untuk menentukan kesesuaian dengan kriteria inklusi. Pada tahap awal, sebanyak 10 artikel berhasil diidentifikasi, dan setelah melalui proses penyaringan, sebanyak 6 artikel dinyatakan memenuhi kriteria untuk dianalisis lebih lanjut. Artikel yang terpilih kemudian dianalisis secara deskriptif dengan mengelompokkan temuan berdasarkan tiga aspek utama, yaitu: (1) praktik penggunaan dan pembuangan obat pada tingkat rumah tangga, (2) keberadaan residu farmasi atau antibiotik di lingkungan, serta (3) keberadaan bakteri resisten beserta gen resistensinya. Hasil dari berbagai penelitian tersebut kemudian disintesis dan dibandingkan untuk mengidentifikasi pola, hubungan, mekanisme, serta implikasi pengelolaan limbah farmasi rumah tangga terhadap pencemaran lingkungan dan resistensi antibiotik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan topik kajian. Studi-studi tersebut membahas praktik penggunaan dan pembuangan obat di tingkat rumah tangga, keberadaan residu antibiotik di lingkungan, serta kaitannya dengan isu resistensi antimikroba.

Tabel 1. Ringkasan Penelitian Terdahulu

Nama Penulis (Tahun)	Judul Penelitian	Lokasi	Desain Penelitian	Hasil Penelitian
Kellen J. Karimi, et al. (2022)	<i>Prevalence of antibiotic use and disposal at household level in</i>	Kisumu, Kenya	Studi potong lintang (<i>cross-sectional</i>) pada 447 rumah tangga di	Penggunaan antibiotik di rumah tangga permukiman informal cukup tinggi (43%). Praktik pembuangan yang tidak tepat

	<i>informal settlements of Kisumu, Kenya</i>		lima komunitas informal secara acak.	berpotensi mencemari lingkungan dan meningkatkan risiko resistensi.
Kashif Rahim, et al. (2024)	<i>Public health implications of resistance in sewage water: an epidemiological perspective</i>	Pakistan	Pendekatan kombinasi teknik mikrobiologi dan analisis molekuler pada sampel air limbah Sungai Sutlej.	Bakteri dalam air limbah Sungai Sutlej memiliki resistensi antibiotik yang tinggi, terutama E. coli (90%). Gen resistensi Sul1 dan Sul3 banyak ditemukan, sehingga berpotensi menjadi reservoir penyebaran resistensi.
Zhuo Dong, et al. (2024)	<i>Antibiotics in wastewater treatment plants in Tangshan: Perspectives on temporal variation, residents use and ecological risk assessment</i>	Tangshan, China	Studi observasional melalui pengambilan sampel air limbah influen dan efluen dari empat WWTP selama musim dingin.	Konsentrasi antibiotik tertinggi terjadi pada musim dingin (influen) akibat peningkatan konsumsi. Efektivitas pengolahan menurun karena suhu rendah. Antibiotik seperti roxithromycin dan oxytetracycline menunjukkan risiko ekologis sedang setelah pengolahan.
Del Castillo De Loayza, T., et al. (2023)	<i>Identification and quantification of antibiotic residues and evaluation of microbial resistance of antibiotics in Huatanay river waters in Peru</i>	Peru	Studi observasional dan diagnostik melalui sampel air Sungai Huatanay sebelum dan sesudah WWTP menggunakan teknik HPLC serta uji sensitivitas bakteri.	Residu antibiotik seperti amoksisilin dan linkomisin ditemukan pada air limbah sebelum maupun setelah pengolahan. Kondisi ini berpotensi meningkatkan resistensi bakteri perairan dan mengancam kesehatan masyarakat.
Baye Sitotaw, et al. (2024)	<i>High prevalence of antibiotic resistance bacteria isolated from Bahir Dar City municipal solid waste dumpsite, North West Ethiopia</i>	Bahir Dar, Ethiopia	Studi observasional dengan pendekatan <i>cross-sectional</i> dan longitudinal. Sampel tanah diambil secara sistematis dari TPA selama enam bulan (berkala tiap dua bulan).	Bakteri dari tempat pembuangan sampah (TPA) Bahir Dar memiliki tingkat resistensi antibiotik yang tinggi, dengan prevalensi bakteri Multi-Drug Resistant (MDR) mencapai 36,6%. TPA terbukti menjadi reservoir bakteri resisten.
David R., et al. (2024)	<i>A study on household medicine wastage and disposal practices with screening of water samples for antibiotic presence in a South Indian District</i>	India Selatan	Studi <i>cross-sectional</i> yang menggabungkan survei rumah tangga (pengetahuan, sikap, praktik) dan pengambilan sampel air permukaan.	Sebanyak 75,8% rumah tangga menyimpan sisa obat (5,26% di antaranya antibiotik). Meski masyarakat mengetahui bahaya obat kadaluwarsa, mayoritas tetap membuang obat langsung ke tempat sampah rumah tangga.

