

EVALUASI PENGELOLAAN LIMBAH BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN DI PT PUPUK KALIMANTAN TIMUR

EVALUATION OF HAZARDOUS AND TOXIC WASTE MANAGEMENT AT PT PUPUK KALIMANTAN TIMUR

Oktasyavitto Adhitya Nugroho¹⁾ dan Susi Agustina Wilujeng^{1*)}

¹⁾Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111, Indonesia

^{*)}E-mail: wilujeng@enviro.its.ac.id

Abstrak

Peningkatan kapasitas produksi suatu industri berbanding lurus dengan jumlah limbah B3 yang dihasilkan. PT Pupuk Kalimantan Timur sebagai produsen pupuk NPK dan urea terbesar di Asia tentunya juga menghasilkan limbah yang salah satunya adalah limbah B3. Limbah B3 memerlukan pengelolaan khusus sebelum dikembalikan ke lingkungan mengingat bahaya serta dampak yang ditimbulkan, mulai dari sumber limbah B3 dihasilkan sampai dengan ditimbun. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi pengelolaan limbah B3 dengan cara membandingkan pengelolaan limbah B3 yang dilakukan perusahaan dengan peraturan yang berlaku serta memberi saran dan rekomendasi dan memberikan estimasi biaya yang diperlukan untuk pembangunan TPS limbah B3. Berdasarkan penelitian ini masih terdapat beberapa ketidaksesuaian pelaksanaan pengelolaan limbah B3 dengan peraturan yang berlaku yaitu pada kegiatan penyimpanan dan pengangkutan. Jumlah limbah B3 yang dihasilkan dalam kurun waktu 3 bulan adalah sebesar 115.662 kg atau setara dengan 152 palet. Dengan kapasitas Tempat Penyimpanan Sementara Limbah B3 (TPSLB3) yang ada hanya dapat menampung palet sebanyak 228 dengan adanya peningkatan kapasitas produksi maka TPS yang ada tidak dapat menampung seluruh limbah yang dihasilkan sehingga diperlukan bangunan TPS limbah B3 baru dengan kapasitas yang sesuai. TPSLB3 yang direncanakan memiliki dimensi 26 m x 12 m x 5 m dengan kapasitas tampung sebanyak 112 palet. TPSLB3 tersebut sudah dilengkapi dengan fasilitas pendukung seperti bak penampung, *safety shower*, APAR, pintu darurat dan penangkal petir dan sudah sesuai dengan standar dan peraturan yang berlaku.

Kata kunci: Limbah B3, Limbah industri, Pengelolaan limbah B3, TPSB3.

Abstract

The increase in production capacity of an industry is directly proportional to the amount of B3 waste generated. PT Pupuk Kalimantan Timur as the largest NPK and urea fertilizer producer in Asia certainly also produces waste, one of which is B3 waste. The B3 waste requires special management before being returned to the environment because its inherent dangers and impacts, starting from the source of B3 waste generated until it is dumped or buried. This study aims to identify and evaluate the management of B3 waste by comparing the management of B3 waste carried out by the company with applicable regulations and providing suggestions and recommendations and estimating the costs required for the construction of B3 waste disposal. Based on this research, there are several discrepancies in the implementation of B3 waste management compare with applicable regulations, such as storage and transportation activities. The amount of B3 waste generated in a period of 3 months is 115,662 kg or equivalent to 152 pallets. With the capacity of the existing B3 waste Temporary Storage Site (TPSLB3) can only accommodate 228 pallets with an increase in production capacity, the existing TPS cannot accommodate all the waste generated so that a new B3 waste TPS building with the appropriate capacity is needed. The planned TPSLB3 has dimensions of 26 m x 12 m x 5 m with a capacity of 112 pallets. The proposed TPSLB3 is already equipped with supporting facilities such as a catch basin, safety shower, fire extinguisher, emergency exit, and lightning rod and is in accordance with applicable standards and regulations.

Keywords: B3 waste, Hazardous waste management, Industrial waste, TPSB3.

