
REVIEW JURNAL PENGELOLAAN DAN PENGOLAHAN LIMBAH PADAT DALAM INDUSTRI FARMASI

Oleh

Muhammad Arif Akbar¹, Muhammad Zairullah², Nor Latifah³

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

E-mail: ¹arif.akbar0705@gmail.com, ²rhamli908@gmail.com

Article History:

Received: 24-04-2025

Revised: 05-05-2025

Accepted: 27-05-2025

Keywords:

Limbah padat, Industri Farmasi, Pengelolaan Limbah, Pengolahan Limbah, Limbah Farmasi

Abstract: Industri farmasi menghasilkan limbah padat yang tergolong bahan berbahaya dan beracun (B3), sehingga memerlukan pengelolaan khusus untuk mencegah dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat. Kajian ini dilakukan untuk menganalisis berbagai strategi pengelolaan limbah padat industri farmasi yang telah diterapkan secara global maupun nasional. Metode yang digunakan adalah kajian pustaka (literature review) terhadap sumber-sumber ilmiah terkini dan relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa metode insinerasi suhu tinggi, inertisasi, pengkapsulan, autoklaf, microwave, dan penimbunan aman merupakan pendekatan umum yang digunakan. Masing-masing metode memiliki keunggulan dan keterbatasan berdasarkan efektivitas, biaya, dan dampak lingkungan. Studi ini menegaskan pentingnya penerapan metode pengolahan yang sesuai dengan karakteristik limbah dan standar keberlanjutan. Kesimpulan dari kajian ini menunjukkan perlunya sinergi antara teknologi pengolahan dan kebijakan lingkungan untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan limbah padat di sektor farmasi secara berkelanjutan

PENDAHULUAN

Industri farmasi diketahui sebagai salah satu sektor yang berkontribusi terhadap timbulan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), yang mengandung berbagai senyawa kimia anorganik maupun organik. Senyawa-senyawa ini umumnya dihasilkan dari serangkaian proses kimia yang terlibat dalam pembuatan produk farmasi, termasuk proses formulasi, pencucian peralatan produksi, aktivitas laboratorium, serta limbah dari produk jadi yang tidak memenuhi spesifikasi mutu. Limbah yang dihasilkan oleh industri ini memiliki karakteristik yang sangat beragam, sebagaimana tercermin dalam bentuk residu, pelarut organik, senyawa basa, asam, dan garam, yang semuanya berpotensi menimbulkan efek toksik terhadap lingkungan. Selain itu, keberadaan produk farmasi seperti antibiotik di dalam limbah juga berisiko mencemari lingkungan dan berkontribusi terhadap peningkatan resistensi bakteri di ekosistem (Azzahra & Saptarini 2021).

Metode pengelolaan limbah padat, khususnya limbah yang berasal dari industri

farmasi, menunjukkan variasi yang signifikan di berbagai wilayah dunia, dengan sebagian besar metode yang masih belum memenuhi kriteria keberlanjutan lingkungan. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Alnahas et al. (2020), metode yang paling umum diterapkan adalah penimbunan terbuka (*open dumping*) dan penimbunan akhir (*landfill*).

Di kawasan Asia, tercatat bahwa sekitar 50,9% limbah padat dibuang secara terbuka, sementara hanya 8,5% yang berhasil didaur ulang. Di Afrika, praktik serupa ditemukan dengan 47% limbah dibuang secara terbuka dan tingkat daur ulang hanya mencapai 3,9%. Sementara itu, di Eropa, praktik pembakaran limbah mencapai 25,6%, mengindikasikan adanya upaya yang lebih progresif dalam pengelolaan limbah. Di Amerika Utara, penggunaan sistem *landfill* mendominasi dengan persentase sebesar 91,1%, yang mencerminkan penerapan sistem yang lebih terkontrol meskipun tetap menyimpan potensi pencemaran lingkungan jangka panjang apabila tidak dikelola secara ketat.

