



Pemanfaatan *Sludge* IPAL Sebagai Substitusi Bahan Baku Produksi Pupuk NPK pada Industri Pupuk PT X

Fina Rahma Permata¹, Praditya Sigit Ardisty Sitosaga^{1*}

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi: praditya.s.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 20-12-2025

Disetujui: 24-12-2025

Diterbitkan: 30-3 2026

Kata Kunci: limbah B3, pupuk NPK, pemanfaatan *sludge*, *sludge* IPAL

ABSTRAK

PT X sebagai produsen pupuk terbesar di Indonesia yang berlokasi di Provinsi Jawa Timur menghasilkan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) berupa *sludge* dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang terus meningkat seiring peningkatan kapasitas produksi, mencapai 24,25 ton pada Triwulan IV 2024. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kelayakan teknis pemanfaatan *sludge* IPAL sebagai bahan substitusi dalam formulasi pupuk NPK di PT X serta mengevaluasi potensi pengurangan volume limbah B3 dan kontribusinya terhadap efisiensi produksi dan kinerja keberlanjutan perusahaan. Metode penelitian menggunakan analisis deskriptif dengan pengumpulan data primer dan sekunder meliputi karakterisasi *sludge*, dokumen teknis, dan informasi proses produksi. Hasil karakterisasi menunjukkan *sludge* mengandung P₂O₅ total 11,6%, CaO 26,1%, N total 2,33%, yang berpotensi sebagai sumber fosfor dan kalsium meskipun kadar nitrogen dan kalium masih di bawah standar SNI 2803:2012. *Sludge* dikategorikan sebagai limbah B3 kode B301-7 yang dimanfaatkan melalui proses pengeringan, pengujian laboratorium, dan pencampuran dalam produksi pupuk NPK granulasi dan reaksi dengan batas maksimal 1% dari kapasitas produksi. Pemanfaatan *sludge* mengurangi volume limbah B3 yang harus dikelola pihak ketiga, meminimalkan biaya transportasi dan *disposal*, serta mendukung prinsip industri hijau sesuai Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 50 Tahun 2020. Program ini berkontribusi pada peningkatan kinerja lingkungan melalui aspek *beyond compliance* PROPER dan pencapaian SDGs 6, SDGs 9, dan SDGs 12, sehingga memberikan rekomendasi strategis optimalisasi pengelolaan limbah B3 yang mendukung efisiensi produksi dan kinerja keberlanjutan perusahaan.

Received: 20-12-2025

Accepted: 24-12-2025

Published: 30-3-2026

Keywords:

hazardous waste, NPK fertilizer, sludge utilization, wastewater sludge

ABSTRACT

PT X, as the largest fertilizer producer in Indonesia located in East Java Province, generates Hazardous and Toxic Waste (B3) in the form of *sludge* from the Wastewater Treatment Plant (WWTP), which continues to increase in line with production capacity expansion, reaching 24.25 tons in the fourth quarter of 2024. The objective of this research is to analyze the technical feasibility of utilizing WWTP *sludge* as a substitute material in NPK fertilizer formulation at PT X and to evaluate the potential reduction of B3 waste volume and its contribution to production efficiency and corporate sustainability performance. The research method employs descriptive analysis with primary and secondary data collection including *sludge* characterization, technical documents, and production process information. Characterization results show that the *sludge* contains 11.6% total P₂O₅, 26.1% CaO, and 2.33% total N, which has potential as a source of phosphorus and calcium, although nitrogen and potassium levels remain below SNI 2803:2012 standards. The *sludge* is categorized as B3 waste code B301-7, which is utilized through drying, laboratory testing, and mixing processes in NPK fertilizer production via granulation and reaction with a maximum limit of 1% of production capacity. *Sludge* utilization reduces the volume of B3 waste that must be managed by third parties, minimizes transportation and disposal costs, and supports green industry principles in accordance with Minister of Industry Regulation Number 50 of 2020. This program contributes to environmental performance improvement through *beyond compliance* aspects of PROPER and achievement of SDGs 6, 9, and 12, thereby providing strategic recommendations for B3 waste management optimization that supports production efficiency and corporate sustainability performance.

