

EnviroUS

Vol. 6, No. 2, Maret, 2026, pp. 1-6
Halaman Beranda Jurnal: <http://enviro.us.upnjatim.ac.id/>
e-ISSN 2777-1032 p-ISSN 2777-1040



Analisis Pengelolaan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* Pada Salah Satu PLTU Di Wilayah Nusa Tenggara Timur

Naafi Rachmattullah Ramadhan¹, Syadzadhiya Qothrunada Zakiyayasin Nisa^{1*}

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

Email Korespondensi: syadzadhiya.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 13-12-2025
Disetujui: 24-12-2025
Diterbitkan: 30-3-2026

Kata Kunci: FABA, Non-B3, PLTU, Pengelolaan limbah, Risiko lingkungan.

ABSTRAK

Fly Ash dan *Bottom Ash* (FABA) dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batubara dikategorikan sebagai limbah non-B3 sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran XIV. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem pengelolaan FABA pada salah satu PLTU di wilayah Nusa Tenggara Timur, meliputi kesesuaian terhadap regulasi, metode pengelolaan, karakteristik limbah berdasarkan uji TCLP dan LD50, serta potensi risiko terhadap lingkungan dan kesehatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh tahapan pengelolaan FABA telah sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan, hasil uji TCLP dan LD50 berada di bawah ambang batas yang ditetapkan, serta tingkat risiko lingkungan dan kesehatan tergolong rendah. Pemanfaatan FABA sebagai bahan konstruksi memberikan nilai tambah dan mendukung penerapan prinsip ekonomi sirkular. Kesimpulan dari penelitian ini menegaskan bahwa pengelolaan FABA yang terstruktur dan terkendali sangat penting untuk menjamin keselamatan lingkungan, kesehatan kerja, serta keberlanjutan operasional PLTU.

Received: 13-12-2025
Accepted: 24-12-2025
Published: 30-3-2026

Keywords:
FABA, Non-B3, PLTU, Waste management, Environmental risk.

ABSTRACT

Fly Ash and Bottom Ash (FABA) generated from coal-fired power plants are classified as non-hazardous (non-B3) waste in accordance with Government Regulation No. 22 of 2021, Appendix XIV. This study aims to analyze the FABA management system at a coal-fired power plant in East Nusa Tenggara, including regulatory compliance, management practices, waste characteristics based on TCLP and LD50 tests, and potential environmental and health risks. The results indicate that all stages of FABA management comply with applicable regulations, the TCLP and LD50 test results are below the specified threshold limits, and the environmental and health risk levels are categorized as low. The utilization of FABA as construction materials provides added value and supports the implementation of circular economy principles. This study concludes that a structured and well-controlled FABA management system is essential to ensure environmental safety, occupational health protection, and the operational sustainability of coal-fired power plants.

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batubara merupakan salah satu penyedia energi terbesar di Indonesia yang menghasilkan residu berupa *fly ash* dan *bottom ash* (FABA). Sebelumnya, FABA dikategorikan sebagai limbah B3, namun Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 menetapkannya sebagai limbah non-B3 karena karakteristiknya lebih stabil dan memiliki potensi pemanfaatan yang luas. Perubahan regulasi ini berdampak pada tata kelola limbah, termasuk prosedur penyimpanan, pengangkutan, dan pemanfaatannya (PP No. 22/2021).

Meskipun tergolong non-B3, FABA tetap memiliki karakteristik fisik dan kimia yang perlu diperhatikan, seperti partikel halus dan kandungan mineral tertentu yang dapat menimbulkan risiko bagi kualitas udara dan kesehatan jika tidak dikelola dengan tepat (Sihombing & Sembiring, 2022).

Paparan partikulat halus dari fly ash, khususnya PM10 dan PM2.5, berpotensi menimbulkan gangguan pernapasan apabila terdispersi ke lingkungan tanpa pengendalian yang memadai, sehingga diperlukan sistem pengelolaan dan pengendalian debu yang terstandarisasi pada area penyimpanan dan pemanfaatan FABA (Kurniawan & Saputra, 2022). Oleh karena itu, regulasi teknis tetap mengatur penanganan dan pemanfaatan FABA, merujuk pada Pedoman

Teknis Pemanfaatan FABA sebagai Limbah Non-B3 di Sektor Ketenagalistrikan yang diterbitkan melalui Keputusan Dirjen Ketenagalistrikan Nomor 195.K/20/DJL.4/2021 (KESDM, 2021).