Lebih lanjut, Alnahas et al. menyoroti bahwa praktik pembakaran pada suhu rendah, yang masih umum dilakukan di banyak negara berkembang, berpotensi menghasilkan polutan beracun. Hal ini disebabkan oleh kandungan senyawa organik kompleks dalam produk farmasi yang memerlukan suhu tinggi untuk proses dekomposisi yang sempurna. Oleh karena itu, mereka merekomendasikan penggunaan metode insinerasi bersuhu tinggi, teknik imobilisasi bahan aktif melalui enkapsulasi, serta program daur ulang farmasi sebagai alternatif yang lebih berkelanjutan dalam pengelolaan limbah farmasi (Alnahas et al., 2020).

Organisasi Kesehatan Dunia (World Health Organization/WHO), melalui dokumen panduan berjudul "*Guidelines for the Safe Disposal of Unwanted Pharmaceuticals in and after Emergencies*", menegaskan bahwa limbah yang berasal dari industri farmasi harus dikelola dan dibuang secara aman. Panduan tersebut menguraikan berbagai pendekatan yang dapat diterapkan untuk meminimalkan atau menghilangkan potensi risiko terhadap kesehatan masyarakat maupun lingkungan. Selain itu, WHO juga memberikan pedoman penanganan limbah farmasi yang dapat diterapkan oleh negara-negara dengan keterbatasan dalam hal infrastruktur dan sumber daya. Secara keseluruhan, panduan ini memuat rekomendasi mengenai metode yang layak dan efektif untuk pengolahan serta pembuangan limbah farmasi secara aman dan bertanggung jawab (Bungau et al. 2018).

Di Indonesia, industri farmasi menunjukkan komitmen yang semakin tinggi terhadap pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang dihasilkan dari proses produksinya. Salah satu contoh implementasi nyata dari upaya tersebut ditunjukkan oleh PT Indofarma Tbk, yang berlokasi di Bekasi. Berdasarkan laporan yang disusun oleh Soewanko (2018), perusahaan ini telah menerapkan sistem pengelolaan limbah B3 melalui serangkaian tahapan, antara lain: reduksi, pemanfaatan kembali (*reuse*), pewadahan dan pengumpulan, pengangkutan internal, pengolahan internal, penyimpanan sementara, pengangkutan eksternal, serta pengolahan di luar fasilitas (*outplant treatment*). Tahap reduksi dilakukan untuk meningkatkan efisiensi proses dan menekan biaya pengolahan limbah. Strategi *reuse* diterapkan pada kemasan bekas yang masih memenuhi kriteria kelayakan penggunaan ulang. Dalam pengelolaan internal, PT Indofarma Tbk menggunakan mesin *Disk Mill* untuk menghancurkan ampul yang rusak, serta insinerator untuk membakar limbah padat, guna memastikan limbah tidak menimbulkan risiko bagi lingkungan maupun kesehatan.

Dengan mempertimbangkan kompleksitas dan potensi dampak yang ditimbulkan oleh

limbah padat industri farmasi terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat, maka kajian terhadap berbagai pendekatan pengelolaan dan pengolahannya menjadi penting untuk dilakukan. Artikel ini bertujuan untuk mereview berbagai literatur terkait solusi pengelolaan limbah padat dalam industri farmasi, baik di tingkat global maupun nasional, guna memberikan gambaran komprehensif sebagai dasar pengembangan kebijakan dan praktik yang lebih berkelanjutan.

LANDASAN TEORI

1. Jenis dan Sumber Limbah Padat Industri Farmasi

Limbah padat yang dihasilkan industri farmasi terdiri atas limbah yang berasal dari proses produksi, laboratorium, formulasi, dan sisa produk yang tidak memenuhi spesifikasi mutu. Limbah ini dapat berupa bahan kimia reaktif, pelarut, sisa obat, serta kemasan produk farmasi yang tidak terpakai. Karakteristik limbah tersebut menyebabkan limbah padat farmasi dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) (Azzahra & Saptarini, 2021). Menurut Damayanti dan Pratama (2022), kandungan zat aktif dalam limbah farmasi dapat mencemari tanah dan air jika tidak dikelola dengan baik, serta menimbulkan risiko resistensi antibiotik di lingkungan.