Hasil kajian menunjukkan bahwa limbah farmasi rumah tangga berpotensi besar berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan dan resistensi antibiotik akibat praktik pembuangan obat yang tidak tepat. Temuan dari berbagai penelitian memperlihatkan bahwa obat sisa atau tidak terpakai masih sering dibuang bersama sampah domestik, melalui saluran pembuangan, atau langsung ke lingkungan terbuka. Kondisi tersebut menjadi salah satu jalur utama masuknya senyawa farmasi, termasuk antibiotik, ke dalam sistem air limbah dan lingkungan. Keberadaan residu antibiotik di lingkungan selanjutnya memberikan tekanan seleksi (*selection pressure*) terhadap mikroorganisme, yang mendukung keberlangsungan hidup bakteri resisten maupun penyebaran gen resistensi. Namun, hubungan ini perlu dipahami sebagai potensi kontribusi, mengingat sebagian besar penelitian yang tersedia belum secara langsung membuktikan hubungan kausalitas antara pembuangan limbah farmasi rumah tangga dan peningkatan resistensi antibiotik di alam.

Praktik pembuangan obat pada tingkat rumah tangga menunjukkan pola yang relatif serupa di berbagai wilayah, yaitu masih didominasi oleh metode pembuangan yang tidak sesuai dengan prinsip pengelolaan limbah farmasi. Karimi et al. (2022) mengungkapkan bahwa masyarakat masih menerapkan metode pembuangan yang berisiko tinggi mengalirkan zat aktif obat ke lingkungan. Hal ini mengindikasikan adanya kesenjangan yang nyata antara

pengetahuan masyarakat mengenai keamanan obat dan praktik pengelolaannya di kehidupan sehari-hari. Dengan demikian, permasalahan pembuangan obat tidak dapat hanya dipandang sebagai persoalan kurangnya edukasi, melainkan juga harus dikaitkan dengan ketersediaan fasilitas dan sistem pembuangan yang mudah diakses.

Ketersediaan sistem pengembalian obat menjadi faktor krusial yang memengaruhi perilaku tersebut. Masyarakat mungkin memahami bahwa obat yang tidak terpakai seharusnya dikelola secara aman, tetapi tetap memilih membuangnya bersama sampah rumah tangga apabila tidak tersedia fasilitas pengembalian yang mudah dijangkau. Alfian et al. (2024) menunjukkan bahwa pelaksanaan program pengembalian obat (*take-back program*) masih menghadapi berbagai hambatan, termasuk keterbatasan infrastruktur sistem dan dukungan kebijakan. Temuan tersebut menegaskan bahwa perubahan perilaku masyarakat harus didukung oleh intervensi pada tingkat sistemik; edukasi mengenai pembuangan obat tidak akan efektif jika berdiri sendiri tanpa disertai penyediaan sarana pengelolaan yang memadai.

Temuan antarnegara menunjukkan pola yang serupa, meskipun tingkat dan karakteristik pencemarannya berbeda. Perbedaan tersebut sangat dipengaruhi oleh sistem pengelolaan limbah, regulasi yang berlaku, pola konsumsi obat, tingkat urbanisasi, serta kondisi lingkungan setempat. Variasi temporal dan kondisi iklim juga memengaruhi fluktuasi konsentrasi residu farmasi yang ditemukan

di alam. Oleh karena itu, hasil penelitian dari berbagai negara tidak dapat dibandingkan hanya berdasarkan besar kecilnya konsentrasi residu secara absolut, melainkan harus mempertimbangkan perbedaan sistem pengelolaan limbah dan karakteristik populasi yang diteliti.