Pemanfaatan FABA sebagai material konstruksi alternatif di Indonesia juga menunjukkan potensi teknis dan lingkungan yang baik, khususnya dalam mengurangi penggunaan material alam dan volume limbah industri (Putra & Wibowo, 2021). Salah satu PLTU di wilayah NTT mengelola FABA melalui penangkapan *fly ash* dengan *electrostatic precipitator* (ESP), pengumpulan *bottom ash*, penyimpanan sementara, dan pengelolaan oleh pihak ketiga, terutama untuk konstruksi, beton, stabilisasi tanah, dan material jalan. Pemanfaatan FABA di sektor konstruksi telah terbukti ramah lingkungan dan efisien (Rahmawati et al., 2020; Yuliasari & Firmansyah, 2019). Selain itu, berbagai penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan konstruksi berkontribusi terhadap pembangunan berkelanjutan dan penerapan ekonomi sirkular. Penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen dan material bangunan mampu mengurangi eksploitasi sumber daya alam, menurunkan emisi karbon, serta mengalihkan limbah industri menjadi produk bernilai tambah (Handayani & Widodo, 2020; Permana & Cahyono, 2021).

Di tingkat internasional, *fly ash* telah dimanfaatkan lebih dari 70% di India (CPR, 2021), lebih dari 90% di Jepang (ADB, 2017), dan lebih dari 90% di Korea Selatan (Lee, 2022) sebagai bahan tambahan semen dan material konstruksi dengan mutu tinggi. Evaluasi pengelolaan FABA penting untuk menilai kesesuaian dengan regulasi, baku mutu, prosedur teknis, serta potensi risiko lingkungan seperti pencemaran tanah, air, atau udara (Sutrisno & Purnomo, 2023), sehingga pengelolaannya aman, terkendali, dan berkelanjutan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan kualitatif digunakan untuk mendeskripsikan sistem pengelolaan FABA berdasarkan hasil observasi lapangan, wawancara terbatas, serta telaah dokumen operasional dan regulasi yang berlaku.

Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis data berbasis angka, meliputi neraca massa FABA, persentase pemanfaatan dan penyimpanan, serta hasil uji laboratorium. Analisis kuantitatif juga diterapkan dalam penilaian risiko menggunakan metode Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Control (HIRADC) dan standar ISO 31000:2018, dengan menilai tingkat kemungkinan (likelihood) dan tingkat keparahan (severity) dari setiap potensi bahaya dalam pengelolaan FABA.

Data primer dalam penelitian ini berupa hasil uji laboratorium Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) dan Lethal Dose 50 (LD50) yang digunakan untuk menentukan karakteristik dan tingkat toksisitas FABA. TCLP merupakan metode uji untuk mengetahui potensi pelindian logam berat dari limbah, sedangkan LD50 merupakan parameter toksisitas akut yang menunjukkan dosis zat yang dapat menyebabkan kematian pada 50% organisme uji.

Data sekunder diperoleh dari dokumen operasional PLTU, SOP pengelolaan FABA, laporan pemanfaatan limbah, serta peraturan terkait seperti PP No. 22 Tahun 2021 dan Permen

LHK No. 19 Tahun 2021. Seluruh data dianalisis secara deskriptif-analitik dengan membandingkan praktik pengelolaan di lapangan terhadap ketentuan regulasi dan standar teknis yang berlaku.

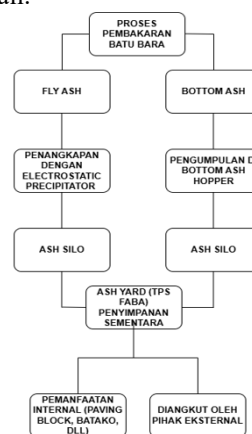
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan PP No. 22/2021 Lampiran XIV, FABA dari PLTU dikategorikan sebagai limbah non B3 terdaftar jika memenuhi parameter TCLP dan LD50. Hasil pengukuran di salah satu PLTU NTT menunjukkan nilai FABA berada di bawah batas ambang, sehingga diklasifikasikan sebagai limbah non-B3 dan dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi konstruksi.