2. Strategi Pengelolaan Limbah Padat Farmasi

Strategi pengelolaan limbah farmasi di Indonesia umumnya mengikuti prinsip 3R (reduce, reuse, recycle) yang diperluas dengan pengolahan dan pembuangan akhir secara aman. Prasetyo dan Hadi (2020) menyatakan bahwa penerapan sistem pengelolaan limbah berbasis pendekatan hierarki pengelolaan limbah (waste management hierarchy) dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan dan menekan biaya operasional. Teknik insinerasi suhu tinggi merupakan salah satu metode utama yang direkomendasikan untuk menghancurkan senyawa berbahaya dalam limbah padat farmasi karena kemampuannya menurunkan volume limbah secara signifikan dan mengurai senyawa organik kompleks (Alnahas et al., 2020).

3. Kebijakan dan Pedoman Internasional

Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) melalui panduan "Guidelines for the Safe Disposal of Unwanted Pharmaceuticals in and after Emergencies" memberikan kerangka kerja global dalam penanganan limbah farmasi. Panduan ini menyarankan penggunaan insinerator bersuhu tinggi, enkapsulasi, serta strategi daur ulang yang aman untuk mengurangi dampak lingkungan dan risiko kesehatan (WHO, 2019). Di tingkat nasional, kebijakan pengelolaan limbah B3 industri farmasi diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kajian pustaka (literature review) sebagai metode utama dalam menganalisis isu pengelolaan limbah padat pada industri farmasi. Kajian pustaka dipilih karena mampu memberikan pemahaman menyeluruh berdasarkan sintesis berbagai sumber ilmiah yang telah dipublikasikan sebelumnya. Metode ini dilakukan secara sistematis melalui proses identifikasi, pengumpulan, evaluasi kritis, analisis, dan

penyintesisan data dari literatur yang relevan dengan topik penelitian..

Sumber data diperoleh dari berbagai publikasi ilmiah, termasuk artikel jurnal, prosiding konferensi, buku akademik, serta dokumen resmi dari lembaga lingkungan dan kesehatan. Literatur yang dikaji dipilih berdasarkan kriteria relevansi, kredibilitas, dan keterkinian, untuk memastikan bahwa informasi yang dihimpun mencerminkan kondisi dan perkembangan terbaru dalam pengelolaan limbah padat farmasi.

Fokus kajian meliputi strategi dan metode pengelolaan limbah padat yang umum digunakan, antara lain pembakaran (insinerasi), pembuangan ke landfill (landfilling), inertisasi, dan pengkapsulan. Dengan melakukan analisis terhadap berbagai pendekatan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kelebihan, kekurangan, serta implikasi lingkungan dan kesehatan dari masing-masing metode.

Hasil dari literature review ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam memperluas wawasan tentang praktik terbaik (best practices) dalam pengelolaan limbah padat di sektor farmasi. Selain itu, temuan penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi dasar dalam perumusan kebijakan yang lebih efektif dan berkelanjutan dalam menjaga kesehatan masyarakat serta kelestarian lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengelolaan dan Pengolahan Limbah Industri Farmasi dalam Bentuk Padat

1. Inertisasi



Gambar 1. Gambaran Proses Inertisasi

Inertisasi merupakan proses solidifikasi Limbah menggunakan semen dan material lainnya sebelum Limbah ditimbun di fasilitas penimbunan saniter (*sanitary landfill*), fasilitas penimbunan terkontrol (*controlled landfill*), atau fasilitas penimbunan akhir Limbah B3. Inertisasi dapat dilakukan terhadap limbah abu/residu hasil pembakaran insinerator.