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara agraris menempatkan sektor pertanian sebagai penopang utama ketahanan pangan nasional (Salasa, 2021). PT X sebagai produsen pupuk terbesar di Indonesia dengan kapasitas produksi lebih dari 5 juta ton per tahun, memiliki peran strategis dalam mendukung produktivitas pertanian melalui penyediaan pupuk berkualitas. Pada proses produksi menggunakan beragam bahan baku seperti amoniak (NH_3), asam fosfat (H_3PO_4), asam sulfat (H_2SO_4), dan kalium klorida (KCl) yang mengandung senyawa berbahaya dan beracun seperti logam berat, fluorida, dan senyawa nitrogen oksida, sehingga berpotensi menghasilkan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) setelah melewati tahapan proses produksi (Setyawati & Febrianti, 2024).

Proses produksi pupuk di PT X menghasilkan limbah cair yang diolah melalui Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal. Proses pengolahan ini menghasilkan endapan padat (*sludge*) yang terus meningkat seiring peningkatan kapasitas produksi, mencapai 24,25 ton pada Triwulan IV 2024. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, *sludge* IPAL dikategorikan sebagai limbah B3 kode B301-7 yang memerlukan pengelolaan khusus meskipun mengandung unsur hara potensial seperti C-Organik 4,89%, N 0,96%, P_2O_5 0,22%, K_2O 0,08%, dan CaCO_3 1,58% (Rusliansyah et al., 2012).

Pengelolaan *sludge* sebagai limbah B3 menghadapi tantangan kompleks terkait biaya transportasi, pengelolaan, dan *disposal* yang harus diserahkan ke pihak ketiga sebagai pengelola eksternal yang berizin. *Sludge* yang tidak dikelola dengan tepat berpotensi mencemari tanah dan air tanah (Suhartawan et al., 2023). PT X telah memperoleh Persetujuan Teknis di Bidang Pengelolaan Limbah B3 dengan Kegiatan Pemanfaatan Limbah B3 dengan Nomor S.321/G/G.4/PLB.3.0/B/5/2025 yang memberikan izin untuk mengelola dan memanfaatkan limbah B3 secara mandiri tanpa harus menyerahkan kepada pihak ketiga berizin. Persetujuan ini memungkinkan perusahaan untuk mengintegrasikan *sludge* dari IPAL Komunal ke dalam proses produksi pupuk NPK sebagai substitusi bahan baku, dengan tetap memenuhi persyaratan teknis dan standar keamanan lingkungan yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Balkrishna et al., 2024), menunjukkan bahwa *sludge* dari IPAL memiliki kadar fosfor sebesar 10,42% hingga 12% dan mampu meningkatkan ketersediaan P dan K di tanah, sementara kandungan nitrogen masih perlu ditingkatkan agar lebih efektif sebagai komponen substitusi dalam formulasi pupuk. Dengan pengolahan tambahan, *sludge* dapat menjadi bahan tambahan yang memperkaya nutrisi tanpa menggantikan bahan baku utama.

Pengelolaan dan pemanfaatan limbah B3 yang efektif tidak hanya meningkatkan reputasi perusahaan, tetapi juga menjaga kualitas lingkungan serta melindungi kesehatan dan keselamatan kerja (Maha et al., 2022). Pemanfaatan *sludge* IPAL sebagai bahan substitusi dalam produksi pupuk NPK merupakan bentuk penerapan prinsip industri hijau yang menekankan efisiensi sumber daya dan pengurangan timbulan limbah, sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 5 Tahun 2020. Inovasi ini berpotensi