3.1 Sistem Pengelolaan FABA Pada Salah Satu PLTU di Wilayah NTT

Bottom ash silo merupakan fasilitas penyimpanan sementara berbentuk silo tertutup yang berfungsi untuk menampung *bottom ash* hasil pembakaran batubara sebelum dipindahkan ke area penyimpanan atau dimanfaatkan lebih lanjut. *Bottom ash* yang jatuh ke ruang penampung dikumpulkan di *bottom ash silo* sebelum dipindahkan, sementara *fly ash* ditangkap oleh *electrostatic precipitator* (ESP) dan dialirkan ke *ash silo* melalui sistem tertutup.

Perpindahan ke *ash yard* menggunakan truk *dump* berpenutup untuk meminimalkan debu. Kedua limbah disimpan sementara sebelum dimanfaatkan untuk konstruksi atau diangkut pihak eksternal, memastikan pengelolaan FABA aman dan terkendali.



Gambar 1 Diagram Alir Pengelolaan FABA Pada Salah satu PLTU di wilayah NTT

(Sumber : PLTU, 2025)

Penyimpanan dan penanganan FABA di *ash yard* sudah sesuai dengan Permen LHK No. 19/2021. Area terbuka dengan tanah dipadatkan, drainase terkontrol, dan *run-off* diarahkan ke *coal run-off pond*. Air limpasan menjalani pra-sedimentasi, bila belum memenuhi baku mutu diproses di IPAL/WWTP, sebagian digunakan kembali sebagai service water di area *coal yard* untuk mengurangi penggunaan air baru.

Di *ash yard* terdapat *stockpile* FABA berupa tumpukan *fly ash* dan *bottom ash*. Karena bersifat terbuka, pengendalian emisi debu dilakukan melalui penyiraman rutin, penutupan sebagian area dengan terpal, serta pengaturan ketinggian tumpukan untuk mengurangi risiko dispersi debu ke

lingkungan sekitar. Sistem ini memastikan penyimpanan FABA aman dan terkendali.



Gambar 2 Ash Yard

(Sumber : Dokumentasi PLTU, 2025)

PLTU mengolah FABA menjadi material konstruksi seperti *paving block*, batako, tiang pancang, dan campuran beton, menerapkan prinsip ekonomi sirkular dan tata kelola lingkungan. Produk FABA aman digunakan karena memenuhi baku mutu TCLP dan LD50 sesuai PP No. 22/2021. Pemanfaatan dilakukan baik secara internal untuk operasional PLTU maupun melalui penyerahan kepada pihak ketiga berizin, sehingga mendukung penggunaan optimal FABA dan penerapan ekonomi sirkular.

Hasil pemanfaatan limbah FABA dapat terlihat dari produk *paving block* yang telah diproduksi. Hal ini membuktikan bahwa FABA sebagai limbah non-B3 mampu memberikan nilai tambah melalui konversi menjadi material konstruksi yang layak digunakan.



Gambar 3 Kegiatan Produksi dan Pemanfaatan FABA

(Sumber : Dokumentasi PLTU, 2025)

Selain itu, aspek keselamatan kerja juga menjadi perhatian pada area pengolahan FABA. Penempatan APAR (Alat Pemadam Api Ringan) di lokasi pengolahan menunjukkan bahwa operasional pengelolaan limbah telah dilengkapi dengan prosedur mitigasi risiko yang sesuai standar. Keberadaan APAR tersebut menjadi bentuk pengendalian potensi bahaya yang dapat muncul selama kegiatan pengolahan berlangsung.



Gambar 4 APAR di Tempat Pengolahan FABA

(Sumber : Dokumentasi PLTU, 2025)

Berdasarkan hasil evaluasi internal, tingkat pengelolaan dan pemanfaatan FABA pada salah satu PLTU di wilayah NTT mencapai 100%. Untuk menggambarkan capaian tersebut secara terukur, berikut disajikan data pemantauan limbah FABA pada periode Semester I Tahun 2025.