Inertisasi adalah metode pengolahan limbah berbahaya yang bertujuan untuk mengurangi mobilitas dan kelarutan kontaminan beracun, terutama logam berat, dengan mencampurkan limbah ke dalam matriks stabil seperti semen, kapur, dan air. Proses ini menghasilkan bentuk padat yang tidak mudah larut, sehingga aman untuk dibuang ke landfill tanpa risiko pencemaran lingkungan. Menurut Mehrotra (2017), inertisasi efektif dalam menstabilkan logam berat dalam residu pembakaran limbah padat kota (MSW), dengan menurunkan tingkat pelindian hingga di bawah ambang batas toksisitas yang ditetapkan oleh EPA. Metode ini dianggap sebagai solusi yang hemat biaya dan dapat

diandalkan untuk pengelolaan limbah berbahaya sebelum pembuangan akhir.

2. Penimbunan Aman (*Secured Land Filling*)



Gambar 2. Gambar untuk Penimbunan Aman (*Secured Land Filling*)

Penimbunan aman (*secured landfill*) merupakan metode pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) yang dirancang secara teknis untuk mencegah pencemaran lingkungan melalui penerapan sistem pelapisan berlapis, pengumpulan lindi, dan pemantauan kualitas air tanah. Dalam metode ini, limbah B3 yang telah melalui proses stabilisasi atau solidifikasi ditempatkan dalam sel-sel khusus yang dilapisi material kedap air seperti geosintetik dan tanah liat, serta dilengkapi dengan sistem pengumpulan lindi dan sumur pantau untuk mendeteksi potensi kebocoran. Tujuan utama dari *secured landfill* adalah untuk memastikan bahwa limbah B3 tersimpan secara aman dalam jangka panjang tanpa mencemari tanah, air tanah, atau udara di sekitarnya. Metode ini sangat penting dalam pengelolaan limbah yang tidak dapat diolah lebih lanjut, seperti limbah radioaktif atau limbah industri tertentu, dan harus memenuhi standar serta regulasi lingkungan yang ketat (Mehrotra, 2017).

3. Insinerasi



Gambar 3. Gambaran Insinerasi Limbah Padat

Insinerasi adalah metode pengolahan limbah berbahaya melalui pembakaran pada suhu tinggi dalam kondisi terkendali, yang bertujuan untuk mengurangi volume limbah dan menghancurkan komponen berbahaya melalui proses oksidasi. Proses ini biasanya dilakukan pada suhu antara 800 hingga 1.200 derajat Celsius, memastikan penghancuran lengkap dari konstituen berbahaya. Fasilitas insinerasi modern dilengkapi dengan teknologi canggih untuk mengendalikan polusi udara, seperti sistem penyaringan dan pengendalian emisi, guna meminimalkan pelepasan zat berbahaya ke atmosfer (Simic J,

2024).

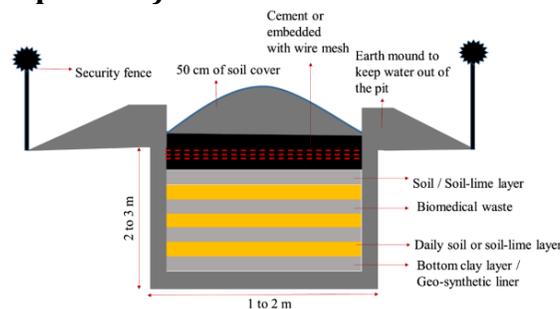
4. Pengkapsulan (*Encapsulation*)



Gambar 4. Proses Pengolahan Limbah Padat dalam Pengkapsulan (*Encapsulation*)

Pengkapsulan (*encapsulation*) adalah metode pengolahan limbah berbahaya yang bertujuan untuk mengisolasi limbah dari lingkungan dengan membungkusnya dalam material inert, sehingga mencegah pelepasan kontaminan ke lingkungan sekitar. Teknik ini efektif untuk limbah yang mengandung logam berat seperti merkuri, arsenik, nikel, dan kromium. Beberapa pendekatan yang digunakan meliputi makroenkapsulasi dengan polietilena, stabilisasi menggunakan polimer sulfur, serta penggunaan semen atau keramik fosfat yang terikat secara kimia. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk secara fisik mengimmobilisasi limbah guna mencegah kontak dengan agen pelindian seperti air, sehingga mengurangi risiko pencemaran lingkungan (Randall & Chattopadhyay, 2004).

