



Pengelolaan Limbah B3 IUP Banko Barat PT. Bukit Asam Tbk. Site Tanjung Enim *Hazardous and Toxic Waste (B3) Management at IUP Banko Barat PT Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim Site*

Astrid Fadhilah¹, Putra², Nanda Fathurrahman³, Andrawina⁴

^{1,4} Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Indonesia

^{2,3} Akademi Komunitas Industri Pertambangan Bukit Asam, Indonesia

¹ astridfadhilah@unsri.ac.id, ² putra@akipba.ac.id, ³ nandafathur08@gmail.com, ⁴ andrawina@unsri.ac.id

Penulis Korespondensi: Astrid Fadhilah | **Email:** astridfadhilah@unsri.ac.id

Diterima (*Received*): 13/11/2025 Direvisi (*Revised*): 01/12/2025 Diterima untuk Publikasi (*Accepted*): 01/12/2025

ABSTRAK

Kegiatan penambangan batubara di PT. Bukit Asam Tbk. IUP Banko Barat, menghasilkan berbagai jenis limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) yang berpotensi mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sumber dan jenis limbah B3, menganalisis mekanisme pengelolaan di Tempat Penyimpanan Sementara Terpadu (TPST) Blok Timur, serta mengkaji pemanfaatan oli bekas sebagai bahan bakar *Ammonium Nitrate Fuel Oil* (ANFO) dan kesiapsiagaan sistem tanggap darurat. Metode yang digunakan meliputi studi literatur, observasi lapangan, wawancara, dan dokumentasi data primer serta sekunder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah B3 didominasi oleh oli bekas, aki bekas, dan limbah padat terkontaminasi, yang dikelola melalui proses pengumpulan, pengemasan, pelabelan, penyimpanan, transportasi, dan penyerahan ke pihak ketiga. Pemanfaatan oli bekas sebagai bahan bakar ANFO terbukti mengurangi volume limbah sekaligus menekan biaya operasional, namun memerlukan proses penyaringan dan izin lingkungan. Sistem tanggap darurat di TPST telah dilengkapi sarana keselamatan, prosedur evakuasi, dan peralatan penanggulangan insiden. Temuan ini menegaskan pentingnya pengelolaan limbah B3 yang terencana dan sesuai regulasi untuk mendukung keselamatan kerja dan kelestarian lingkungan.

Kata Kunci: ANFO, limbah B3, tanggap darurat, TPST, oli bekas

ABSTRACT

Coal mining activities at PT Bukit Asam Tbk, IUP Banko Barat, generate various types of Hazardous and Toxic Waste (B3) that have the potential to pollute the environment and endanger health. This study aims to identify the sources and types of B3 waste, analyze the management mechanism at the Integrated Temporary Storage Facility (TPST) East Block, and examine the reuse of waste oil as fuel for Ammonium Nitrate Fuel Oil (ANFO) and the preparedness of the emergency response system. The methods used include literature review, field observation, interviews, and documentation of primary and secondary data. The results show that B3 waste is dominated by waste oil, used batteries, and contaminated solid waste, which are managed through collection, packaging, labeling, storage, transportation, and delivery to third parties. Reusing waste oil as ANFO fuel has been proven to reduce waste volume and lower operational costs but requires filtration processes and environmental permits. The emergency response system at TPST is equipped with safety facilities, evacuation procedures, and incident handling equipment. These findings highlight the importance of well-planned B3 waste management in compliance with regulations to support workplace safety and environmental sustainability.

Keywords: ANFO, B3 waste, emergency response, TPST, waste oil

© Author(s) 2025. This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

1. Pendahuluan

Pertambangan adalah kegiatan yang dilakukan oleh pengusaha tambang dengan tujuan mendapatkan barang tambang dan keuntungan dari hasil tambang. Sebagaimana

diketahui secara luas, bahwa pertambangan dilakukan di Indonesia atas persetujuan atau kebijakan, pertambangan adalah usaha yang legal sejauh dilandasi oleh peraturan perundang-undangan. Dari segi ekologi dan

kemasyarakatan, pertambahan sering menimbulkan konflik, baik dengan masyarakat dengan pengusaha tambang (pemegang izin) maupun antara masyarakat dengan pemerintah (termaksud pemerintah daerah) dalam hal tambang.

PT Bukit Asam (persero) Tbk. merupakan sebuah perusahaan tambang batubara yang terletak di Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan dengan Wilayah Izin Usaha Pertambangan (WIUP) seluas 15.500 Ha. PT Bukit Asam (persero) Tbk. merupakan sistem tambang terbuka dengan metode *Open Pit*. Penambangan dengan metode *Open Pit* menggunakan siklus penambangan yaitu pemecahan batuan dengan pengeboran dan peledakan, diikuti dengan operasi penggalan material, pemuatan dan pengangkutan batubara ke *stockpile*. Aktivitas kegiatan penambangan dengan metode *Open Pit* akan menimbulkan dampak negatif terhadap kondisi lingkungan.

Kegiatan penambangan bisa menyebabkan tercemarnya lingkungan maupun menimbulkan limbah BAHAN BERBAHAYA dan BERACUN (B3), menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, limbah adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain, contohnya seperti *filter bekas, hose, accumulator, oli bekas* dan masih banyak lainnya.

Berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021 limbah B3 memiliki karakteristik seperti mudah meladak, mudah menyala, reaktif, infeksius, korosif dan beracun. Oleh karena limbah B3 tidak bisa di biarkan begitu saja maka harus dilakukan kegiatan pengelolaan limbah B3 sebagaimana dimaksud berdasarkan dari PP no 22 tahun 2021 yang terdiri dari penetapan, pengurangan, penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, penimbunan, serta pengolahan limbah B3.

Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) adalah sisa suatu usaha atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun yang karena sifat dan/atau konsentrasinya dapat mencemari atau merusak lingkungan hidup serta membahayakan kesehatan manusia. Menurut Yurnalisdel (2023), limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) perlu dikelola dengan cermat karena memiliki potensi besar untuk mencemari lingkungan serta membahayakan kesehatan manusia. Oleh sebab itu, setiap tahap pengelolaan, mulai dari pengumpulan hingga pengolahan, harus dilakukan secara sistematis, aman, dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Penanganan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang baik akan mampu

mengurangi timbulan limbah yang dihasilkan sehingga dapat mencegah terjadinya pencemaran lingkungan.

Menurut peraturan menteri LHK No. 6 Tahun 2021 Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun yang disebut Limbah B3 merupakan sisa suatu Usaha dan/atau Kegiatan yang mengandung B3. Sebagai tambahan, definisi B3 sendiri (Pasal 1 angka 1) adalah Bahan Berbahaya dan Beracun yang selanjutnya disingkat B3 adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak Lingkungan Hidup, dan/atau membahayakan Lingkungan Hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain.

Bahan berbahaya dan beracun (B3) adalah bahan yang karena sifat dan atau konsentrasinya dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan atau merusak lingkungan hidup, dan atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya" (Mulyono & Verawati, 2022).

1.1 Pengelolaan Limbah B3

Tempat Penyimpanan Sementara yang disingkat selanjutnya sebagai TPS adalah tempat yang dijadikan sebagai penyimpanan sisa buang sebelum diangkut atau dilanjutkan ke pihak selanjutnya yaitu pihak pemanfaat. sedangkan untuk penyimpanan Limbah B3 berdasarkan PP No. 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun tertulis pada pasal 13 huruf (b) yaitu fasilitas penyimpanan Limbah B3 yang sesuai dengan jumlah Limbah B3, karakteristik Limbah B3, dan dilengkapi dengan upaya pengendalian pencemaran lingkungan hidup, yang dimaksud adalah tertulis pada Pasal 15 sebagaimana dimaksud dapat berupa: a) Bangunan, b) Tangki/*container*, c) Tempat tumpukan limbah, d) *Waste impoundment*, dan e) Bentuk lainnya sesuai perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (Fatmalia dkk, 2021)

1.2 Pemanfaatan *Fuel Oil* dan *Waste Oil* sebagai Bahan Peledak

Dalam tambang terbuka, ANFO (*Ammonium Nitrate Fuel Oil*) digunakan untuk peledakan. *Fuel oil* murni memiliki kestabilan tinggi namun mahal, sehingga sering diganti *waste oil* (oli bekas) yang sudah disaring. Campuran umum adalah 94% amonium nitrat dan 6% *fuel/waste oil*. Pemanfaatan oli bekas mengurangi limbah B3 sekaligus menekan biaya, namun harus memenuhi standar kebersihan dan mendapat izin dari KLHK.

1.3 Tata Cara Penetapan Status Limbah B3

Penetapan status dilakukan dengan mengidentifikasi sumber, sifat, dan hasil uji toksikologi.

Kategori 1: sangat berbahaya, $LD50 \leq 50$ mg/kg atau \geq TCLP-A. Contoh: aki bekas, filter bekas, *sludge*, *freon*.

Kategori 2: berbahaya tingkat sedang, $LD50 > 50 - \leq 5000$ mg/kg atau antara TCLP-A dan TCLP-B. Contoh: oli bekas, majun, *grease*, limbah elektronik.

Non-B3: tidak memenuhi kriteria berbahaya.

1.4 Pengemasan Limbah B3

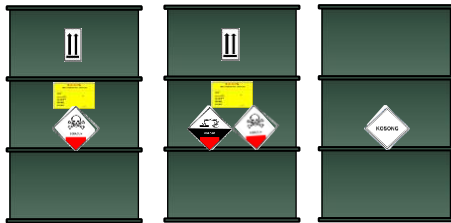
Pengemasan wajib menggunakan wadah kedap, tahan bahan kimia, tertutup rapat, serta dilengkapi label dan simbol sesuai sifat bahaya. Standar diatur dalam Permen LHK No. 6/2021 dan SNI 19-2454-2002. Dilarang mencampur limbah yang tidak kompatibel.



Gambar 1 Kemasan Limbah B3

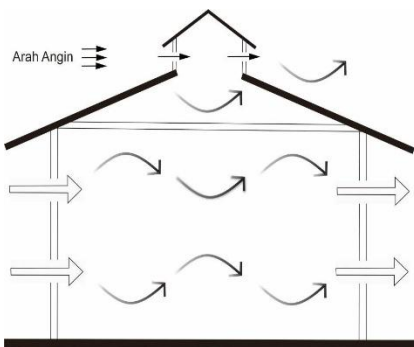
1.5 Labeling dan Pemasangan Simbol

Simbol bahaya (mudah menyala, meledak, beracun, korosif, infeksius, berbahaya bagi lingkungan) wajib dipasang pada kemasan, bersama label yang memuat identitas limbah, kode, sumber, dan peringatan.



Gambar 2 Penempatan label dan simbol

1.6 Penyimpanan Limbah B3



Gambar 3 Desain Tempat Penyimpanan Sementara

Penyimpanan sementara dilakukan di TPS yang bebas banjir, memiliki ventilasi, atap, lantai kedap, bak

penampung tumpahan, saluran drainase, dan simbol bahaya. Durasi penyimpanan dibatasi: 90 hari (≥ 50 kg/hari), 180–365 hari (kategori tertentu). Tangki dan kontainer harus tahan bocor dan dilengkapi pelindung dari hujan/matahari.

1.7 Pengangkutan

Pengangkutan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (Limbah B3) adalah salah satu tahapan penting dalam pengelolaan limbah B3 yang bertujuan untuk memindahkan Limbah B3 dari lokasi penghasil, penyimpanan, atau pengumpulan menuju ke fasilitas pengolahan, pemanfaatan, atau penimbunan akhir, dengan cara yang aman bagi lingkungan dan kesehatan manusia

Dilakukan oleh pihak berizin dengan kendaraan khusus, dilengkapi Manifes Elektronik dan *GPS Tracking*. Limbah kategori 1 dan 2 diangkut dengan alat. Kendaraan harus berlabel dan memiliki perlengkapan tanggap darurat.