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya kapasitas produksi suatu industri berbanding lurus dengan peningkatan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) yang dihasilkan. Pengelolaan limbah B3 memerlukan perhatian khusus dan utama sebelum dikembalikan ke lingkungan agar tidak menimbulkan dampak negatif baik bagi lingkungan maupun bagi manusia. Proses pencemaran yang disebabkan limbah B3 (khususnya di industri) dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Proses langsung, yaitu pencemar berdampak langsung pada keracunan, sehingga dapat mempengaruhi kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan serta dapat mempengaruhi keseimbangan ekologi air, udara dan tanah. Sedangkan proses tidak langsung dimana banyak bahan kimia bereaksi dengan air dan tanah yang menyebabkan polusi hingga menimbulkan pencemaran (Nursabrina dkk, 2021). Salah satu contohnya adalah yang terjadi di pemukiman sekitar pabrik pupuk fosfat di Gdansk, Polandia. *Phosphogypsum* yang merupakan limbah padat utama dari pupuk fosfat memiliki kandungan logam berat, *Fluorides*, dan *Radionuclides* yang berasal dari batuan fosfat (Mishra dkk, 2010). Sejumlah besar *Fluoride* dan *Cadmium* terkandung dalam urin anak-anak yang tinggal di dekat pabrik pupuk di Gdansk, Polandia. Hal ini, diakibatkan oleh air yang dikonsumsi terkontaminasi oleh *Fluoride* secara terus-menerus yang dapat menyebabkan kerapuhan tulang dan iritasi pada mata dan kulit (Czarnwski *et al.*, 2003).

Pada Peraturan Pemerintah (PP) No. 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pasal 276 dijelaskan bahwa setiap orang yang menghasilkan limbah B3 wajib melakukan pengelolaan limbah B3 yang dihasilkannya. Limbah B3 yang dihasilkan oleh PT Pupuk Kalimantan Timur diantaranya adalah *fly ash*, *bottom ash*, oli bekas, aki bekas, lampu TL bekas, katalis bekas, limbah laboratorium, kemasan terkontaminasi bekas, resin bekas, dll yang berasal dari sisa bekas proses pengolahan atau yang dihasilkan dari proses pengolahan pupuk. Total limbah B3 yang dihasilkan oleh PT Pupuk Kalimantan Timur pada tahun 2020 adalah sebesar 32.949,64 ton (PT Pupuk Kalimantan

Timur, 2020). Dengan besarnya limbah B3 yang dihasilkan tentunya dalam pengelolaannya diperlukan pengawasan yang ketat sehingga dapat meminimalisir dampak negatif terhadap lingkungan yang mungkin terjadi. Pengelolaan limbah B3 adalah kegiatan yang meliputi pengurangan, penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan, dan/atau penimbunan (Peraturan Pemerintah, 2021). Pengelolaan tersebut diharapkan dapat meminimasi timbulan limbah B3 yang dihasilkan dengan melakukan upaya yang dimulai dari pengurangan timbulan dari sumber dengan meminimasi penggunaan bahan baku atau bahan penolong yang semula B3 menjadi non B3, melakukan pemilihan dan penerapan proses produksi yang lebih efisien serta menggunakan teknologi yang ramah lingkungan. PT Pupuk Kalimantan Timur dalam penyimpanan drum bekas limbah B3 belum di tempatkan atau di simpan didalam TPSLB3 melainkan, hanya di simpan di gudang departemen. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi pengelolaan limbah B3, dan merencanakan desain TPSLB3 yang diperlukan serta memberikan estimasi biaya yang diperlukan untuk pembangunan dan/atau renovasi fasilitas pengelolaan limbah B3 sehingga, dengan penelitian ini diharapkan dapat memberi masukan dan saran untuk pengelolaan limbah B3 yang lebih baik.

2. METODA

2.1 Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data digunakan untuk mencari dan mengumpulkan literatur dari referensi yang digunakan. Data yang digunakan berupa data primer dan data sekunder, Hal ini diperlukan sebagai acuan dalam mendukung perencanaan yang dilakukan. Data primer yang digunakan yaitu kondisi nyata dan fasilitas pengelolaan limbah B3 di perusahaan dan dokumentasi pengelolaan limbah B3 Kondisi nyata didapatkan dengan melakukan identifikasi pengelolaan limbah B3. Identifikasi dilakukan dengan menganalisis alur proses produksi untuk mengetahui sumber, jenis, dan karakteristik limbah B3, melakukan pengamatan langsung mengenai kondisi eksisting pengelolaan limbah B3 di perusahaan, dan memberikan kuisioner kepada para pekerja yang terkait dengan

pengelolaan limbah B3. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kesesuaian pengelolaan limbah B3 yang ada di perusahaan dengan SOP dan peraturan yang berlaku. Kemudian, dilakukan identifikasi alur proses produksi untuk mengetahui sumber, jenis, dan karakteristik limbah B3 juga mendapatkan data proses apa saja yang berpotensi menghasilkan limbah B3.

Data sekunder yang digunakan yaitu data komposisi limbah B3 yang didapatkan dengan memberikan kuisisioner kepada pihak terkait. Data komposisi limbah B3 meliputi jenis, sumber, karakteristik dan timbulan limbah B3 yang dihasilkan. Data ini digunakan untuk mengelompokkan limbah B3 berdasarkan jenis dan karakteristik limbah B3 sehingga dapat memudahkan dalam pengemasan dan penyimpanannya. Selain itu juga digunakan untuk menentukan lahan yang dibutuhkan untuk pembangunan fasilitas pengelolaan limbah B3 yang dibutuhkan.

2.2 Tahap Pengolahan Data

Setelah data primer dan sekunder dikumpulkan, tahapan selanjutnya adalah mengolah data dan merencanakan sistem pengelolaan limbah B3 sesuai dengan peraturan yang berlaku dan kapasitas penyimpanan (TPSLB3). Langkah-langkah pengolahan data dan perencanaan yang dilakukan antara lain sebagai berikut:

1. Pengolahan data dilakukan untuk mengevaluasi pengelolaan limbah B3 di PT Pupuk Kalimantan Timur. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil identifikasi yang sebelumnya sudah dilakukan dengan peraturan terkait pengelolaan limbah B3 dan SOP yang berlaku.
2. Saran dan rekomendasi diberikan dengan membandingkan peraturan yang berlaku dan perkembangan yang ada. Hal ini diberikan agar perusahaan dapat meningkatkan kinerja

pengelolaan limbah B3 sehingga dapat lebih baik.

3. Perhitungan neraca massa limbah B3 dapat digunakan untuk menentukan dimensi fasilitas pengelolaan limbah B3 yang diperlukan, sehingga dapat ditentukan luas lahan yang dibutuhkan untuk membuat fasilitas pengelolaan limbah B3 yang diperlukan. Perhitungan ini juga dapat menilai kinerja pengelolaan limbah B3 yang ada di perusahaan.
4. Menghitung estimasi biaya yang diperlukan untuk pembangunan dan/atau renovasi fasilitas pengelolaan limbah B3 dilakukan dengan Menggambar *Detail Engineering Design* (DED) sesuai dengan neraca massa limbah B3. Gambar DED meliputi gambar denah TPS, gambar bangunan, dan gambar komponen pendukung dengan menggunakan *Software* Autocad dan Sketchup. Menghitung *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) berdasarkan HSPK Provinsi Kalimantan Timur Tahun 2021 dengan program Microsoft Excel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun

Identifikasi limbah B3 dilakukan untuk mengetahui karakteristik limbah B3 yang dihasilkan sehingga dapat ditentukan tindakan yang tepat untuk mengelola limbah B3 tersebut. PT Pupuk Kalimantan Timur dalam melakukan pengelolaan limbah B3 telah melakukan identifikasi limbah B3 sesuai dengan karakteristik dari masing-masing limbah. ah yang dihasilkan PT Pupuk Kalimantan Timur dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Limbah B3 yang dihasilkan