5. Penguburan Dalam (*Deep Burial*)

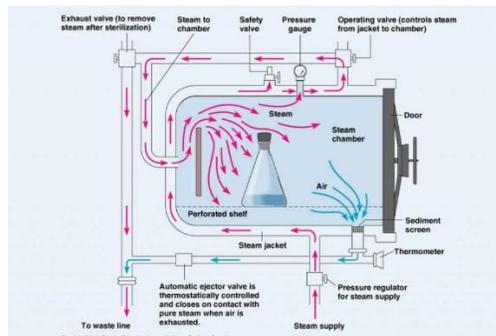


Gambar 5. Penjelasan Mekanisme Penguburan Dalam

Deep burial adalah metode pembuangan limbah berbahaya dengan menempatkannya di kedalaman signifikan dalam formasi geologi yang stabil, seperti batuan granit atau tanah liat, untuk memastikan isolasi jangka panjang dari biosfer. Metode ini sering diterapkan pada limbah yang sangat beracun atau tidak dapat diolah lebih lanjut, seperti limbah radioaktif atau limbah farmasi tertentu. Menurut Davis (1984), keunggulan utama dari deep burial adalah isolasi fisik yang tinggi, yang mengurangi risiko pencemaran air tanah dan lingkungan sekitar. Namun, tantangan utama dari metode ini adalah biaya tinggi untuk eksplorasi, pengembangan, dan pemantauan sistem

pembuangan yang dalam. Selain itu, repository yang ditempatkan dengan baik dapat memerlukan waktu ribuan tahun untuk terisi penuh oleh air tanah setelah ditutup, memberikan waktu isolasi yang panjang untuk degradasi limbah. Meskipun demikian, isolasi jangka panjang ini tidak selalu cukup untuk memungkinkan degradasi semua limbah, tetapi dapat memperlambat pelepasan kontaminan ke biosfer, yang pada gilirannya memungkinkan dilusi yang lebih efektif dibandingkan dengan pembuangan dangkal (Davis, 1984).

6. Autoklaf (*Autoclaving*)

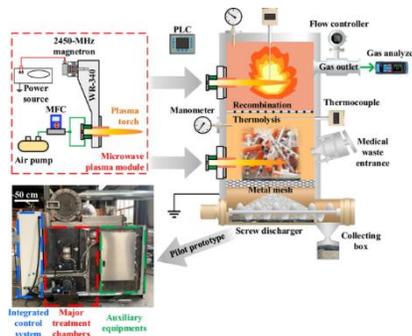


Gambar 6. Proses Autoklaf (*Autoclaving*)

Limbah padat disterilisasi menggunakan uap jenuh dalam bejana bertekanan untuk jangka waktu yang cukup lama pada suhu yang cukup tinggi guna menghancurkan patogen. Proses ini menghasilkan aliran limbah yang dapat digunakan untuk mengisi landfill bersama limbah kota lainnya (Azzahra & Saptarini 2021).

Autoklaf merupakan metode sterilisasi yang menggunakan uap air bertekanan tinggi untuk menonaktifkan mikroorganisme patogen dalam limbah padat farmasi. Proses ini dilakukan dengan memanaskan limbah pada suhu 121–134°C dengan tekanan 15–30 psi selama 30–60 menit, tergantung pada volume dan karakteristik limbah. Teknologi ini efektif untuk limbah yang mengandung bahan infeksius, seperti sisa bahan baku, peralatan laboratorium sekali pakai, dan media kultur mikroba.

7. Mikrowave (*Microwaving*)



Gambar 7. Proses Pengolahan Limbah Metode Mikrowave (*Microwaving*)

Mikrowave menggunakan medan listrik untuk memanaskan cairan dalam limbah sehingga membunuh komponen infeksius melalui konduksi. Limbah harus dihancurkan

terlebih dahulu dan dilembabkan sebelum dimasukkan ke dalam microwave (Azzahra & Saptarini 2021).