1.8 Landasan Hukum Terkait

- 1) Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (PPLH).
- 2) Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- 3) Peraturan Menteri LHK Nomor 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah B3.
- 4) Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah.

2. Data dan Metodologi

2.1. Data dan Lokasi

Kegiatan penelitian dilakukan di Tempat Penyimpanan Sementara Terpadu (TPST) Limbah B3 Blok Timur, yang berada di wilayah IUP Banko Barat, PT Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Fasilitas ini menjadi pusat penampungan sementara sebelum limbah B3 diserahkan kepada pihak pengolah atau pemanfaat yang memiliki izin resmi.

2.2. Metodologi

- 1) Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan membaca dan mencari berbagai sumber tertulis seperti buku, jurnal ilmiah, laporan penelitian sebelumnya, serta referensi dari internet yang relevan dengan topik. Tujuannya untuk mendapatkan landasan teori dan pemahaman dasar terkait limbah B3, sistem *handling*, dan penerapan tanggap darurat.

2) Observasi

Observasi dilakukan secara langsung di lokasi pengelolaan limbah B3, yaitu TPST limbah B3 Blok Timur, PT Bukit Asam Tbk. Metode ini digunakan untuk mengumpulkan data secara nyata terkait pengelolaan limbah B3.

3) Dokumentasi

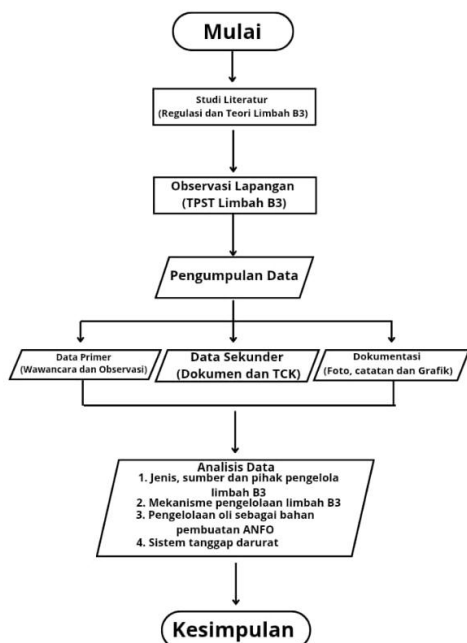
Metode Dokumentasi, yaitu pengumpulan data yang diperoleh oleh dokumen-dokumen yang ada di TPST limbah B3 banko misalnya, foto, catatan-atatan dan lain-lain.

4) Data Primer

Penelitian dilakukan secara langsung di lokasi kerja, yaitu di TPST limbah B3 Blok Timur. Penulis melakukan pengamatan terhadap kondisi lingkungan, sumber penghasil, jenis limbah, penanganan limbah, alur pengelolaan oli bekas, serta mengetahui sitem tanggap darurat. Selain itu, penulis juga melakukan wawancara langsung dengan teknisi atau operator untuk mendapatkan informasi tambahan terkait pengelolaan limbah B3 dan tanggap darurat yang ada.

5) Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari dokumen atau catatan yang sudah tersedia di perusahaan. Data ini meliputi tata cara kerja pengelolaan limbah B3, data pemasukan serta pengeluaran limbah B3, Data ini membantu melengkapi hasil observasi dan memberikan gambaran yang lebih utuh terhadap sistem yang diteliti.



Gambar 4 Metodologi penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini memaparkan hasil penelitian dan observasi lapangan yang dilakukan di Tempat Penyimpanan Sementara Terpadu (TPST) Limbah B3 Blok Timur, IUP Banko Barat PT Bukit Asam Tbk. Data yang disajikan diperoleh melalui kombinasi metode observasi langsung, wawancara dengan pihak terkait, serta penelaahan dokumen dan catatan perusahaan. Pembahasan difokuskan pada empat aspek utama, yaitu: sumber dan jenis limbah B3, mekanisme pengelolaan limbah B3, pemanfaatan oli bekas sebagai bahan baku pembuatan ANFO, serta sistem dan prosedur tanggap darurat yang berlaku di TPST.

Analisis dilakukan dengan membandingkan kondisi di lapangan dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku, termasuk PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Permen LHK No. 6 Tahun 2021, dan Permen LHK No. 14 Tahun 2013. Pendekatan ini bertujuan untuk menilai sejauh mana pengelolaan limbah B3 di TPST telah memenuhi standar teknis dan administratif, serta mengidentifikasi peluang perbaikan untuk meningkatkan kinerja lingkungan perusahaan.

3.1. Sumber, Jenis Limbah yang Dihasilkan serta Pihak Pengolah Limbah

Kegiatan operasional di IUP Banko Barat PT Bukit Asam Tbk. menghasilkan berbagai jenis limbah B3 dari perusahaan inti maupun kontraktor. Limbah tersebut dikelompokkan menjadi:

Limbah Kategori 1: aki bekas, limbah laboratorium, hose bekas, filter bekas, freon, air radiator, sludge, bahan kimia kadaluarsa.

Limbah Kategori 2: oli bekas, majun bekas, serbuk, tanah terkontaminasi, bearing, grease, limbah elektronik, lampu TL, asbes, kemasan bekas B3, catridge/toner.

Jenis limbah ini memiliki karakteristik beracun, mudah menyala, korosif, atau kombinasi sifat tersebut, sehingga memerlukan penanganan sesuai PP No. 22 Tahun 2021.

1) Hasil Limbah PT. SBS dan Perusahaan Subkonya

Tabel 1 Limbah kategori 1

Bulan	Aki bekas	Filter	Hose	Sludge
Januari	2,28 ton	5,02 ton	1,23 ton	0,00 ton
Februari	0,65 ton	5,16 ton	0,10 ton	0,00 ton
Maret	1,40 ton	6,72 ton	3,11 ton	0,15 ton
April	1,43 ton	6,78 ton	1,25 ton	0,00 ton
Mei	0,75 ton	6,00 ton	0,45 ton	0,00 ton
Juni	3,65 ton	6,19 ton	0,80 ton	0,00 ton

Dari hasil pencatatan, PT. SBS dan subkontraktornya menghasilkan dua kelompok utama limbah B3, yaitu kategori 1 dan kategori 2. Limbah kategori 1 terdiri dari aki bekas, filter bekas, hose bekas, dan sludge. jenis-jenis limbah ini memiliki tingkat bahaya yang tinggi, karena

bersifat beracun dan beberapa di antaranya memiliki potensi korosif atau mudah menyala. pengelolaan limbah kategori 1 dilakukan dengan memastikan bahwa limbah disimpan dalam wadah yang sesuai dengan karakteristiknya, dipisahkan dari jenis limbah dan karakteristik lain (Tabel 1).

Di sisi lain, limbah kategori 2 mencakup oli bekas, majun, serbuk, *grease*, dan tanah terkontaminasi. Limbah ini lebih sering dihasilkan dalam jumlah besar, terutama oli bekas yang menjadi jenis limbah terbanyak dari PT. SBS. Karena sifatnya yang masih berbahaya, pengelolaan limbah kategori 2 dilakukan dengan mengatur jadwal pengangkutan secara rutin agar tidak terjadi penumpukan di TPS. (Tabel 2).

Tabel 2 Limbah kategori 2

Bulan	Oli Bekas	Majun	Sampah Terkontaminasi	Serbuk	Grease	Tanah Terkontaminasi
Januari	17,82 ton	0,36 ton	1,16 ton	0,13 ton	0,00 ton	0,00 ton
Februari	28,66 ton	0,15 ton	0,65 ton	0,14 ton	0,00 ton	0,00 ton
Maret	64,06 ton	0,38 ton	1,44 ton	0,12 ton	0,15 ton	0,13 ton
April	53,76 ton	0,27 ton	1,44 ton	0,22 ton	0,62 ton	0,33 ton
Mei	73,15 ton	0,16 ton	1,69 ton	0,07 ton	0,13 ton	0,18 ton
Juni	68,37 ton	0,07 ton	1,56 ton	0,10 ton	0,21 ton	0,00 ton

2) Hasil Limbah PT. PPA dan Perusahaan Subkonnya

Tabel 3 Limbah kategori 1

Bulan	Aki Bekas	Filter	Hose	Sludge
Januari	2,20 ton	3,26 ton	2,59 ton	3,68 ton
Februari	2,20 ton	3,51 ton	2,34 ton	3,68 ton
Maret	4,59 ton	3,79 ton	2,23 ton	3,77 ton
April	0,93 ton	3,44 ton	0,62 ton	2,34 ton
Mei	3,21 ton	4,32 ton	2,16 ton	2,51 ton
Juni	0,00 ton	2,57 ton	0,49 ton	5,48 ton

PT. PPA dan perusahaan subkontraktornya menghasilkan berbagai jenis limbah B3 yang terdiri dari kategori 1 dan kategori 2. Limbah kategori 1 meliputi filter bekas, hose bekas, sludge, dan aki bekas. Jenis limbah ini memiliki sifat berbahaya yang memerlukan perhatian lebih dalam pengelolaannya, terutama sludge yang selain beracun juga bersifat korosif dan mudah menyala (Tabel 3).

Limbah kategori 2 di PT. PPA didominasi oleh oli bekas, majun bekas, grease, serbuk, dan tanah terkontaminasi. Oli bekas merupakan limbah dengan volume tertinggi dari PT. PPA, mencapai puncaknya di bulan Mei. Karena volumenya yang besar dan terus bertambah seiring aktivitas operasional, pengelolaan oli bekas dilakukan dengan penjadwalan pengangkutan yang lebih sering dibanding jenis limbah lainnya. Limbah padat seperti majun dan serbuk dihasilkan dalam jumlah lebih kecil, namun tetap dipisahkan sejak awal untuk memudahkan proses pengumpulan (Tabel 4).

Tabel 4 Limbah kategori 2

Bulan	Oli Bekas	Majun	Sampah Terkontaminasi	Serbuk	Grease	Tanah Terkontaminasi
Januari	38,70 ton	0,00 ton	3,42 ton	0,00 ton	0,71 ton	0,00 ton
Februari	25,20 ton	0,00 ton	5,76 ton	0,00 ton	0,00 ton	0,00 ton
Maret	31,52 ton	0,15 ton	5,62 ton	0,00 ton	0,15 ton	0,00 ton
April	28,08 ton	0,42 ton	4,52 ton	0,00 ton	0,29 ton	0,00 ton
Mei	117,09 ton	0,00 ton	7,58 ton	0,00 ton	1,21 ton	0,27 ton
Juni	39,09 ton	0,00 ton	4,44 ton	5,48 ton	0,00 ton	0,00 ton

3) Hasil Limbah PT. Bukit Asam

Tabel 5 Limbah kategori 1

Bulan	Aki Bekas	Filter	Hose	Sludge
Januari	2,71 ton	2,71 ton	0,40 ton	0,00 ton
Februari	0,68 ton	2,05 ton	0,47 ton	0,00 ton
Maret	1,95 ton	1,87 ton	0,22 ton	0,00 ton
April	0,96 ton	1,26 ton	0,51 ton	0,00 ton
Mei	0,33 ton	2,82 ton	1,03 ton	3,62 ton
Juni	0,81 ton	2,34 ton	0,60 ton	0,41 ton

PT. Bukit Asam (PT. BA) menghasilkan limbah B3 kategori 1 dan kategori 2 dengan pola produksi yang relatif stabil dibandingkan perusahaan subkontraktor lainnya. limbah kategori 1 dari PT. BA terdiri atas filter bekas, aki bekas, hose bekas, dan sludge. limbah-limbah ini dihasilkan dalam jumlah yang tidak terlalu besar namun tetap konsisten setiap bulan. karena volumenya tidak fluktuatif, pengeluarannya lebih sering dilakukan secara akumulasi, yakni dikumpulkan hingga mencapai kuota minimum pengangkutan sebelum diserahkan kepada pihak ketiga (Tabel 5).

Sementara itu, limbah kategori 2 yang dihasilkan oleh PT. BA mencakup oli bekas, majun bekas, grease, serbuk, dan tanah terkontaminasi. Meski termasuk kategori 2, oli bekas dari PT. BA tetap menjadi prioritas pengelolaan karena volumenya yang lebih besar dibanding limbah padat lainnya. produksi oli bekas di PT. BA cenderung konstan, dengan rata-rata 10–15 ton per bulan, sehingga jadwal pengeluarannya sudah terencana dengan ritme tertentu agar tidak terjadi penumpukan di TPS (Tabel 6).

Tabel 6 Limbah kategori 2

Bulan	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni
Oli WOPP	0,00 ton	0,00 ton	0,00 ton	2,75 ton	5,41 ton	8,05 ton
Oli Bekas	10,08 ton	5,26 ton	15,17 ton	14,11 ton	15,25 ton	14,10 ton
Majun	0,71 ton	0,63 ton	0,64 ton	0,31 ton	1,49 ton	0,39 ton
Sampah Terkontaminasi	0,76 ton	1,22 ton	0,85 ton	1,00 ton	1,56 ton	1,00 ton
Serbuk	0,94 ton	0,96 ton	0,58 ton	0,38 ton	0,65 ton	1,11 ton
Grease	0,27 ton	0,00 ton	0,10 ton	0,00 ton	0,48 ton	0,11 ton
Bearing	0,04 ton	0,00 ton	0,17 ton	0,00 ton	0,65 ton	0,29 ton
Limbah elektronik	0,00 ton	0,00 ton	0,26 ton	0,12 ton	0,00 ton	0,52 ton
Lampu TL	0,00 ton	0,00 ton	0,26 ton	0,12 ton	0,00 ton	0,00 ton
Tanah Terkontaminasi	0,51 ton	1,41 ton	1,84 ton	0,69 ton	1,89 ton	1,44 ton

4) Hasil Limbah PT. Pama dan Subkonnya

Tabel 7 Limbah kategori 1

Bulan	Aki bekas	Filter	Hose	Sludge
Januari	0,56 ton	6,93 ton	0,90 ton	0,00 ton
Februari	0,90 ton	5,43 ton	1,16 ton	0,00 ton
Maret	0,49 ton	3,03 ton	0,60 ton	0,00 ton
April	0,42 ton	5,78 ton	0,88 ton	0,18 ton
Mei	0,66 ton	9,07 ton	1,32 ton	0,00 ton
Juni	0,53 ton	3,09 ton	0,19 ton	0,00 ton

Limbah kategori 1 yang dihasilkan meliputi filter bekas, aki bekas, hose bekas, dan sludge. Meskipun jenisnya sama dengan perusahaan lain, volume produksi limbah kategori

1 di PT. PAMA cenderung bervariasi antar bulan, tergantung pada jadwal perawatan dan intensitas operasional alat berat (Tabel 7).

Limbah kategori 2 didominasi oleh oli bekas, yang volumenya mengalami lonjakan signifikan dari Februari hingga Mei, dengan puncak mencapai 71,08 ton. Peningkatan produksi limbah oli bekas ini selaras dengan intensifikasi penggunaan alat berat pada periode tersebut. Limbah padat kategori 2 lainnya, seperti majun bekas, grease, serbuk, dan tanah terkontaminasi, dihasilkan dalam volume lebih kecil namun tetap rutin (Tabel 8).

Tabel 8 Limbah kategori 2

Bulan	Oli bekas	Majun	Sampah Terkontaminasi	Serbuk	Grease
Januari	8,10 ton	0,00 ton	0,95 ton	0,00 ton	0,00 ton
Februari	46,57 ton	0,00 ton	1,41 ton	0,00 ton	0,00 ton
Maret	40,11 ton	0,00 ton	1,15 ton	0,00 ton	0,00 ton
April	44,39 ton	0,07 ton	0,91 ton	0,14 ton	0,09 ton
Mei	75,64 ton	0,00 ton	2,23 ton	0,00 ton	0,00 ton
Juni	58,30 ton	0,00 ton	0,00 ton	0,00 ton	0,00 ton

5) Hasil Limbah dari gabungan beberapa Perusahaan

Tabel 9 Limbah kategori 1

Bulan	Filter	Hose
Januari	0,33 ton	0,00 ton
Februari	0,21 ton	0,00 ton
Maret	0,25 ton	0,00 ton
April	0,23 ton	0,07 ton
Mei	0,99 ton	0,06 ton
Juni	0,55 ton	0,06 ton

Pada area gabungan beberapa perusahaan subkontraktor, jenis limbah yang dihasilkan merupakan kombinasi dari berbagai aktivitas operasional, sehingga menghasilkan komposisi limbah yang lebih beragam. Limbah kategori 1 seperti filter bekas, aki bekas, dan sludge tetap muncul, namun volumenya cenderung kecil karena intensitas produksinya lebih rendah dibandingkan perusahaan besar seperti SBS atau PPA (Tabel 9).

Sebaliknya, limbah kategori 2, khususnya oli bekas, menjadi jenis limbah yang paling dominan dalam kelompok gabungan ini. Meskipun masing-masing subkontraktor menghasilkan oli bekas dalam jumlah kecil, akumulasi dari seluruh perusahaan menunjukkan volume yang signifikan, terutama di bulan Mei yang mencatat angka 8,57 ton. Selain oli, limbah padat kategori 2 seperti majun, grease, dan serbuk dihasilkan secara rutin meskipun volumenya

bervariasi tergantung intensitas kerja masing-masing subkontraktor (Tabel 10).

Tabel 10 Limbah kategori 2

Bulan	Oli bekas	Maju n	Sampah Terkontamina si	Grease	Lampu TL
Januari	0,54 ton	0,06 ton	0,00 ton	0,00 ton	0,00 ton
Februari	1,79 ton	0,00 ton	0,00 ton	0,00 ton	0,00 ton
Maret	3,68 ton	0,00 ton	0,14 ton	0,00 ton	0,00 ton
April	5,04 ton	0,11 ton	0,17 ton	0,00 ton	0,05 ton
Mei	8,57 ton	0,06 ton	0,95 ton	0,18 ton	0,00 ton
juni	5,22 ton	0,05 ton	0,06 ton	0,00 ton	0,00 ton

6) Limbah Oli Bekas yang di Bawa ke Pihak ke Tiga (3)

Tabel 11 Limbah oli yang akan di olah ke pihak ke 3

Bulan	PT.DAS	PT.WGI	PT.HM	PT.TRIGUNA
Januari	0,00 ton	0,00 ton	0,00 ton	0,00 ton
Februari	53,07 ton	43,01 ton	0,00 ton	0,00 ton
Maret	47,03 ton	24,00 ton	0,00 ton	0,00 ton
April	0,00 ton	38,60 ton	38,45 ton	0,00 ton
Mei	0,00 ton	89,14 ton	96,11 ton	28,13 ton
Juni	0,00 ton	62,37 ton	93,11 ton	138,10 ton

Distribusi pengeluaran limbah oli bekas dikelola secara fleksibel, dengan mempertimbangkan volume timbulan yang cepat terisi di TPS. Oleh karena itu, meskipun sifatnya kategori 2, pengeluaran oli bekas diutamakan untuk menjaga agar tidak terjadi *over-capacity* di TPS. Variasi dalam pihak pengangkut juga menunjukkan adanya sistem rotasi agar proses penyerahan limbah berjalan lancar tanpa menunggu antrian terlalu lama (Tabel 11).

7) Limbah Aki Bekas yang Telah di Bawa ke PT. MUHTOMAS

Tabel 12 Limbah aki yang akan di olah pihak ke 3

Bulan	Muhtomas
Januari	3,32 ton
Februari	0,00 ton
Maret	13,12 ton
April	10,03 ton
Mei	0,00 ton
Juni	9,10 ton

Pengelolaan limbah aki bekas dilakukan dengan sistem pengangkutan tidak tetap tiap bulan, bergantung pada

volume yang tersedia. PT.Muhtomas menjadi pihak ketiga yang tetap menerima limbah limbaah aki bekas untuk saat ini (Tabel 12).

8) Limbah Padat yang telah di Ambil oleh PT. PLIB

Pada kategori 1, *filter* bekas menjadi jenis limbah dengan volume tertinggi yang dikeluarkan setiap bulan. puncak pengeluaran terjadi di bulan Februari dan Mei masing-masing sebesar 20,66 ton dan 21,61 ton. Sementara itu, limbah hose bekas mencatatkan volume tertinggi di bulan April sebesar 9,39 ton. volume *filter* dan *hose* menunjukkan tren fluktuatif, mengikutimenunjukkan tren fluktuatif, mengikuti aktivitas perawatan alat berat yang rutin dilakukan oleh perusahaan (Tabel 13)

Tabel 13 Limbah kategori 1

Bulan	Filter	Hose
Januari	6,04 ton	0,00 ton
Februari	20,66 ton	0,08 ton
Maret	13,96 ton	4,12 ton
April	13,72 ton	9,39 ton
Mei	21,61 ton	6,05 ton
Juni	10,23 ton	3,75 ton

Data tabel menunjukkan bahwa limbah padat yang dikirim ke PT. PLIB didominasi oleh hasil perawatan alat seperti *filter* dan *hose*, serta limbah pembersihan area kerja berupa sampah terkontaminasi. volume pengeluarannya bersifat dinamis, mengikuti akumulasi timbulan dari berbagai perusahaan di TPST Banko Barat (Tabel 14).

Tabel 14 Limbah kategori 2

Bulan	Maju n	Beari ng	Serb uk	Sampah Terkontami nasi	Tanah Terkontami nasi
januari	0,00	0,00	0,00	1,37	0,00
februari	0,00	0,00	0,00	8,93	0,00
maret	1,63	0,39	2,44	0,00	0,00
april	0,00	0,00	0,71	11,88	4,13
mei	2,94	0,17	1,27	13,31	4,07
juni	0,00	0,24	0,72	9,91	2,34

9) Limbah padat yang telah di ambil oleh PT. PPLI

Tabel 15 Limbah kategori 1

Bulan	Filter	Sludge
Januari	0,00 ton	0,00 ton
Februari	0,00 ton	0,00 ton
Maret	0,00 ton	5,64 ton
April	0,00 ton	0,00 ton
Mei	0,00 ton	7,95 ton
Juni	3,63 ton	2,00 ton

Pada kategori 1, *sludge* menjadi jenis limbah dengan volume terbesar, dengan puncak pengeluaran di bulan Mei sebesar 7,95 ton dan di bulan Maret sebesar 5,64 ton.

Pengeluaran *sludge* ini tidak dilakukan secara rutin tiap bulan, melainkan menyesuaikan dengan volume akumulasi yang tersedia di TPS. Sementara itu, *filter* bekas baru dikirimkan pada bulan Juni sebesar 3,63 ton, setelah sebelumnya tidak ada pengeluaran di bulan-bulan awal (Tabel 15).

Untuk kategori 2, limbah seperti majun, *grease*, lampu TL, dan limbah elektronik dikirimkan dalam volume yang relatif kecil dan tidak terjadwal rutin. Misalnya, *grease* memiliki volume pengeluaran tertinggi di bulan april sebesar 3,23 ton, sedangkan lampu TL hanya dicatatkan pengeluarannya di bulan Mei sebesar 0,43 ton. Limbah elektronik pun baru dikeluarkan di bulan Juni dengan volume sebesar 0,21 ton (Tabel 16).

Tabel 16 Limbah kategori 2

Bulan	Majun	Lampu TL	Limbah Eelektronik	Grease
Januari	0,00 ton	0,00 ton	0,00 ton	0,00 ton
Februari	0,52 ton	0,00 ton	0,00 ton	0,33 ton
Maret	0,00 ton	0,00 ton	0,00 ton	0,27 ton
April	0,00 ton	0,00 ton	0,00 ton	3,23 ton
Mei	0,00 ton	0,43 ton	0,00 ton	1,23 ton
Juni	0,00 ton	0,00 ton	0,21 ton	2,00 ton

3.2. Mekanisme Pengelolaan Limbah B3

1) Pengumpulan Limbah B3

Limbah B3 dari perusahaan tambang seperti PT. PAMA, PT. SBS, PT. PPA, dan lainnya dikemas dalam drum sejak dari sumbernya sebelum diserahkan ke TPST Limbah B3 Banko. Limbah tersebut berasal dari aktivitas pertambangan, termasuk perawatan alat dan kendaraan tambang seperti penggantian oli, aki, serbuk kayu bekas, serta tanah yang terkontaminasi oli. Proses pemasukan limbah ke TPS dimulai dengan identifikasi jenis dan jumlah limbah, pengecekan kemasan, label, dan kelengkapan dokumen seperti Surat Permohonan Pemasukan Limbah B3. Setelah memenuhi ketentuan, limbah diangkut dengan forklift, disusun sesuai kategori, lalu dicatat dalam logbook dan berita acara sebagai dokumen resmi.

2) Pengemasan

Limbah dikemas dalam drum, *IBC* dan *jumbo bag* yang tidak bocor, kuat terhadap korosi, dan dilengkapi tutup rapat tetapi walaupun sudah di tutup bagian atasnya masih harus di bungkus dengan *wrap* (Gambar 5).



Gambar 5 Kemasan limbah

3) Labelling

Semua drum diberi label dan di beri tanda menggunakan simbol sesuai dengan jenis limbah. Susunan simbol limbah dimulai dari simbol penutup kemasan dengan tanda 2 (dua) anak panah menunjuk ke atas, lalu bawah nya ada label limbah dan terakhir paling bawah diisi simbol sesuai jenis limbahnya.

4) Penyimpanan sementara Limbah B3

Drum limbah B3 disimpan di gudang sementara sesuai jenisnya, dengan penumpukan maksimal 3 tumpukan (umumnya 2) untuk mencegah kecelakaan kerja. Limbah cair disimpan dalam tangki berkapasitas 24.000 liter per unit, dengan total 5 tangki di TPST.



Gambar 6 Tempat penyimpanan sementara

5) Transportasi

Pengangkutan limbah B3 dilakukan oleh transporter berizin sesuai Permen LHK No. 6/2021, dengan pengecekan plat dan petugas sebelum pengiriman. Setiap kegiatan (pemanfaatan, pengolahan, pengumpulan, pengangkutan) memiliki izin berbeda. Contohnya, PT MUHTOMAS memakai jasa PT TSSA karena tidak memiliki izin pengangkutan, sedangkan PT DAS memiliki izin lengkap dari Kementerian LH.



Gambar 7 Pengangkutan Limbah B3

6) Penyerahan ke Pihak ketiga

Tata Cara Kerja pengeluaran limbah B3 mencakup verifikasi jenis dan jumlah limbah, pengecekan dokumen, serta pemeriksaan fisik kemasan. Limbah dipindahkan ke alat angkut pihak ketiga dengan pengawasan petugas, dicatat di *logbook*, dibuatkan berita acara, dan dilaporkan dalam Neraca Limbah B3. Limbah kemudian diserahkan ke perusahaan berizin KLHK seperti PT PPLI, PT Muhtomas, PT HM, PT WGI, PT Triguna, dan PT PLIB untuk dimanfaatkan atau dimusnahkan.

3.3. Pengelolaan Oli Bekas hingga Pemanfaatan menjadi Bahan Pembuatan Peledak.

Oli bekas dari mesin berat dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar campuran ANFO, bahan peledak tambang yang terdiri dari *Ammonium Nitrate* (AN) dan *Fuel Oil* (FO).

Prosesnya meliputi:

- 1) Pengolahan & Pemeriksaan – Oli bekas diolah agar memenuhi spesifikasi, diuji laboratorium untuk memastikan kadar zat berbahaya (*Arsenic, Cadmium, Chromium, Lead*) berada di bawah batas.
- 2) Pencampuran dengan Solar – Oli lolos uji dicampur solar sesuai takaran jika kandungan waste oil <100%.
- 3) Pencampuran dengan Ammonium Nitrate – Campuran fuel oil dimasukkan ke tangki ANFO Truck lalu dicampur dengan AN saat pengisian peledak. Warna hasil akhir menunjukkan kadar waste oil (kuning pucat tanpa waste oil, semakin hitam jika kandungannya tinggi).

3.4. Sistem dan Prosedur Tanggap Darurat

Pengelolaan limbah B3 di TPST dilengkapi berbagai rambu untuk menjaga keselamatan dan mencegah kecelakaan.

- 1) Bahan Berbahaya – Rambu peringatan padatan mudah menyala, beracun, dan korosif sebagai tanda adanya potensi bahaya bagi manusia, hewan, maupun tumbuhan.
- 2) Rambu Safety – Wajib menggunakan APD seperti masker, helm, kaca mata, rompi, sarung tangan, dan sepatu keselamatan untuk melindungi diri dari debu, benturan, percikan bahan kimia, atau suhu ekstrem.

- 3) Pergerakan Kendaraan – Rambu “Hati-hati Lalu Lintas Forklift” mengingatkan adanya mobilitas forklift di area TPST yang berisiko menimbulkan kecelakaan.
- 4) Benda Jatuh – Rambu “Awas Bahaya Tertimpa” menunjukkan risiko tertimpa drum limbah padat, sehingga penumpukan dibatasi maksimal 2-3 tumpukan.
- 5) Larangan Membawa Makanan/Minuman – Untuk menghindari kontaminasi yang dapat menyebabkan keracunan bagi pekerja.