mendukung peningkatan kinerja lingkungan perusahaan melalui aspek *beyond compliance* dalam PROPER, sekaligus berkontribusi pada pencapaian beberapa *Sustainable Development Goals* (SDGs), terutama SDGs 6 (*Clean Water and Sanitation*), SDGs 9 (*Industry, Innovation and Infrastructure*), dan SDGs 12 (*Responsible Consumption and Production*), melalui efisiensi bahan baku dan minimasi limbah.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kelayakan teknis pemanfaatan *sludge* IPAL sebagai bahan substitusi dalam formulasi pupuk NPK di PT X. Kajian ini mencakup karakterisasi komposisi kimia *sludge*, evaluasi metode pemanfaatan yang dapat diterapkan secara aman dan sesuai regulasi, serta potensi pengurangan jumlah *sludge* yang harus ditangani sebagai limbah B3. Melalui pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan mampu memberikan dasar ilmiah dan rekomendasi strategis bagi optimalisasi pengelolaan *sludge*, sehingga pemanfaatannya tidak hanya menekan timbulan limbah tetapi juga mendukung efisiensi proses produksi dan kinerja keberlanjutan perusahaan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif yang bertujuan untuk menggambarkan data sebagaimana adanya tanpa melakukan generalisasi atau pengujian hipotesis (Sofwatillah et al., 2024). Pemilihan metode ini didasari oleh kesesuaiannya dalam menjelaskan fenomena atau keadaan faktual secara terstruktur melalui data yang bersumber dari pengamatan di lapangan serta dokumen-dokumen teknis (Mulyana et al., 2024).

Penelitian diawali dengan studi pendahuluan untuk mengidentifikasi permasalahan dan potensi pemanfaatan limbah *sludge* IPAL di PT X. Tahap selanjutnya adalah pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan dan wawancara dengan pihak terkait di PT X, meliputi data hasil pengujian kandungan *sludge* IPAL, data volume jumlah *sludge* IPAL yang dihasilkan, dan data proses produksi pupuk NPK. Sedangkan data sekunder dikumpulkan dari dokumen teknis perusahaan seperti persetujuan teknis PLB3 (Pengelola Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun) dan instruksi kerja pemanfaatan limbah B3 *sludge* IPAL.

Analisis data dilakukan dalam empat tahap. Pertama, analisis karakteristik *sludge* IPAL untuk mengetahui kandungan unsur hara dan senyawa yang terkandung di dalamnya berdasarkan hasil uji laboratorium. Kedua, analisis kelayakan *sludge* IPAL sebagai substitusi bahan baku dalam formulasi pupuk NPK dengan membandingkan kandungan unsur hara terhadap standar SNI 2803:2012 tentang Pupuk NPK Padat. Ketiga, analisis proses pemanfaatan *sludge* IPAL menjadi substitusi bahan baku, mulai dari tahap pengeringan, pengujian laboratorium, hingga pencampuran dalam produksi pupuk NPK granulasi dan reaksi. Keempat, analisis aspek teknis dan lingkungan yang mencakup evaluasi kepatuhan terhadap regulasi pengelolaan limbah B3 dan dampak terhadap kinerja lingkungan perusahaan. Hasil analisis kemudian disintesis untuk memberikan rekomendasi strategis terkait optimalisasi pemanfaatan limbah B3 *sludge* IPAL yang mendukung efisiensi produksi dan kinerja keberlanjutan perusahaan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Karakteristik Sludge IPAL

Sludge IPAL Komunal PT X merupakan hasil sampingan dari proses koagulasi-flokulasi dan sedimentasi. Sludge yang dihasilkan mengandung campuran bahan organik, anorganik, serta sisa unsur hara. Sludge dari proses produksi, dan berpotensi mengandung residu bahan kimia anorganik, koagulan, serta logam berat. Berdasarkan karakteristik tersebut, sludge IPAL dapat dikategorikan sebagai limbah B3 dengan kode B301-7 sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021.