Penelitian oleh Azzahra dan Saptarini (2021) menunjukkan bahwa metode microwave efektif dalam menurunkan jumlah mikroba pada limbah farmasi, serta dapat diterapkan sebagai alternatif utama pengolahan limbah infeksius yang memerlukan sterilisasi tanpa emisi berbahaya. Selain itu, sistem microwave juga relatif cepat dan hemat energi dibandingkan metode pembakaran.

KESIMPULAN

Pengelolaan limbah padat industri farmasi memerlukan pendekatan yang komprehensif mengingat kandungan bahan berbahaya dan beracun (B3) di dalamnya yang dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan. Limbah ini berasal dari berbagai aktivitas seperti proses produksi, pencucian alat, hingga sisa produk farmasi yang tidak memenuhi standar mutu. Strategi pengelolaan global bervariasi, namun masih banyak yang belum memenuhi prinsip keberlanjutan, seperti praktik penimbunan terbuka di Asia dan Afrika. Beberapa metode yang direkomendasikan secara internasional antara lain insinerasi bersuhu tinggi, pengkapsulan, inertisasi, dan penguburan dalam, yang masing-masing memiliki keunggulan dalam mengisolasi atau menghancurkan kontaminan berbahaya.

Pada tingkat nasional, Indonesia menunjukkan komitmen dalam pengelolaan limbah farmasi melalui penerapan prinsip 3R dan teknologi pengolahan lanjutan. Contohnya saja seperti beberapa Industri Farmasi di Indonesia menerapkan sistem pengelolaan limbah B3 yang mencakup proses reduksi, reuse, insinerasi, serta pengangkutan dan pengolahan eksternal yang sesuai standar. Selain itu, dukungan regulasi seperti Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 dan pedoman dari WHO menjadi landasan penting bagi pengelolaan limbah yang aman dan bertanggung jawab. Dengan penguatan kebijakan dan peningkatan teknologi pengolahan, pengelolaan limbah farmasi diharapkan dapat lebih efektif dalam mencegah dampak lingkungan jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alnahas, F., et al. "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] Bungau, S., Tit, D.M., Fodor, K., Cioca, G., Agop, M., Iovan, C., Cseppento, D.C.N., Bumbu, A. & Bustea, C., 2018, 'Aspects regarding the pharmaceutical waste management in Romania', *Sustainability (Switzerland)*, 10(8).
- [4] Damayanti, R., and Y. D. Pratama. "Dampak Limbah Farmasi terhadap Lingkungan dan Upaya Mitigasinya." *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* 21, no. 3 (2022): 127–135.
- [5] Davis, S. N. "Deep Burial of Toxic Wastes." In *Groundwater Contamination*, 77–90. Washington, DC: The National Academies Press, 1984.
- [6] Mehrotra, A. "Inertization, Utilization, and Safe Disposal of Incineration Residues." Doctoral project, Old Dominion University. ODU Digital Commons, 2017.

- [7] Prasetyo, R., and S. Hadi. "Hierarki Pengelolaan Limbah dalam Industri Farmasi: Studi Implementasi di Indonesia." *Indonesian Journal of Environmental Management* 6, no. 2 (2020): 33–41.
- [8] Randall, P., and S. Chattopadhyay. "Advances in Encapsulation Technologies for the Management of Mercury-Contaminated Hazardous Wastes." *Journal of Hazardous Materials* 114, no. 1–3 (2004): 211–223.
- [9] Simic, J. "The Case for Incineration in Hazardous Waste Management." *Journal of Environmental Analytical Chemistry* 11, no.03 (2024).
- [10] Soewanko, R. "Studi Implementasi Pengelolaan Limbah B3 di PT Indofarma Tbk." *Jurnal Teknologi Lingkungan* 19, no. 1 (2018): 21–29.
- [11] World Health Organization. *Guidelines for the Safe Disposal of Unwanted Pharmaceuticals in and after Emergencies*. Geneva: WHO Press, 2019.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN