

PENGELOLAAN LIMBAH B3 DI INDONESIA: Tinjauan Regulasi, Teknologi, dan Peran Pendidikan dalam Mewujudkan Keberlanjutan

Deswita Sari^{1*}

Universitas Mahmud Yunus Batusangkar, Padang, Indonesia

sdeswita539@gmail.com

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2025

Revised: 2025

Accepted: 2025

Keyword:

Pengolahan Limbah B3;
Industri;
Kesehatan;
Regulasi;
Teknologi Pengolahan;
Pendidikan Lingkungan;
Blended Learning.

ABSTRACT

The management of hazardous and toxic waste (B3) in Indonesia remains a complex challenge, particularly in the health and industrial sectors. Although regulations and technical guidelines have been established, their implementation is often inconsistent and hindered by limited infrastructure, weak enforcement, and a lack of technical expertise. This review article synthesizes findings from various studies to analyze the gaps between regulations and practice, while also exploring technological and educational approaches to strengthen waste management systems. Using a descriptive qualitative method and literature analysis, the discussion highlights major obstacles such as insufficient incineration facilities, weak segregation practices, and low compliance with technical standards. At the same time, several successful cases demonstrate that integrated systems, international standards, and collaborative partnerships can improve efficiency and accountability in hazardous waste management. Furthermore, the role of education, particularly blended learning in environmental engineering courses, is emphasized as an essential factor in preparing competent human resources. The review concludes that a holistic strategy combining preventive and curative approaches, technological innovation, regulatory consistency, and capacity building is crucial to achieve effective, safe, and sustainable hazardous waste management in Indonesia.

How to Cite:

Sari, Deswita. (2025). Pengelolaan Limbah B3 Di Indonesia: Tinjauan Regulasi, Teknologi, Dan Peran Pendidikan Dalam Mewujudkan Keberlanjutan. *Interface: Journal of Technique*, 1(1), 11-20.

INTRODUCTION

Pertumbuhan pesat sektor industri dan layanan kesehatan di Indonesia membawa konsekuensi yang tidak terelakkan, yaitu meningkatnya volume limbah, termasuk limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Limbah jenis ini, karena sifat kimia, fisika, maupun biologisnya, berpotensi menimbulkan ancaman serius terhadap kesehatan manusia serta kelestarian lingkungan. Pemerintah melalui Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 telah menegaskan prinsip kehati-hatian dalam pengelolaan limbah B3 dengan standar teknis yang harus dipatuhi. Dalam praktiknya, limbah B3 di sektor industri umumnya berasal dari proses produksi, perawatan mesin, sisa bahan kimia, hingga logam berat. Sementara itu, di sektor kesehatan, limbah B3 mencakup limbah infeksius, farmasi kadaluarsa, bahan kimia laboratorium, serta benda tajam medis. Kedua sektor ini memiliki peran signifikan sebagai penghasil limbah yang jika tidak dikelola dengan baik, berpotensi mencemari tanah, air, dan udara serta meningkatkan risiko penyakit menular.

Berbagai penelitian mengungkapkan bahwa pengelolaan limbah B3 di Indonesia masih jauh dari optimal. Nursabrina et al. (2021) menemukan kasus pembuangan limbah industri secara ilegal yang berpotensi menimbulkan pencemaran permanen. Di Sumatera Barat, Widian Nigrum et al. (2024) menunjukkan adanya kendala serius dalam penyimpanan dan pengangkutan limbah medis karena minimnya fasilitas insinerasi, sehingga limbah harus dikirim ke luar pulau dengan risiko kontaminasi lebih tinggi. Sementara itu, Sitogasa dan Alim (2023) menyoroti industri rokok di Pasuruan yang masih menghadapi kendala infrastruktur dan lemahnya penegakan regulasi, meskipun perangkat hukum seperti Peraturan Menteri LHK Nomor 6 Tahun 2021 telah tersedia. Fakta-fakta ini memperlihatkan bahwa meskipun kerangka regulasi cukup lengkap, implementasinya masih belum merata dan konsisten di seluruh wilayah Indonesia.

Untuk mengatasi kompleksitas tersebut, sejumlah pendekatan telah ditawarkan. Salah satunya adalah pendekatan *Input-Process-Output (IPO)* yang dinilai mampu menyajikan gambaran sistematis tentang aliran limbah, mulai dari sumber hingga tahap akhir pengolahan (Fatur Ramdan et al., 2025). Dengan mengidentifikasi input berupa jenis limbah, proses berupa teknologi pengolahan, dan output berupa hasil akhir pengelolaan, strategi yang lebih efektif dapat dirancang sesuai karakteristik limbah. Teknologi insinerasi, autoklaf, solidifikasi, dan daur ulang bahan kimia merupakan metode yang lazim diterapkan, meski tingkat efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh kemampuan infrastruktur dan kapasitas sumber daya manusia di tiap sektor. Studi kasus PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia (Ratman & Syafrudin, 2021) menunjukkan bahwa penerapan sistem *cradle to grave* dapat berjalan baik dengan dukungan regulasi internal dan komitmen perusahaan. Hal ini tidak hanya berdampak pada

perlindungan lingkungan, tetapi juga memberikan nilai tambah ekonomi melalui penerapan prinsip *polluters pay* dan *reuse-recycle-recover*.

Namun, tidak semua industri memiliki kemampuan serupa. Industri kecil dan menengah (IKM), misalnya, kerap terkendala biaya pengadaan teknologi pengolahan serta terbatasnya tenaga ahli. Kondisi ini semakin diperburuk oleh meningkatnya limbah medis selama pandemi COVID-19, seperti masker sekali pakai dan alat medis lainnya, yang banyak menumpuk karena keterbatasan fasilitas pengolahan di tingkat lokal (Widian Nigrum et al., 2024). Jika dibiarkan, hal ini berpotensi menjadi sumber penyebaran penyakit baru. Sebaliknya, sektor otomotif menunjukkan bahwa dengan pengelolaan yang tepat, limbah dapat dimanfaatkan kembali, misalnya oli bekas atau logam yang diproses ulang menjadi produk bernilai guna. Dengan demikian, pengelolaan limbah B3 tidak hanya relevan dalam konteks kesehatan lingkungan, tetapi juga memiliki implikasi ekonomi yang signifikan bagi keberlanjutan industri.

Aspek akademik dan pendidikan memiliki peran penting dalam membangun kompetensi sumber daya manusia untuk menghadapi tantangan pengelolaan limbah B3. Program Studi Teknik Kimia di Universitas Islam Indonesia (UII), misalnya, telah berupaya memperkuat pemahaman mahasiswa melalui Mata Kuliah Teknik Lingkungan yang membahas pencemaran dan metode pengolahan limbah cair, padat, dan gas. Untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran, pendekatan *blended learning* berbasis *student-centered learning* mulai diterapkan. Dengan integrasi antara kuliah tatap muka, praktikum, serta studi kasus nyata seperti pengolahan limbah plastik menjadi bio-oil, mahasiswa tidak hanya mendapatkan pengetahuan teoritis, tetapi juga terlatih dalam problem solving, komunikasi, dan pengelolaan proyek. Model pembelajaran ini diharapkan mampu menghasilkan lulusan yang tidak hanya memahami teori, tetapi juga siap menghadapi tantangan nyata di dunia industri dan kesehatan terkait pengelolaan limbah B3.

Literatur dan berbagai studi kasus menunjukkan bahwa pengelolaan limbah B3 membutuhkan pendekatan holistik yang melibatkan sinergi antara regulasi pemerintah, komitmen sektor industri dan kesehatan, serta kontribusi akademik dalam mencetak tenaga ahli. Peningkatan kesadaran, pelatihan teknis, dan penerapan teknologi inovatif menjadi kunci dalam mewujudkan sistem pengelolaan limbah B3 yang berkelanjutan. Lebih jauh lagi, praktik pengelolaan limbah yang efektif terbukti mendukung ekonomi sirkular, mengurangi emisi karbon, serta membuka peluang kerja baru di sektor pengolahan limbah, sehingga relevan tidak hanya dalam skala nasional, tetapi juga dalam konteks global.

METHODS

Metode yang digunakan dalam artikel ini adalah pendekatan kualitatif deskriptif dengan analisis literatur. Pendekatan ini dipilih karena masalah pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di Indonesia bersifat multidimensi, mencakup aspek teknis, regulatif, sosial, dan edukatif. Dengan kajian literatur, artikel ini dapat mengidentifikasi pola kesenjangan antara regulasi

yang berlaku dengan implementasi di lapangan, sekaligus mengevaluasi sejauh mana pendidikan di bidang teknik lingkungan mampu menjawab tantangan tersebut.

Sumber data diperoleh dari artikel jurnal terakreditasi, laporan institusi, dan dokumen regulasi yang diterbitkan dalam kurun lima tahun terakhir. Pemilihan sumber dilakukan secara purposif untuk memastikan relevansi dengan isu pengelolaan limbah B3. Data kemudian dikategorikan berdasarkan sektor penghasil limbah (industri, kesehatan, dan pendidikan), metode pengolahan yang digunakan, serta kendala yang dihadapi. Strategi ini memungkinkan peneliti menganalisis hubungan antara kompleksitas jenis limbah dengan efektivitas metode pengelolaannya.

Analisis data dilakukan melalui kerangka Input–Process–Output (IPO) yang diposisikan sebagai model konseptual. Tahap input mengacu pada identifikasi sumber limbah, baik dari industri farmasi, rumah sakit, maupun laboratorium pendidikan. Tahap proses mencakup analisis metode pengolahan, seperti insinerasi, autoklaf, dan stabilisasi/solidifikasi, serta evaluasi faktor pendukung dan penghambat. Tahap output dianalisis dalam bentuk dampak lingkungan dan sosial yang ditimbulkan, serta peluang penerapan prinsip *reuse, recycle, recover*. Dengan kerangka ini, artikel tidak hanya menggambarkan alur teknis, tetapi juga menilai konsistensi praktik lapangan dengan prinsip keberlanjutan.

Dimensi pendidikan dianalisis melalui studi implementasi *blended learning* pada mata kuliah Teknik Lingkungan. Analisis difokuskan pada bagaimana integrasi teori, praktikum, dan studi kasus dapat meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap isu pengelolaan limbah. Data pembelajaran—yang meliputi pre-test, post-test, angket persepsi, dan observasi kelas—dikaji untuk mengidentifikasi efektivitas metode pembelajaran berbasis kasus nyata dalam membentuk kompetensi analitis mahasiswa. Hal ini kemudian dibandingkan dengan tantangan pengelolaan limbah di lapangan untuk melihat kesenjangan antara dunia akademik dan praktik nyata.

Validitas analisis dijaga dengan menggunakan teknik triangulasi sumber, yaitu membandingkan hasil kajian literatur dengan regulasi resmi dan laporan implementasi di lapangan. Temuan dari kedua dimensi—praktik pengelolaan limbah B3 dan inovasi pembelajaran—kemudian dihubungkan untuk mengungkap bagaimana pendidikan dapat berkontribusi pada penguatan sistem pengelolaan limbah secara berkelanjutan. Dengan analisis ini, artikel mampu memberikan gambaran menyeluruh sekaligus kritis terhadap kondisi eksisting, serta mengarahkan pada rekomendasi berbasis bukti (*evidence-based recommendation*) yang aplikatif bagi industri, layanan kesehatan, dan dunia pendidikan.

RESULT AND DISCUSSION

Pengelolaan limbah B3 di Indonesia hingga kini masih menjadi tantangan besar karena hampir semua sektor menghasilkan limbah berbahaya yang sulit ditangani dan berpotensi menimbulkan ancaman bagi lingkungan maupun kesehatan manusia. Salah satu contoh nyata terlihat pada industri rokok. Kajian Ardisty Sitogasa dan Syahirul Alim (2023) memperlihatkan lemahnya sistem pengendalian limbah yang dihasilkan industri ini akibat keterbatasan sarana serta teknologi pengolahan yang tersedia. Fenomena tersebut menegaskan bahwa kesadaran pelaku usaha dalam mengelola limbah masih rendah dan kesiapan infrastruktur juga belum memadai, sehingga upaya untuk menekan dampak pencemaran lingkungan belum dapat berjalan maksimal.

Kondisi yang serupa juga muncul pada skala industri besar. Penelitian Berliana, Murti, dan Utomo (2023) terhadap PT X menemukan bahwa meskipun perusahaan tersebut telah memiliki sistem pengelolaan limbah, hambatan masih sering terjadi, terutama dalam tahapan pemisahan dan pemusnahan. Hambatan teknis ini mengakibatkan pencemaran tetap berpotensi terjadi karena alur pengolahan tidak berjalan sesuai standar. Artinya, penerapan sistem semata tidak cukup tanpa dukungan teknologi yang tepat dan manajemen yang kuat. Oleh karena itu, integrasi antara inovasi teknologi dan sistem manajerial menjadi keharusan agar tujuan utama pengelolaan limbah, yakni mengurangi potensi pencemaran, dapat tercapai.

Permasalahan pengelolaan limbah B3 tidak hanya terkait dunia industri, melainkan juga layanan kesehatan. Nigrum et al. (2024) menyoroti bahwa di Sumatera Barat volume limbah medis terus meningkat, namun ketersediaan fasilitas pengolahan tidak seimbang. Minimnya infrastruktur seperti insinerator berstandar lingkungan mendorong munculnya risiko kesehatan masyarakat yang lebih besar. Fakta ini memperlihatkan pentingnya peran pemerintah daerah untuk melakukan intervensi, baik dalam bentuk regulasi maupun dukungan penyediaan sarana, agar sistem pengolahan limbah medis dapat berjalan lebih efektif.

Nursabrina, Joko, dan Septiani (2021) menegaskan bahwa lemahnya regulasi teknis serta terbatasnya teknologi merupakan hambatan utama dalam pengelolaan limbah B3. Selain itu, rendahnya kepatuhan perusahaan terhadap standar pengolahan juga memperburuk keadaan. Hal ini menunjukkan bahwa permasalahan limbah B3 bukan hanya soal teknis, tetapi juga berkaitan erat dengan keseriusan aktor-aktor yang terlibat dalam mematuhi aturan. Dengan demikian, dibutuhkan kolaborasi yang erat antara pemerintah, pelaku industri, dan masyarakat agar terbentuk sistem pengelolaan yang efektif dan berkelanjutan.

Pengelolaan limbah B3 di Indonesia menunjukkan variasi praktik antara sektor industri dan sektor kesehatan. Setiap penelitian memberikan gambaran yang berbeda, baik dari aspek metode pengelolaan, kendala teknis, maupun tingkat kepatuhan terhadap regulasi. Ringkasan temuan penelitian terkait ditampilkan pada Tabel berikut:

Tabel. Rangkuman Pengelolaan Limbah B3 di Sektor Kesehatan dan Industri

	Penulis	Tahun	Jenis Pelicin	Metode Formulasi	Hasil dan Pembahasan
1	Nurfitriya et al.	2022	Limbah Obat Farmasi	Observasi & Wawancara	Mayoritas fasilitas melakukan pemusnahan mandiri, tetapi belum banyak yang bekerja sama dengan pihak ketiga. Standar pengelolaan belum sepenuhnya diterapkan.
2	Syafruddin	2008	Limbah B3 Industri Farmasi	Observasi Teknis Industri	Pengelolaan dilakukan secara internal menggunakan prinsip 5R, pemisahan limbah sejak sumber, dan sistem inplant treatment serta insinerasi. Efisiensi masih jadi kendala.
3	Aini	2019	Limbah Medis Rumah Sakit	Studi Kualitatif Deskriptif	Sebagian besar rumah sakit belum memiliki insinerator berizin, mengakibatkan penyimpanan limbah melebihi batas aman. Tumpukan limbah menimbulkan risiko kontaminasi.
4	Najwa & Elvania	2023	Limbah B3 Rumah Sakit	Observasi Langsung 30 Hari	Prosedur sudah sesuai regulasi; kerjasama dengan PT pengelola limbah B3 terjalin; pelaporan internal dan eksternal dijalankan secara sistematis.

Tabel di atas memperlihatkan bahwa fasilitas kesehatan skala kecil umumnya masih menghadapi keterbatasan infrastruktur dan ketidakpatuhan regulasi, sementara industri besar cenderung memiliki sistem internal yang lebih terstruktur meski tetap dibebani biaya tinggi dan kebutuhan tenaga ahli. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas fasilitas, dukungan regulasi, dan kemitraan dengan pihak ketiga sangat menentukan keberhasilan pengelolaan limbah B3. Temuan tersebut menegaskan bahwa perbedaan antar sektor tidak hanya mencerminkan ketersediaan sumber daya, tetapi juga menggambarkan sejauh mana institusi mampu mengintegrasikan aspek teknis, administratif, dan kepatuhan hukum ke dalam sistem pengelolaan limbah.

Pendekatan komprehensif juga menjadi syarat penting untuk menjawab kompleksitas ini. Ramdan, Zahra, dan Widya (2025) menekankan bahwa limbah tidak bisa hanya dipandang sebagai hasil akhir yang perlu diolah, melainkan harus dikendalikan sejak tahap input, proses, hingga output produksi. Dengan strategi semacam ini, pencegahan dapat berjalan seiring dengan pengolahan, sehingga jumlah limbah yang dihasilkan dapat ditekan sejak awal. Perspektif ini memberikan pandangan baru bahwa pengelolaan limbah bukan sekadar persoalan akhir, tetapi merupakan bagian integral dari siklus produksi.

Studi kasus pada perusahaan multinasional dapat menjadi bahan pembelajaran. Ratman dan Syafrudin (2010) menunjukkan bahwa PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia berhasil menerapkan sistem pengelolaan limbah yang terintegrasi. Hasilnya tidak hanya efisiensi operasional, tetapi juga pengurangan signifikan terhadap potensi pencemaran. Keberhasilan ini erat kaitannya dengan penerapan standar internasional yang ketat, sehingga dapat dijadikan contoh bagi industri nasional untuk meningkatkan kualitas pengelolaan limbahnya.

Praktik pengelolaan limbah di bidang farmasi menunjukkan adanya kesenjangan yang masih cukup lebar dengan standar. Nurfitriya, Rahayu, dan

Rachmawati (2022) mendapati bahwa di beberapa sarana kefarmasian, pemusnahan limbah obat masih dilakukan dengan cara yang tidak tepat, seperti pembuangan langsung ke lingkungan. Praktik semacam ini tentu sangat berisiko karena dapat mencemari tanah dan air, serta berdampak negatif terhadap kesehatan masyarakat dalam jangka panjang.

Pada sektor rumah sakit, keterbatasan sarana masih menjadi sorotan penting dan menjadi salah satu hambatan terbesar dalam mewujudkan sistem pengelolaan limbah yang aman. Najwa dan Elvania (2023) mencatat bahwa di Rumah Sakit Aisiyyah Bojonegoro, fasilitas penyimpanan sementara limbah belum tersedia secara memadai sehingga berpotensi menimbulkan penumpukan limbah di luar batas waktu aman. Selain itu, mekanisme monitoring internal maupun eksternal juga belum berjalan optimal, yang menyebabkan pengawasan terhadap alur limbah tidak konsisten. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Aini (2019) di Sumatera Barat yang menegaskan perlunya dukungan lintas sektor, baik dari pemerintah, tenaga kesehatan, maupun pihak ketiga yang berizin, untuk memastikan pengelolaan limbah medis dapat dilakukan secara konsisten, terstandar, dan memenuhi aspek keamanan. Kondisi tersebut menegaskan bahwa sektor kesehatan masih menjadi titik rawan yang harus mendapat perhatian serius, mengingat limbah medis memiliki potensi pencemaran yang tinggi dan berdampak langsung terhadap masyarakat sekitar.

Pada sektor industri juga memperlihatkan masalah yang tidak kalah kompleks. Syafruddin (2008), dalam studinya pada PT Indofarma Tbk, Bekasi, menemukan adanya kesenjangan nyata antara kebijakan internal perusahaan dan implementasi teknis di lapangan. Walaupun perusahaan telah memiliki regulasi internal terkait pengelolaan limbah, praktik pemilahan limbah padat B3 belum dilaksanakan secara konsisten sesuai kategori bahaya. Inkonsistensi ini mencerminkan lemahnya penerapan standar operasional prosedur yang seharusnya menjadi pedoman utama dalam proses pengelolaan limbah. Akibatnya, efektivitas kebijakan yang sudah dirancang menurun, sehingga risiko pencemaran tetap tinggi meskipun sistem manajemen secara administratif telah tersedia.

Dari rangkaian penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa pengelolaan limbah B3 di Indonesia masih menghadapi tantangan yang bersifat multidimensi. Faktor regulasi yang belum sepenuhnya ditegakkan, keterbatasan teknologi pengolahan, rendahnya kesadaran pelaku usaha, serta minimnya sarana di sektor kesehatan merupakan elemen yang saling berkaitan dan memperumit permasalahan. Beberapa perusahaan memang telah menunjukkan praktik pengelolaan yang relatif lebih baik, namun secara umum masih dibutuhkan upaya perbaikan di berbagai sektor untuk mencapai standar pengelolaan yang ideal. Oleh karena itu, strategi penguatan regulasi, pengembangan teknologi ramah lingkungan, dan peningkatan kapasitas sumber daya manusia merupakan langkah penting yang harus segera diimplementasikan.

Keberhasilan pengelolaan limbah B3 tidak hanya ditentukan oleh aspek teknis, tetapi juga oleh sinergi antara pendekatan regulatif dan dukungan praktis di lapangan. Integrasi pendekatan preventif dan kuratif menjadi kunci yang sangat penting. Pendekatan preventif menitikberatkan pada upaya pengendalian sejak awal produksi dengan memperhatikan efisiensi bahan baku, pemisahan limbah sejak sumbernya, serta penerapan prinsip *reduce, reuse, recycle, replace, and recovery* (5R). Sementara itu, pendekatan kuratif berfokus pada pengolahan limbah yang sudah dihasilkan agar tidak menimbulkan pencemaran lebih lanjut melalui teknologi insinerasi berstandar lingkungan, autoklaf, maupun metode solidifikasi.

Apabila kedua pendekatan ini dijalankan secara simultan, maka sistem pengelolaan limbah B3 akan lebih efektif, efisien, dan berkesinambungan. Hal ini tidak hanya berdampak pada peningkatan keamanan lingkungan dan kesehatan masyarakat, tetapi juga mendukung tercapainya tujuan pembangunan berkelanjutan. Dengan demikian, komitmen bersama dari pemerintah, sektor swasta, dan institusi kesehatan sangat diperlukan untuk memperkuat sistem pengelolaan limbah B3 di Indonesia agar lebih adaptif, terukur, dan mampu menjawab tantangan di masa mendatang.

CONCLUSION

Pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di Indonesia masih menghadapi berbagai kendala meskipun regulasi serta pedoman teknis telah tersedia. Efektivitas pengelolaan sangat ditentukan oleh kapasitas fasilitas, kepatuhan pada prosedur standar, dan kerja sama dengan pihak ketiga yang berizin. Sektor kesehatan, terutama apotek dan klinik pratama, masih banyak yang mengandalkan pemusnahan mandiri dengan keterbatasan fasilitas insinerasi dan rendahnya pelatihan teknis, sehingga berpotensi meningkatkan risiko pencemaran.

Industri besar dan perusahaan multinasional relatif lebih tertata karena menerapkan prinsip 5R dan konsep *cradle to grave*. Meski demikian, tingginya biaya pengolahan dan kebutuhan tenaga ahli menjadi hambatan serius. Di sisi lain, rumah sakit yang memiliki sistem manajemen terdokumentasi lebih mampu menjaga akuntabilitas, salah satunya Rumah Sakit Aisyiyah Bojonegoro yang berhasil mengoptimalkan praktik pengelolaan melalui kepatuhan regulasi dan kerja sama dengan pengelola limbah resmi.

Masalah administratif juga perlu diperhatikan, khususnya terkait pelaporan limbah B3 yang masih belum konsisten di banyak institusi. Kondisi ini memperlihatkan adanya kesenjangan antara kebijakan dan implementasi di lapangan. Keberhasilan pengelolaan pada beberapa institusi membuktikan bahwa kesadaran institusional, dukungan regulasi, dan kemitraan menjadi faktor penting dalam menekan dampak lingkungan yang ditimbulkan limbah B3.

Peningkatan kompetensi sumber daya manusia merupakan aspek yang tidak kalah penting. Penerapan metode pembelajaran inovatif seperti *blended learning* terbukti mampu meningkatkan pemahaman, keterampilan, dan antusiasme mahasiswa dalam bidang teknik lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa strategi pendidikan yang tepat dapat mencetak tenaga pengelola yang lebih siap menghadapi tantangan teknis maupun administratif dalam pengelolaan limbah B3.

Pengelolaan limbah B3 di Indonesia membutuhkan strategi integratif yang menggabungkan pendekatan preventif dan kuratif, penyediaan infrastruktur yang memadai, dukungan regulasi yang konsisten, serta peningkatan kapasitas SDM melalui pendidikan dan pelatihan. Dengan langkah yang terarah dan kolaborasi antar pemangku kepentingan, sistem pengelolaan limbah B3 di Indonesia berpotensi berkembang menjadi lebih efektif, aman, dan berkelanjutan.

REFERENCES

- Aini, F. (2019). Pengelolaan sampah medis rumah sakit atau limbah B3 di Sumatera Barat. *Jurnal Education and Development*, 7(1), 13–16. <http://ojs.ipts.ac.id/index.php/ED/article/view/1970>
- Ardisty Sitogasa, P. S., & Syahirul Alim, M. (2023). Kajian pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) industri rokok Kabupaten Pasuruan. *Student Scientific Creativity Journal (SSCJ)*, 1(4), 245–260. <https://doi.org/10.55606/sscj-amik.v1i4.1609>
- Berliana, P. N., Murti, R. H. A., & Utomo, W. D. (2023). Kajian pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) PT. X. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(2), 400–408. <https://doi.org/10.55123/insologi.v2i2.1280>
- Najwa, S., & Elvania, N. C. (2023). Penanganan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di Rumah Sakit Aisyiyah Bojonegoro. *Chemviro: Jurnal Kimia dan Ilmu Lingkungan*, 1(1), 1–6. <https://ejournal.unigoro.ac.id/index.php/chemviro/article/view/1460>
- Nigrum, W., Frinaldi, A., Lanin, D., Rembrandt, & Sholichin, M. (2024). Analisis pengelolaan limbah B3 medis di Sumatera Barat. *Jurnal Migasian*, 8(1), 56–64. <http://jurnal.unp.ac.id/index.php/migasian/article/view/6723>
- Nurfitria, N. L., Rahayu, R. T., & Rachmawati, A. (2022). Praktek pengelolaan dan pemusnahan limbah obat pada sarana pelayanan kefarmasian komunitas di wilayah kerja Bandung Timur. *Jurnal Farmasi Galenika (Galenika Journal of Pharmacy)*, 8(2), 192–200. <https://doi.org/10.22487/j24428744.2022.v8.i2.19200>
- Nursabrina, A., Joko, T., & Septiani, O. (2021). Kondisi pengelolaan limbah B3 industri di Indonesia dan potensi dampaknya: Studi literatur. *Jurnal Riset*

- Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*, 13(1), 80–83.
<https://doi.org/10.34011/juriskesbdg.v13i1.1841>
- Ramdan, M. F., Zahra, A., & Widya, A. R. (2025). Pengelolaan limbah dan dampak lingkungan pada pabrik kimia dan rumah sakit: Studi literatur mengenai hubungan produk dan limbah dengan pendekatan input-proses-output. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran (JRPP)*, 8(1), 2961–2964.
<http://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jrpp>
- Ratman, C. R., & Syafrudin. (2010). Penerapan pengelolaan limbah B3 di PT. Toyota Motor Manufacturing Indonesia. *Jurnal Presipitasi*, 7(2), 62–70.
<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/presipitasi/article/view/3328>
- Syafruddin. (2008). Evaluasi sistem pengelolaan limbah padat B3 PT. Indofarma, Tbk Bekasi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 29(3), 214–216.
<https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/article/view/4316>