Analisis karakterisasi sludge IPAL dilakukan untuk menganalisis kelayakannya sebagai bahan baku substitusi pupuk NPK melalui pengujian laboratorium yang telah terakreditasi. Pengujian laboratorium mencakup analisis kadar air, N total, K₂O, P₂O₅ Total, P₂O₅ Ws, MgO, CaO, serta Sulfur. Hasil pengujian kandungan sludge IPAL dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kandungan Sludge IPAL Komunal PT X

Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji	Metode
H ₂ O	%	8,4	Gravimetri
N total	%, adbk	2,33	Volumetri
K ₂ O	%, adbk	0,50	AAS
P ₂ O ₅ Total	%, adbk	11,6	Spectrofometri
P ₂ O ₅ Ws	%, adbk	0,50	Spectrofometri
MgO	%, adbk	2,66	AAS
Belerang, S	%, adbk	0,17	Gravimetri
CaO	%, adbk	26,1	Volumetri

(Sumber: Data Hasil Pengujian PT X)

Hasil karakterisasi sludge IPAL Komunal PT X menunjukkan kelayakan teknis sebagai bahan substitusi dalam produksi pupuk NPK, khususnya sebagai sumber fosfor dan kalsium (Damayanty et al., 2024). Pemanfaatan sludge memberikan keuntungan karena dapat mengurangi jumlah limbah B3 yang harus dikelola sekaligus mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya internal (Sihombing et al., 2021). Namun demikian, sludge tetap memiliki potensi dampak negatif karena dapat mengandung residu bahan kimia, koagulan, dan logam berat yang berisiko mencemari tanah dan air tanah serta menimbulkan efek toksik bagi organisme (Mursanto, 2025). Oleh karena itu, formulasi dan pemanfaatannya harus mematuhi standar baku mutu serta melalui proses pengujian untuk mencapai grade pupuk yang sesuai standar dan meminimalkan risiko lingkungan (Clario & Sakiah, 2025).

3.2 Standar Mutu dan Kelayakan Pemanfaatan Sludge IPAL

Pemanfaatan sludge IPAL merupakan alternatif pengelolaan limbah untuk mengurangi jumlah limbah padat

sekaligus memanfaatkan kandungan unsur hara dalam upaya meminimasi limbah dan peningkatan efisiensi produksi (Affandi et al., 2024). Berdasarkan Instruksi Kerja Kriteria Bahan Baku dan Acuan Produk Pemanfaatan Limbah B3 Sludge IPAL (B301-7) PT X, sludge yang dimanfaatkan harus memiliki kandungan air maksimal 30%, nitrogen total maksimal 5%, dan fosfor pentoksida maksimal 30% untuk memastikan tidak mengganggu homogenitas bahan baku serta aman terhadap proses reaksi kimia, dan produk hasil pemanfaatan harus memenuhi spesifikasi SNI Nomor 2803:2012 tentang Pupuk NPK Padat yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Syarat Mutu Produk NPK Padat

Uraian	Satuan	Baku Mutu
Nitrogen total	%	Min. 6
Fosfor total, P ₂ O ₅	%	Min. 6
Kalium, K ₂ O	%	Min. 6
Jumlah kadar N, P ₂ O ₅ , K ₂ O	%	Min. 30
Kadar air (b/b)	%	Maks. 3
Cemaran logam berat:		
- Merkuri (Hg)	mg/kg	Maks. 10
- Kadmium (Cd)	mg/kg	Maks. 100
- Timbal (Pb)	mg/kg	Maks. 500
Arsen (As)	mg/kg	Maks. 100

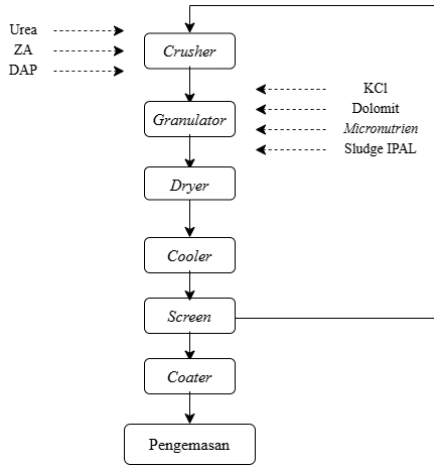
(Sumber: SNI 2803:2012)

Apabila dibandingkan dengan Syarat Mutu Produk NPK Padat SNI, kandungan nitrogen dan kalium pada sludge IPAL masih di bawah batas minimal, namun kadar fosfor (P₂O₅ total) yang mencapai 11,6% menunjukkan potensi signifikan untuk mendukung komposisi pupuk. Kadar air 8,4% melebihi batas maksimum SNI yaitu 3%, namun masih dapat diterima karena sludge berperan sebagai bahan substitusi yang akan dicampurkan secara proporsional dengan bahan baku utama (Cwalina et al., 2025). Secara keseluruhan, sludge IPAL Komunal PT X layak secara teknis dimanfaatkan sebagai bahan substitusi dalam produksi pupuk NPK selama penggunaannya dibatasi maksimal 1% dari sludge yang dihasilkan sesuai dengan Persetujuan Teknis di Bidang Pengelolaan Limbah B3 dengan Kegiatan Pemanfaatan Limbah B3 dengan Nomor S.321/G/G.4/PLB.3.0/B/5/2025 dan tetap memperhatikan potensi cemaran logam berat serta residu anorganik sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 6 Tahun 2021.

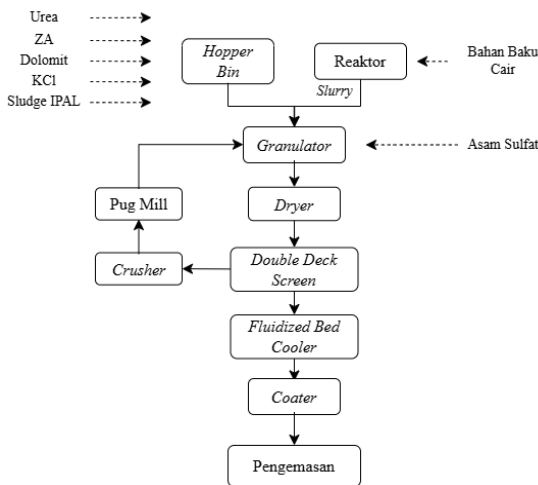
3.3 Proses Pemanfaatan Sludge IPAL sebagai Substitusi Bahan Baku

Pengelolaan sludge IPAL sebagai bahan substitusi dalam produksi pupuk NPK dilakukan melalui tahapan yang terintegrasi, meliputi pengeringan di sludge dewatering, penyimpanan sementara di area limbah B3, pengujian laboratorium, dan transportasi ke unit produksi. Sludge yang memenuhi kriteria mutu dimanfaatkan dalam dua metode produksi pupuk NPK, yaitu proses granulasi dan reaksi. Proses

granulasi merupakan metode pencampuran fisik bahan baku yang kemudian digranulasi menjadi butiran pupuk dengan ukuran tertentu, sementara proses reaksi melibatkan reaksi kimia antara bahan baku dalam reaktor untuk membentuk senyawa pupuk NPK (Marintika & Kurniawan, 2023). Alur proses produksi pupuk NPK granulasi dan NPK reaksi dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.



Gambar 1. Alur Produksi Pupuk NPK Granulasi



Gambar 2. Alur Produksi Pupuk NPK Reaksi

Gambar 1 dan **Gambar 2** menunjukkan proses produksi pupuk NPK melalui metode granulasi dan reaksi dengan penambahan sludge IPAL sebagai bahan baku substitusi. Pada proses granulasi, sludge yang berbentuk serbuk halus dicampurkan langsung ke dalam granulator tanpa mengganggu homogenitas campuran maupun proses pembentukan granul karena sifatnya yang kering dan mudah bercampur dengan bahan baku lainnya (Rachmawati et al., 2023). Selain itu, ukuran partikel sludge yang relatif kecil memungkinkan terjadinya distribusi yang merata di dalam campuran, sehingga mendukung terbentuknya granul dengan komposisi yang lebih homogen. Kondisi ini juga berkontribusi dalam menjaga kestabilan proses selama granulasi berlangsung serta meminimalkan potensi terjadinya ketidakteraturan ukuran granul.