Keberadaan residu antibiotik di lingkungan memiliki relevansi langsung terhadap eskalasi resistensi. Paparan antibiotik pada konsentrasi rendah secara konstan memberikan tekanan seleksi yang memicu mekanisme pertahanan mikroorganisme untuk bertahan hidup. Selain itu, lingkungan yang terkontaminasi bakteri resisten dan gen resistensi antibiotik (*Antibiotic Resistance Genes/ARGs*) berpotensi bertindak sebagai reservoir resistensi. Temuan penelitian yang mendeteksi bakteri resisten dan ARGs pada air limbah maupun tempat pembuangan akhir (TPA) memperkuat posisi penting faktor lingkungan dalam penyebaran resistensi antimikroba. Melalui mekanisme transfer gen horizontal (*horizontal gene transfer*), gen resistensi dapat berpindah antar-spesies mikroorganisme, sehingga resistensi tidak lagi menjadi persoalan satu jenis bakteri saja, melainkan menyebar secara luas dalam komunitas mikroba.

Di Indonesia, fenomena ini sangat relevan karena pengelolaan obat skala rumah tangga masih menghadapi keterbatasan yang masif. Penelitian lokal menunjukkan bahwa obat dan antibiotik masih sering menumpuk dalam penyimpanan rumah tangga dengan praktik pembuangan yang belum aman

(Karuniawati et al., 2025). Keterbatasan sistem *take-back* sebagaimana dilaporkan oleh Alfian et al. (2024) menegaskan kembali bahwa penanggulangan limbah farmasi tidak cukup hanya bertumpu pada perubahan perilaku individu. Diperlukan sebuah sistem terintegrasi yang memfasilitasi masyarakat untuk mengembalikan obat kedaluwarsa atau sisa melalui sarana pelayanan kesehatan yang mudah diakses, didukung oleh mekanisme pemusnahan akhir yang tersertifikasi.

Meskipun berbagai literatur menunjukkan keterkaitan erat antara residu antibiotik, pencemaran lingkungan, dan resistensi, bukti ilmiah yang ada saat ini masih memiliki batasan tertentu. Sebagian besar penelitian menggunakan desain potong lintang (*cross-sectional*), sehingga belum mampu menetapkan hubungan sebab-akibat secara langsung. Sementara itu, data longitudinal yang merekam perubahan pola resistensi akibat paparan limbah farmasi rumah tangga secara jangka panjang masih sangat terbatas. Selain itu, sumber residu antibiotik di lingkungan sangat multisektoral (seperti dari limbah industri dan peternakan), sehingga kontribusi spesifik dari sektor rumah tangga sulit diisolasi secara murni.

Berdasarkan keseluruhan temuan ini, pengelolaan limbah farmasi rumah tangga harus diintervensi melalui pendekatan ganda yang melibatkan kesadaran masyarakat dan perbaikan sistem. Edukasi publik mengenai penyimpanan dan pembuangan obat yang benar harus berjalan beriringan dengan penguatan program *medicine take-back*, perluasan

akses fasilitas penampungan obat sisa, serta penguatan regulasi tata kelola limbah medis. Upaya ini menjadi langkah krusial yang tidak hanya bertujuan menekan pencemaran bahan kimia di alam, tetapi juga menjadi pilar penting dalam strategi pencegahan resistensi antibiotik global berbasis pendekatan *One Health*.

KESIMPULAN

Limbah farmasi rumah tangga berpotensi besar berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan dan resistensi antibiotik akibat praktik pembuangan obat yang tidak tepat. Literatur yang dikaji menunjukkan bahwa obat sisa atau tidak terpakai masih sering dibuang bersama sampah domestik maupun saluran pembuangan, sehingga menjadi salah satu jalur masuknya residu farmasi ke lingkungan. Keberadaan residu antibiotik di alam dapat memberikan tekanan seleksi (*selection pressure*) terhadap mikroorganisme dan berkaitan erat dengan keberadaan bakteri resisten serta gen resistensi (*Antibiotic Resistance Genes/ARGs*). Akibatnya, lingkungan berpotensi menjadi reservoir resistensi yang membahayakan kesehatan. Dalam konteks Indonesia, permasalahan ini diperkuat oleh masih terbatasnya infrastruktur program pengembalian obat (*medicine take-back*) dan belum optimalnya praktik pengelolaan obat pada tingkat rumah tangga.