Tabel 1 Hasil Pemantauan Limbah FABA periode Semester 1 Tahun 2025

Jenis Limbah	Limbah yang dihasilkan (Ton)			Limbah Dikelola (Ton)		
	awal	hasil	total	disimpan (TPS)	dimanfaatkan	total
Fly ash	2.923,931	2.818,55	5.742,48	3.351,48	2391	5.742,481

Bottom ash	0	45,140	45,140	0	45,140	45,140
Total	2.923,931	2.863,69	5.787,62	3.351,48	2.436,14	5.787,621
				1		
% Pengelolaan				57,9%	42,1%	100%

(Sumber: Neraca Massa FABA Salah satu PLTU di wilayah NTT Semester 1 Tahun 2025)

Hasil pemantauan menunjukkan 42,1% FABA telah dimanfaatkan sebagai bahan bangunan, sementara 57,9% disimpan di TPS FABA. Penyimpanan di *ash yard* memiliki batas maksimal 3 tahun sesuai Permen LHK No. 19/2021 Pasal 10 Ayat 1. Meskipun masih ada 57,9% FABA tersimpan, pengelolaan dinilai efektif (100%) karena limbah akan dimanfaatkan atau dikelola dalam batas waktu, mencegah penumpukan jangka panjang. Kualitas FABA diuji melalui TCLP dan LD50 sesuai PP No. 22/2021 Lampiran X dan XI untuk menjamin keamanan penggunaannya yang tercantum pada tabel berikut.

Tabel 2 Data Hasil Uji TCLP Limbah FABA Periode Semester 1 Tahun 2025

Parameter	Hasil Uji	Baku Mutu	
		TCLP-A (mg/L)	TCLP-B (mg/L)
Arsen (As)	0,06	3	0,5
Kadmium (Cd)	< 0,01	0,9	0,15
Timbal (Pb)	0,02	3	0,5
Kromium (Cr)	< 0,08	15	2,5
Selenium (Se)	< 0,01	3	0,5
Barium (Ba)	0,22	210	35
Perak (Ag)	0,28	40	5
Klorida (Cl)	11,2	75000	12500
Fluorida (F)	2,02	450	75
Benzena	< 0,003	3	0,5

(Sumber : Uji Laboratorium 2025, PP No 22/2021 Lampiran XI)

Berdasarkan Hasil Uji Lab menunjukkan bahwa hasil parameter limbah berada jauh dari baku mutu TCLP-A dan TCLP-B, sehingga tidak dikategorikan sebagai limbah B3 kategori 1 maupun limbah B3 kategori 2 dan dilanjutkan dengan uji LD50.

Tabel 3 Klasifikasi Toksisitas Akut Berdasarkan Nilai LD50 Limbah FABA Periode Semester 1 Tahun 2025

No	Hazardous Waste	LD50
1	Hazardous Waste Category I	< 50 mg/kg
2	Hazardous Waste Category II	50 – 5,000 mg/kg

(Sumber : Uji Laboratorium 2025, PP No 22/2021 Lampiran X)

*Toxicity Test Result (Calculated by AOT 494 Stat Pgm): more than 5,000 mg/kg BW

*Method: SNI 7184.5-2017 Acute Oral Toxicity-Up and Down Procedure

Hasil Uji LD50 menunjukkan bahwa LD50 lebih dari 5,000 mg/kg BW dan tidak termasuk pada kategori 1 maupun kategori 2. Hal ini membuktikan bahwa Hasil uji TCLP dan LD50 pada *fly ash* dan *bottom ash* di PLTU ini sudah memenuhi baku mutu pada PP No. 22/2021 Lampiran X dan XI. Dengan semua hasil uji terpenuhi, FABA di PLTU ini dinyatakan sebagai limbah non B3 terdaftar dan aman untuk dimanfaatkan sebagai material konstruksi selama pengelolaan mengikuti SOP.

3.2 Kesesuaian Pengelolaan FABA Pada Salah Satu PLTU di NTT Dengan Regulasi

Pengelolaan FABA di salah satu PLTU NTT telah sesuai PP No. 22/2021 Lampiran XIV sebagai limbah non-B3 dan Permen LHK No. 19/2021 Lampiran VII dan VIII tentang tata cara pengelolaan. Penerapan meliputi pengumpulan, penyimpanan, pemanfaatan, dan pelaporan rutin sesuai SOP. Praktik teknis di area FABA, pengaturan *ash yard*, pemanfaatan, serta kerja sama dengan pemanfaat berizin telah berjalan sesuai standar. Tabel berikut menunjukkan kesesuaian pengelolaan dengan regulasi.