Pada tahap granulasi, sludge IPAL tidak hanya berfungsi sebagai bahan pengisi, tetapi juga berperan dalam proses pembentukan inti granul melalui mekanisme

nucleation. Partikel halus sludge bertindak sebagai titik awal pembentukan butiran yang kemudian mengalami pertumbuhan melalui mekanisme pelapisan (*layering*) dan penggabungan partikel (*coalescence*). Proses ini menghasilkan granul dengan distribusi ukuran yang lebih seragam serta meningkatkan efisiensi pembentukan butiran secara keseluruhan. Selain itu, interaksi antarpartikel selama proses granulasi turut meningkatkan kekompakan struktur granul, sehingga granul yang dihasilkan memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap proses pengeringan maupun penanganan lanjutan.

Sementara itu, pada proses reaksi, sludge IPAL berperan dalam mendukung terjadinya aglomerasi fisik dan reaksi kimia, di mana kandungan kalsium dan fosfor di dalamnya berkontribusi dalam pembentukan senyawa kalsium fosfat melalui reaksi dengan asam sulfat (Nahara et al., 2021). Pembentukan senyawa tersebut tidak hanya meningkatkan kandungan unsur hara dalam pupuk, tetapi juga memperkuat struktur granul melalui terbentuknya ikatan antarpartikel yang lebih stabil. Selain itu, reaksi yang terjadi menghasilkan fase padatan yang dapat berfungsi sebagai pengikat alami, sehingga membantu meningkatkan kekuatan mekanik granul serta ketahanannya terhadap tekanan dan gesekan selama proses distribusi dan penyimpanan.

Pemanfaatan sludge IPAL menerapkan prinsip 4R, khususnya *recycle*, melalui pencampuran sludge ke dalam proses produksi untuk menghasilkan produk yang bernilai guna (Lisha, 2021). Program ini secara signifikan mengurangi jumlah sludge yang harus ditangani sebagai limbah B3, meminimalkan ketergantungan terhadap pengelola eksternal, dan mengurangi risiko akumulasi limbah di tempat penyimpanan sementara. Selain itu, optimalisasi pengelolaan limbah B3 di industri pupuk diarahkan pada strategi pengurangan sumber limbah, peningkatan pemanfaatan internal, dan penguatan pemantauan kualitas sludge. Evaluasi berkala terhadap karakteristik sludge dan mutu produk perlu dilakukan untuk menjamin keamanan dan konsistensi hasil produksi, sehingga memperkuat kinerja pengelolaan limbah B3, meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya, serta memastikan kesesuaian dengan ketentuan regulasi lingkungan yang berlaku (Wiryanawan & Pharmawati, 2024).

4. SIMPULAN

Pemanfaatan *sludge* IPAL sebagai bahan substitusi dalam produksi pupuk NPK di industri pupuk PT X terbukti layak secara teknis berdasarkan karakterisasi yang menunjukkan kandungan P_2O_5 total sebesar 11,6% dan CaO sebesar 26,1% yang signifikan sebagai sumber nutrisi pupuk. Meskipun kadar N total sebesar 2,33% dan K sebesar 0,50% masih di bawah standar SNI 2803:2012, *sludge* dapat dimanfaatkan sebagai bahan substitusi dengan batas maksimal 1% dari *sludge* yang dihasilkan melalui proses granulasi dan reaksi yang memenuhi persyaratan teknis dan regulasi lingkungan. Program pemanfaatan ini memberikan manfaat ganda, yaitu mengurangi volume limbah B3 yang harus dikelola pihak ketiga sehingga meminimalkan biaya transportasi dan *disposal*, sekaligus mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya internal sesuai prinsip ekonomi sirkular dan industri hijau. Implementasi pemanfaatan sludge IPAL mendukung pencapaian kinerja lingkungan perusahaan melalui aspek *beyond compliance* dalam PROPER dan

berkontribusi pada SDGs 6 (*Clean Water and Sanitation*), SDGs 9 (*Industry, Innovation and Infrastructure*), dan SDGs 12 (*Responsible Consumption and Production*). Evaluasi berkala terhadap karakteristik sludge dan mutu produk perlu dilakukan untuk menjamin keamanan, konsistensi hasil produksi, dan kepatuhan terhadap Peraturan Menteri LHK Nomor 6 Tahun 2021, sehingga memperkuat keberlanjutan program pemanfaatan limbah B3 di industri pupuk PT X.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing atas arahan dan masukan selama proses penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada pembimbing lapangan serta seluruh staf PT X atas bimbingan dan pengetahuan yang diberikan selama kegiatan di lapangan. Dukungan dan kontribusi yang diberikan sangat membantu kelancaran penyelesaian artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, G. N., Berlianti, P. C. G., Novia Reyhan Ramadhania, Shawaaba, R. S. A., & Radianto, D. O. (2024). Efektivitas Pengolahan Limbah Fisik (Padat Dan Cair) Dengan Menggunakan Teknologi Inovatif. *JURNAL WILAYAH, KOTA DAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN*, 3(1), 84–98. <https://doi.org/10.58169/jwikal.v3i1.368>
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 2803:2012 - Pupuk NPK Padat.
- Balkrishna, A., Banerjee, S., Ghosh, S., Chauhan, D., Kaushik, I., Arya, V., & Singh, S. K. (2024). Reuse of Sewage Sludge as Organic Agricultural Products: An Efficient Technology-Based Initiative. *Applied and Environmental Soil Science*, 2024(1), 1–16. <https://doi.org/10.1155/2024/1433973>
- Clario, S. R., & Sakiah, S. (2025). Pemanfaatan Limbah Cair PKS sebagai Pupuk Organik Cair: Tinjauan terhadap Pengolahan, Standar Baku Mutu, dan Efektivitasnya dalam Budidaya Kelapa Sawit Berkelanjutan. *Tabela Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 3(2), 78-87.
- Cwalina, P., Obidziński, S., Sienkiewicz, A., Kowczyk-Sadowy, M., Piekut, J., Bagińska, E., & Mazur, J. (2025). Production and Quality Assessment of Fertilizer Pellets from Compost with Sewage Sludge Ash (SSA) Addition. *Materials*, 18(5), 1145. <https://doi.org/10.3390/ma18051145>
- Damayanty, E., Zamrud, W., & Laksono, I. D. (2024). SUBSTITUSI TANAH LIAT MENGGUNAKAN CAMPURAN SLUDGE IPAL DAN BOTTOM ASH TERHADAP PREDIKSI KUALITAS CLINKER DENGAN METODE RAW MIX DESIGN. *DISTILAT: JURNAL TEKNOLOGI SEPARASI* Учредители: Politeknik Negeri Malang, 10(4), 820-828.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2021 Tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun. Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia, April, 5–24.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2025). Persetujuan Teknis di Bidang Pengelolaan Limbah B3 dengan Kegiatan Pemanfaatan Limbah B3 Nomor S.321/G/G.4/PLB.3.0/B/5/2025.
- Lisha, S. Y. (2021). Pemanfaatan Zeolit Dalam Pengomposan Limbah Lumpur (Sludge) Ipal Pt. X. *Jurnal Sains dan Teknologi: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknologi Industri*.
- Maha, A. Q., Garmini, R., Syabana, M., & Safaruddin, N. H. (2022). PENGELOLAAN LIMBAH BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN (B3) di PT. SEMEN BATURAJA (PERSERO) Tbk. *Jurnal Terapan Internship & Multidisiplin*, 1(4).
- Marintika, G. F., Cundari, L., & Kurniawan, F. H. (2023). Proses pengeringan NPK berdasarkan evaluasi rotary dryer dan kadar air npk di PT Petrokimia Gresik. *Jurnal Rekasaya Mesin*, 14(1).
- Menteri Perindustrian Republik Indonesia. (n.d.). Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2020 Tentang Penghargaan Upakarti.
- Mulyana, A., Vidiati, C., Danarahmanto, P. A., Agussalim, A., Apriani, W., Fiansi, Fitra, Aryawati, N. P. A., Ridha, N. A. N., Milasari, L. A., Siagian, A. F., & Martono, S. M. (2024). *Metode Penelitian Kualitatif (Lathifaturahmah & Erlangga, Eds.; 1st ed.)*. Penerbit Widina Media Utama.
- Mursanto, B. Pandu. (2025). Analisis Kelayakan Lumpur Ipal Industri Bumbu Makanan PT. X Sebagai Pupuk Organik. Universitas Islam Indonesia.
- Nahara, A. R., Mustafa, A. A., & Zuchrillah, D. R. (2021). Pemilihan Jenis Reaktor pada Proses Mixed Acid Route di Pabrik Pupuk NPK (Doctoral dissertation, Sepuluh Nopember Institute of Technology).
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Sekretariat Negara Republik Indonesia, 1(078487A), 1–483. <http://www.jdih.setjen.kemendagri.go.id/>
- Rachmawati, N., Astuti, N. R., & Widjaja, T. (2023). Pradesain Pabrik Pupuk NPK 15-15-15 dari Urea, Ammonia, Ammonium Sulfat, Kalium Klorida, Asam Fosfat, dan Asam Sulfat. *Jurnal Teknik ITS*, 12(3), F136-F141.
- Rusliansyah, Rahman, F., & Maimun, Z. (2012). PEMANFAATAN LIMBAH SLUDGE IPAL PT BSKP SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI PEMBUATAN BATA BETON. *Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknik*, 13(1), 72–80. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.20527/infotek.v13i1.1818>
- Salasa, A. R. (2021). Paradigma dan dimensi strategi ketahanan pangan Indonesia. *Jejaring Administrasi Publik*, 13(1), 35-48.
- Setyawati, N., & Febrianti, N. (2024). Identifikasi Jenis, Pemetaan, dan Penanganan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun Pada PT Kaltim Parna Industri. *SPECTA Journal of Technology*, 8(1), 53–61. <https://doi.org/10.35718/specta.v8i1.625>
- Sihombing, M., Rika, P. S., & Putra, P. S. (2021). Pemanfaatan Limbah B3 Di Kabupaten Karawang. *Jurnal Justitia: Jurnal Ilmu Hukum dan Humaniora*, 8(4), 638-649.
- Sofwatillah, Risnita, Syahrani Jailani, & Arestya Saksitha. (2024). *TEHNIK ANALISIS DATA KUANTITATIF*

- DAN KUALITATIF DALAM PENELITIAN ILMIAH.
Jurnal Genta Mulia, 15(2), 79–91.
- Suhartawan, B., Suprihatin, H., Hammado, N., Yuniarti, E.,
Suyasa, W. B., Asnawi, I., & Toepak, E. P. (2023).
Pengelolaan Limbah Padat, Limbah Industry dan B3.
Get Press Indonesia.
- Wiryawan, I. R., & Pharmawati, K. (2024). Evaluasi
pengelolaan limbah B3 cair proses produksi pada
industri manufaktur di PT. Z, Kota Bandung. Jurnal
Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of
Environmental Sustainability Management), 8(2), 132–
142. <https://doi.org/10.36813/jplb.8.2.132-142>