Gambar 8 Rambu Bahaya Tertimpa dan Lalu-Lintas Forklift

- 6) *Eye Wash* – Fasilitas untuk membilas mata secara cepat jika terkena bahan kimia, debu, atau iritan, tersedia di TPST limbah padat dan cair untuk mencegah cedera mata serius.
- 7) Detektor Asap – Digunakan untuk mencegah kebakaran akibat rokok atau bahan mudah terbakar seperti oli bekas, dengan mendeteksi asap dan kenaikan suhu sebagai tanda awal kebakaran.
- 8) Kotak P3K – Berisi perlengkapan pertolongan pertama seperti plester, perban, kain kasa, kapas, gunting, dan pinset, digunakan untuk menangani cedera ringan hingga pertolongan awal sebelum bantuan medis tiba.



Gambar 5 Kotak P3K

- 9) APAR – Alat pemadam api ringan untuk memadamkan api kecil pada tahap awal sebelum membesar.
- 10) Titik Kumpul (Tikum) – Area terbuka yang aman untuk berkumpul saat evakuasi darurat, dengan akses mudah bagi kendaraan darurat seperti pemadam kebakaran dan ambulans.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan langsung terhadap proses pengelolaan limbah B3 di TPST LB3 IUP Banko Barat PT Bukit Asam Site Tanjung Enim, dapat disimpulkan bahwa limbah B3 yang dihasilkan berasal dari berbagai aktivitas pertambangan dan operasional pendukung, seperti workshop, laboratorium, dan servis alat berat, dengan jenis limbah berupa oli bekas, filter, aki bekas, tanah terkontaminasi, sludge, majun, dan lampu TL yang termasuk dalam Kategori 1 dan 2 sesuai PP No. 22 Tahun 2021. Limbah tersebut tidak diolah di TPST, tetapi diserahkan ke perusahaan pengolah berizin seperti PT Muhtomas, PT PLIB, PT PPLI, PT Triguna, PT WGI, dan PT DAS yang telah memperoleh rekomendasi resmi dari Kementerian Lingkungan Hidup. Seluruh proses pengelolaan limbah di TPST Limbah B3 Blok Timur dilakukan sesuai regulasi, mulai dari pengumpulan, pengemasan, pelabelan, penyimpanan sementara, hingga pengangkutan ke pihak ketiga dengan tetap memperhatikan aspek keselamatan dan keamanan kerja. Selain itu, pemanfaatan oli bekas sebagai bahan pembuatan fuel substitution terbukti memberikan manfaat ekonomi melalui penghematan biaya sekaligus mengurangi volume limbah B3. TPST Limbah B3 Blok Timur juga telah dilengkapi sarana keselamatan seperti rambu evakuasi, alat pemadam api, eye wash, sensor asap, kotak P3K, serta sistem penataan limbah yang aman sehingga mampu meminimalkan risiko kecelakaan kerja maupun pencemaran lingkungan.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama proses penelitian ini berlangsung. Secara khusus, penulis menyampaikan apresiasi kepada pihak TPST Limbah B3 Banko Barat PT Bukit Asam Tbk. atas kesempatan dan fasilitas yang telah diberikan selama pelaksanaan penelitian di lapangan. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Akademi Komunitas Industri Pertambangan Bukit Asam atas segala bentuk dukungan, baik akademik maupun moral, yang telah membantu kelancaran pelaksanaan dan penyusunan laporan ini.

6. Referensi

Direktorat Jenderal Bina Marga. (2021). *Prosedur Pengelolaan Limbah B3 (SOP/UPM-SMKK/DJBM-155)*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. <https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/1510/sop-upm-smkkdjbm-155-tentang-prosedur-pengelolaan-limbah-b3.pdf>

- Fatmalia, E., Yuliansari, D., Abdullah, T., & Melinda, T. (2021). Pengadaan Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) Limbah Padat Bahan Berbahaya & Beracun (B3) Laboratorium Lingkungan Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan (STTL) Mataram. *COMMUNITY: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(2), 124–130. <https://doi.org/10.51878/community.v1i2.872>
- Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2014). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 14 Tahun 2013 tentang Simbol dan Label Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Diundangkan 13 Januari 2014, Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 39. Diakses dari <https://jdih.menlhk.go.id/new2/uploads/files/PER-MEN%20No.%2014%20Th%202013%20Simbol%20dan%20Label.pdf>
- Mulyono, T., & Verawati, K. (2021). *Perkembangan Dan Sistem Pengangkutan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (B3) Di Indonesia*. *Logistik*, 14 (2), 102–115. <https://doi.org/10.21009/logistik.v14i2.23569>
- Pemerintah Republik Indonesia. (2009). *Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 140. Diundangkan tanggal 3 Oktober 2009. Diakses dari peraturan.bpk.go.id
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Lembaran Negara Tahun 2021 Nomor 32, Tambahan Lembaran Negara Nomor 6634. Ditetapkan dan diundangkan di Jakarta, 2 Februari 2021. Diakses dari peraturan.bpk.go.id
- Pemerintah Republik Indonesia. (2008). *Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2008 Nomor 69. Ditetapkan dan diundangkan di Jakarta, 7 Mei 2008. Diakses dari peraturan.bpk.go.id
- Pemerintah Republik Indonesia. (2019). *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2019 tentang Penyelenggaraan Angkutan Barang dengan Kendaraan Bermotor di Jalan*. Ditetapkan 11 September 2019; Diundangkan 20 September 2019 (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2019 Nomor 1087). Diakses dari peraturan.bpk.go.id
- RAMADHAN, M. F., & HALOMOAN, N. (2024). Implementasi Rincian Teknis Limbah B3 Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 6 Tahun 2021. *Prosiding FTSP Series*, 1089–1093.
- Saputra, D., Sudrajat, D. F., & Rusba, K. (2025). Identifikasi Pengelola Limbah Padat B3 Pada Pt. Hidup Baru Perdana Abadi. *Identifikasi*, 11(1), 172–176. <https://doi.org/10.36277/identifikasi.v11i1.474>

Yurnalisdel, Y. (2023). Analisis Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di Indonesia. *Jurnal Syntax Admiration*, 4(2), 201-208.
<https://doi.org/10.46799/jsa.v4i2.562>