Tabel 4 Evaluasi Kesesuaian Pengelolaan FABA dengan Regulasi

Komponen Regulasi	Ketentuan Regulasi	Kesesuaian di PLTU
Klasifikasi FABA	Faba merupakan limbah non-B3 terdaftar	FABA diperlakukan sebagai limbah non-B3 dan dicatat sebagai limbah terdaftar
Penganganan FABA	Pengumpulan wajib dilakukan di fasilitas yang terstandarisasi	<i>Fly ash</i> ditangkap menggunakan ESP, <i>Bottom ash</i> dikumpulkan dari <i>bottom ash hopper</i> menuju <i>ash silo</i>
Penyimpanan FABA	Harus disimpan pada TPS non-B3 yang memenuhi persyaratan teknis	Disimpan di <i>Ash Yard</i> (TPS FABA) yang telah memenuhi syarat konstruksi dan pengendalian <i>run-off</i>

(Sumber: Analisis peneliti 2025, PP No. 22/2021 dan Permen LHK No. 19/2021).

Hasil evaluasi menunjukkan seluruh aspek pengelolaan FABA telah memenuhi regulasi. Pemanfaatan dan pengelolaan PLTU sesuai status FABA sebagai limbah non-B3 terdaftar (PP No. 22/2021), mencerminkan penerapan prinsip *good environmental governance*. Hal ini terlihat dari kepatuhan terhadap peraturan, akuntabilitas melalui neraca massa dan uji laboratorium, kerja sama dengan pemanfaat berizin, serta keberlanjutan melalui pemanfaatan FABA sebagai material konstruksi.

3.3 Risiko dan Dampak Pengelolaan FABA Terhadap Lingkungan dan Kesehatan

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa risiko utama pengelolaan FABA berasal dari paparan debu, limpasan air hujan, serta aktivitas pemindahan material, yang berpotensi menyebabkan pencemaran udara dan air apabila tidak dikendalikan melalui sistem manajemen lingkungan dan risiko yang memadai (Setiawan & Lestari, 2019; Nugraha & Yuniarti, 2023).

Pengelolaan FABA di PLTU meliputi penangkapan *fly ash* dengan ESP, pengumpulan *bottom ash*, penyimpanan di *ash yard*, pengangkutan, dan pemanfaatan pihak ketiga. Risiko debu dikendalikan melalui penyiraman, terpal, area tertutup, pembatasan aktivitas, dan APD, sedangkan risiko pengangkutan diminimalkan dengan truk *dump* tertutup. Pencemaran tanah dan air dicegah melalui tanah dipadatkan dan sistem *run-off* ke *coal run-off pond* sebelum IPAL/WWTP. Secara keseluruhan, risiko tetap rendah, dengan penilaian menggunakan HIRADC (Permenaker 5/2018) dan ISO 31000:2018 yang tercantum pada beberapa tabel berikut.

Tabel 5 Skala Likelihood pada Pengelolaan FABA di PLTU

Nilai	Kategori	Deskripsi Operasional di PLTU	Kode Warna
1	Sangat Jarang	Gangguan jarang terjadi karena area <i>ash yard</i> rutin disiram dan sebagian material ditutup terpal.	Hijau
2	Jarang	Debu muncul sesekali pada musim kering, namun masih terkendali dengan penyiraman.	Hijau
3	Sedang	Debu muncul saat aktivitas pemindahan FABA atau saat loader beroperasi di <i>ash yard</i> terbuka	Kuning
4	Sering	Debu cenderung muncul saat cuaca berangin atau aktivitas pengangkutan padat	Merah
5	Sangat Sering	Hampir pasti terjadi jika penyiraman tidak dilakukan saat musim panas dan angin kencang	Ungu

(Sumber : Permenaker 5/2018, ISO 31000 2018, PLTU 2025)

Tabel 6 Skala Severity pada Pengelolaan FABA di PLTU

Nilai	Tingkat Keparahan	Dampak pada Lingkungan/Kesehatan	Kode Warna
1	Sangat Ringan	Gangguan debu sangat kecil, tidak memengaruhi pekerja atau lingkungan	Hijau
2	Ringan	Debu tipis di area kerja, mudah dikendalikan dengan penyiraman & APD	Hijau
3	Sedang	Debu terangkat angin ke sekitar <i>ash yard</i> , dapat mengiritasi mata/pernapasan ringan	Kuning
4	Berat	Potensi limpasan membawa padatan terlarut ke saluran drainase jika tidak ditangani cepat	Merah
5	Sangat Berat	Pencemaran air/udara signifikan yang berdampak ke lingkungan luar area PLTU	Ungu