DAFTAR PUSTAKA

Alfian, S. D., Azzahra, A. M., Khoiry, Q. A., Griselda, M., Puspitasari, I. M., & Abdulah, R. (2024). Pharmacists'

perspectives on challenges and facilitators in initiating medication take-back program in Indonesia: A qualitative study. *SAGE Open Medicine*, 12.

<https://doi.org/10.1177/20503121241290968>

David, R., Jayachandran, M., & Palatty, P. L. (2024). A study on household medicine wastage and disposal practices with screening of water samples for antibiotic presence in a South Indian district. *International Journal of Community Medicine and Public Health*, 11(7), 2787–2793. <https://doi.org/10.18203/2394-6040.ijcmph20241839>

Del Castillo De Loayza, T., Maldonado, I., & Zirena Vilca, F. (2023). Identification and quantification of antibiotic residues and evaluation of microbial resistance to antibiotics in Huatanay River waters in Peru. *Pollution*, 9(3), 1236–1250. <https://doi.org/10.22059/poll.2023.352228.1718>

Dong, Z., Hu, J., Wang, P., Han, G., & Jia, Z. (2024). Antibiotics in wastewater treatment plants in Tangshan: Perspectives on temporal variation, residents' use and ecological risk assessment. *Water*, 16(11), 1627. <https://doi.org/10.3390/w16111627>

Karimi, K. J., Ahmad, A., Duse, A., Mwanthi, M., & Ayah, R. (2022). Prevalence of antibiotic use and disposal at household level in informal settlements of Kisumu, Kenya. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 287. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010287>

Karuniawati, H., Rahman, R., Hossain, M. S., Wahyuni, A. S., Hakim, D. Z. A., & Kusuma, I. Y. (2025). Assessment of storage behavior of antibiotics and influence factors among household

- members in Boyolali, Indonesia: A cross-sectional study. *The Open Public Health Journal*, 18, e18749445388122. <https://doi.org/10.2174/011874944538812250619115503>
- Kusuma, I. Y., Widayati, A., Kristina, S. A., Satibi, S., & Fudholi, A. (2023). Assessment of medicines and potential pharmaceutical wastes management among households in Lamongan, Indonesia. *Pharmacy Education*, 23(4), 145–148. <https://doi.org/10.46542/pe.2023.23.4.145148>
- Larsson, D. G. J., & Flach, C. F. (2022). Antibiotic resistance in the environment. *Nature Reviews Microbiology*, 20(5), 257–269. <https://doi.org/10.1038/s41579-021-00649-x>
- Liu, B., Xu, Y., Lu, F., Liang, B., Li, X., Zha, R., Wang, S., & Qiu, Y. (2023). Occurrence and removal prediction of pharmaceuticals positively correlated with antibiotic resistance genes in wastewater treatment processes. *Environmental Technology & Innovation*, 32, 103425. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103425>
- Rahim, K., Nawaz, M. N., Almeahmadi, M., Alsuwat, M. A., Liu, L., Yu, C., & Khan, S. S. (2024). Public health implications of antibiotic resistance in sewage water: An epidemiological perspective. *Bioresources and Bioprocessing*, 11(1), 91. <https://doi.org/10.1186/s40643-024-00807-y>
- Rogowska, J., & Zimmermann, A. (2022). Household pharmaceutical waste disposal as a global problem—A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 15798. <https://doi.org/10.3390/ijerph192315798>
- Sitotaw, B., Ayalew, F., Girma, A., Geta, K., Tadesse, B., & Birhanu, A. G. (2024). High prevalence of antibiotic resistance bacteria isolated from Bahir Dar City municipal solid waste dumpsite, North West Ethiopia. *Environmental Health Insights*, 18, 11786302241260508. <https://doi.org/10.1177/11786302241260508>
- Wilkinson, J. L., Boxall, A. B. A., Kolpin, D. W., et al. (2022). Pharmaceutical pollution of the world's rivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(8), e2113947119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2113947119>
- World Health Organization. (2024). *Antimicrobial resistance*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>
- Zairina, N., Kristina, S. A., Widayati, A., Satibi, S., & Fudholi, A. (2023). Knowledge, attitudes, and practices for using and disposing of antibiotics: A cross-sectional study at an Indonesian community. *Pharmacy Education*, 23(4), 110–115. <https://doi.org/10.46542/pe.2023.23.4.110115>