(Sumber : Permenaker 5/2018, ISO 31000 2018, PLTU 2025)

Tabel 7 Matriks Risiko

Frekuensi / Severity	1	2	3	4	5
5	Risiko Sedang	Risiko Tinggi	Risiko Tinggi	Risiko Ekstrim	Risiko Ekstrim
4	Risiko Sedang	Risiko Sedang	Risiko Tinggi	Risiko Tinggi	Risiko Ekstrim
3	Risiko Rendah	Risiko Sedang	Risiko Sedang	Risiko Tinggi	Risiko Ekstrim
2	Risiko Rendah	Risiko Rendah	Risiko Sedang	Risiko Sedang	Risiko Tinggi
1	Risiko Rendah	Risiko Rendah	Risiko Sedang	Risiko Sedang	Risiko Tinggi

(Sumber : Permenaker 5/2018, ISO 31000 2018)

Tabel 8 Penilaian Risiko Pada PLTU

Kegiatan	Bahaya	Like lihoo d	Seve rity	Level Risiko	Pengendalian di PLTU
Penyimpanan FABA di <i>Ash Yard</i>	Paparan Debu Halus (PM10, PM2.5)	3	3	Risiko Sedang	Penyiraman rutin, terpal, sebagian area tertutup

Pengangkutan FABA	Tumpahan saat loading/unloading	2	3	Risiko Sedang	Di angkut dengan loader/dump tertutup, jalan beralas kedap
Limpasan (run-off) dari Ash Yard	Potensi membawa padatan tersuspensi	2	4	Risiko Sedang	Adanya saluran drainase, coal run-off pond, IPAL/WWTP
Pemanfaatan FABA	Paparan debu saat pengelolaan	2	3	Risiko Sedang	Mewajibkan APD lengkap, area tertutup

(Sumber : Permenaker 5/2018, ISO 31000 2018, PLTU 2025)

Berdasarkan HIRADC (Permenaker No. 5/2018) dan ISO 31000:2018, seluruh tahapan pengelolaan FABA di PLTU termasuk dalam kategori risiko sedang. Pengendalian seperti penyiraman rutin, terpal penutup, SOP pengangkutan, sistem drainase ash yard, dan pengolahan limpasan melalui coal run-off pond serta IPAL/WWTP memastikan pengelolaan sesuai standar operasional.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pemanfaatan FABA sebagai material konstruksi telah banyak diterapkan dan terbukti aman serta efektif. Rahmawati et al. (2020) menjelaskan bahwa penggunaan fly ash dan bottom ash sebagai campuran beton mampu meningkatkan sifat mekanik sekaligus menurunkan dampak lingkungan. Putra dan Wibowo (2021) juga menyatakan bahwa FABA dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran beton ramah lingkungan dengan memenuhi persyaratan teknis dan baku mutu. Selain itu, Yuliasari dan Firmansyah (2019) menunjukkan bahwa pemanfaatan fly ash sebagai material konstruksi alternatif mampu mengurangi penggunaan material alam dan volume limbah industri secara signifikan. Selain itu, PLTU mendorong pemberdayaan masyarakat melalui penyediaan alat cetak batako di desa binaan, sehingga pemanfaatan FABA memberikan manfaat sosial dan ekonomi bagi warga sekitar.

3.4 Perbandingan Pengelolaan FABA di Luar Negeri

Secara global, FABA telah berkembang dari residu pembakaran menjadi bahan bernilai tambah, seperti substitusi semen, beton, paving block, dan sumber mineral bernilai (Kuznia, 2024). Di India, regulasi ketat dan kebijakan wajib serap mendorong pemanfaatan fly ash di konstruksi dan stabilisasi tanah (CPR, 2021). Di Korea Selatan dan Jepang, pemanfaatan FABA sangat tinggi berkat teknologi pengolahan maju, standar mutu ketat, dan kebijakan industri yang kuat (ADB, 2017; Lee, 2022). Salah satu PLTU di NTT ini sudah memanfaatkan FABA untuk produk konstruksi sederhana, namun untuk mencapai tingkat pemanfaatan seperti negara maju dibutuhkan peningkatan teknologi, insentif regulasi, dan penguatan standar mutu. Di berbagai negara maju, fly ash telah dikembangkan sebagai bahan geopolimer dan material konstruksi rendah karbon yang memiliki nilai tambah tinggi serta mampu menekan dampak lingkungan dari industri pembangkit listrik tenaga uap (Hidayat & Sari, 2020; Widodo & Prabowo, 2023). Perbandingan pengelolaan dan pemanfaatan FABA antar negara dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 9 Perbandingan Pengelolaan dan Pemanfaatan FABA Antar Negara

Aspek	PLTU NTT	India	Korea Selatan & Jepang
Regulasi	Hanya mengikuti PP 22/2021 & Permen LHK 19/2021	Kebijakan wajib-serap FABA nasional (mandatory utilization)	Regulasi industri & standar mutu material yang sangat ketat
Teknologi	Pengeringan alami, penyimpanan terbuka, pencampuran sederhana	Teknologi stabilisasi & pemanfaatan massal	Teknologi thermal treatment, magnetic separation, pengolahan fine ash, kontrol kualitas industri
Pemanfaatan	42,1%	>70%	>90%
Produk	Paving block, batako, tiang pancang, beton sederhana	Beton, geopolimer, material teknik	Semen mutu tinggi, material industri
Kelebihan	Mengolah FABA sendiri sesuai regulasi	Pemanfaatan luas karena regulasi kuat	Teknologi & kualitas produk sangat premium serta standar mutu sangat tinggi

(Sumber : Kuznia 2024, CPR 2021, Lee 2022, ADB 2017, PLTU 2025)

Perbandingan menunjukkan India, Korea Selatan, dan Jepang menerapkan kebijakan wajib-serap, standar mutu ketat, dan teknologi pengolahan maju, sehingga pemanfaatan FABA mereka jauh lebih tinggi. Temuan ini menunjukkan salah satu PLTU di NTT memiliki peluang besar untuk meningkatkan pemanfaatan FABA melalui penguatan regulasi internal, peningkatan kontrol mutu, dan pengembangan teknologi secara bertahap.

3.5 Tingkat Efektivitas & Kebermanfaatan Pengelolaan FABA

Efektivitas pengelolaan FABA di salah satu PLTU NTT dinilai dari aspek teknis, pemanfaatan, dan lingkungan (Permen LHK No. 19/2021). Pada Semester I 2025, 5.787,621 ton FABA berhasil ditangani sepenuhnya (100% efektif), dengan 42,1% dimanfaatkan untuk material konstruksi dan 57,9% disimpan di TPS FABA sesuai ketentuan. Pemanfaatan mengurangi penggunaan material alam, menekan limbah, dan memberi manfaat sosial, sementara SOP, APD, APAR, dan penyimpanan tertutup menjaga keselamatan dan paparan debu minimal.

Tabel 10 Indikator Efektivitas Pengelolaan dan Pemanfaatan FABA

Indikator	Kondisi di PLTU	Sumber
Efektivitas Pengelolaan	100% FABA berhasil ditangani (disimpan & dimanfaatkan)	Neraca Massa FABA, 2025
Efektivitas Pemanfaatan	42,1% berhasil dimanfaatkan	Neraca Massa FABA, 2025
Kepatuhan Regulasi	Mengikuti PP 22/2021 & Permen LHK 19/2021	Regulasi Lingkungan
Keamanan Produk	Memenuhi uji TCLP & LD50	Laporan Uji Lab 2025

(Sumber: Analisis peneliti 2025 dan Neraca Limbah Non-B3 Semester I 2025).

Tabel indikator tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan FABA di PLTU sudah sangat efektif, seluruh limbah tertangani, sebagian berhasil dimanfaatkan, memenuhi

ketentuan regulasi, dan lolos uji keamanan sehingga layak dimanfaatkan secara aman.

4. SIMPULAN

Pengelolaan FABA di salah satu PLTU NTT telah efektif dan sesuai PP No. 22/2021 serta Permen LHK No. 19/2021. Pada Semester I 2025, 100% FABA ditangani melalui penyimpanan terkontrol dan pemanfaatan sebagai material konstruksi, dengan 42,1% digunakan untuk produk bernilai tambah seperti *paving block*, batako, tiang pancang, dan beton. Hasil uji TCLP dan LD50 menunjukkan FABA aman sebagai limbah non-B3.

Pengelolaan ini memenuhi aspek teknis, keselamatan kerja, dan prinsip *environmental governance*, dengan tingkat risiko lingkungan dan kesehatan berada pada risiko rendah berkat pengendalian debu, penyimpanan tertutup, SOP, dan APD. Meski pemanfaatan FABA di PLTU ini masih lebih rendah dibanding praktik internasional seperti India, Jepang, dan Korea Selatan, akan tetapi sistem pengelolaan di PLTU ini sudah aman, mendukung ekonomi sirkular, dan memberdayakan masyarakat sekitar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penyusun ingin mengucapkan terimakasih kepada PT. Superintending Company Of Indonesia Cabang Surabaya yang senantiasa memberikan *support* berupa data dan referensi yang digunakan pada dokumen lingkungan nya. Berkat hal tersebut artikel ini bisa diselesaikan oleh penyusun dengan baik dan maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

Asian Development Bank (ADB). (2017). *Japan's Experience on Effective Coal Ash Utilization*.

CPR (Center for Policy Research). (2021). *Coal Ash in India: Policy, Practice, and Impacts*.

Handayani, S., & Widodo, E. (2020). Evaluasi pemanfaatan *fly ash* sebagai material konstruksi berkelanjutan. *Jurnal Infrastruktur*, 6(2), 101–109.

Hidayat, M., & Sari, D. P. (2020). Penerapan prinsip ekonomi sirkular pada pemanfaatan limbah pembangkit listrik tenaga uap. *Jurnal Ekonomi Lingkungan*, 4(2), 55–64.

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 31000:2018 Risk Management - Guidelines*. Geneva: ISO.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM). (2021). *Pedoman Teknis Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash (FABA) sebagai Limbah Non-B3 di Sektor Ketenagalistrikan*. Jakarta: KESDM.

Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia. (2018). *Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik*

Indonesia Nomor 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja. Jakarta: Kementerian Ketenagakerjaan RI.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 19 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Limbah Non-Bahan Berbahaya dan Beracun*. Jakarta: KLHK RI.

Kurniawan, R., & Saputra, A. (2022). Pengendalian debu pada area penyimpanan *fly ash* PLTU. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(2), 89–98.

Kuźnia, M. (2024). *Fly Ash as a Secondary Raw Material in Circular Construction*. MDPI Materials.

Lee, J. Y. (2022). *Utilization and Quality Control of Coal Ash in South Korea*. Korea Science.

Nugraha, F., & Yuniarti, E. (2023). Penilaian risiko pengelolaan FABA menggunakan metode HIRADC. *Jurnal Keselamatan Kerja*, 12(1), 25–34.

Pemerintah Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.

Permana, A., & Cahyono, B. (2021). Pemanfaatan limbah *fly ash* dan *bottom ash* untuk stabilisasi tanah dasar jalan. *Jurnal Transportasi dan Teknik Sipil*, 9(2), 77–86.

Putra, R. A., & Wibowo, A. (2021). Pemanfaatan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai bahan campuran beton ramah lingkungan. *Jurnal Teknik Sipil*, 28(2), 85–94.

Rahmawati, S., Prasetyo, T., & Munir, A. (2020). Potensi pemanfaatan FABA sebagai bahan campuran beton ramah lingkungan. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 22(3), 145–154.

Setiawan, R., & Lestari, P. (2019). Analisis risiko lingkungan penyimpanan *fly ash* di *ash yard* PLTU. *Jurnal Riset Lingkungan*, 11(2), 67–76.

Sihombing, R., & Sembiring, J. (2022). Analisis karakteristik *fly ash* dan potensi dampak partikulat terhadap kualitas udara. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 14(2), 85–94.

Sutrisno, H., & Purnomo, R. (2023). Evaluasi risiko lingkungan akibat penanganan FABA pada fasilitas pembangkit listrik. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan*, 5(1), 12–22.

Widodo, T., & Prabowo, H. (2023). Evaluasi efektivitas pengelolaan limbah FABA di PLTU Indonesia. *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan*, 7(1), 15–24.

Yuliasari, N., & Firmansyah, D. (2019). Pemanfaatan abu terbang batubara sebagai material konstruksi alternatif. *Jurnal Material dan Konstruksi*, 7(1), 33–41.