No	Nama Limbah B3	Sumber	Kategori	Karakteristik	Kode Limbah	Masa Simpan (hari)	Total Limbah / Bulan (ton)
1	Katalis Bekas	Pabrik	2 Spesifik umum	Beracun	B 301 3	90	23,834
2	Oli Bekas	Pabrik	2 Tidak Spesifik	Beracun,	B 105 d	90	3,765
3	Resin Bekas	Pabrik <i>Utility</i>	2 Tidak Spesifik	mudah menyala	B 106 d	365	1,154
4	Karbon Aktif Bekas	Pabrik <i>Utility</i>	2 Spesifik umum	Beracun	B 301 1	365	0,439

No	Nama Limbah B3	Sumber	Kategori	Karakteristik	Kode Limbah	Masa Simpan (hari)	Total Limbah / Bulan (ton)	
5	Bahan Terkontaminasi B3	Pabrik, Laboratorium	1	Tidak Spesifik	Beracun	A 108 d	180	0,435
6	Majun Bekas	Bengkel	2	Tidak Spesifik	Beracun	B 110 d	365	0,375
7	Kemasan Bekas B3	Pabrik, Laboratorium	2	Tidak Spesifik	Beracun	B 104 d	365	0,272
8	Bahan Kimia Kadaluarsa	Laboratorium, Gudang	1	Tidak Spesifik	Beracun, Korosif	A 106 d	180	0,235
9	Abu Incinerator	Unit Incinerator	1	Spesifik umum	Beracun	A 347 1	180	0,185
10	Lampu TL	Listrik Shop	2	Tidak Spesifik	Beracun	B 107 d	365	0,102
11	Aki Bekas	Bengkel	1	Tidak Spesifik	Beracun	A 102 d	180	0,093
12	Kemasan Bekas Tinta	Perkantoran	2	Tidak Spesifik	Beracun	B 107 d	365	0,015
13	Baterai bekas	Perkantoran	2	Spesifik umum	Beracun	B 326 1	365	0,002
Total								30,906
1	Sisa Proses Blasting	Bengkel	2	Spesifik umum		B 323 1	90	5,856
2	Refraktori Bekas	Pabrik	2	Spesifik Khusus		B 417	365	0,532
3	Pasir Foundry	Jasa Pelayanan Pabrik	2	Spesifik umum	Berbahaya terhadap lingkungan	B 309 3	365	0,289
4	Isolasi Bekas	Pabrik	2	Spesifik umum		B 354 4	365	0,252
5	Filter Bekas	Pabrik	2	Tidak Spesifik		B 109 d	365	0,248
6	Steel Slag	Jasa Pelayanan Pabrik	2	Spesifik Khusus		B 402	365	0,187
Total								7,364

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021 terdapat pengeluaran beberapa limbah yang sebelumnya masuk dalam kategori limbah B3 menjadi bukan B3 diantaranya yang dihasilkan di PT Pupuk Kalimantan Timur adalah *steel slag* dan *fly ash bottom ash*.

3.2 Analisis Kondisi Eksisting Pengelolaan Limbah B3

Pengelolaan limbah B3 yang dilakukan oleh PT Pupuk Kalimantan Timur telah dilakukan sesuai dengan Standar Operasional Prosedur (SOP) yang ada pada perusahaan. Kinerja pengelolaan limbah B3 dapat diukur menggunakan neraca massa dengan rumus sebagai berikut. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan rumus diatas didapat bahwa kinerja pengelolaan limbah B3 di PT Pupuk Kalimantan Timur sebesar 100%.

1. Kegiatan Pengumpulan

Pengumpulan limbah B3 telah diatur didalam Standar Operasional Prosedur (SOP) yang ada di PT Pupuk Kaltim. Limbah diambil dari sumber kemudian diletakkan di tempat penyimpanan

sementara limbah B3 yang ada di lingkungan perusahaan. Berdasarkan PP No. 22 tahun 2021 setiap orang yang melakukan

$$\frac{\text{Total limbah} - (\text{residu} + \text{limbah tidak terkelola})}{\text{Total limbah}} \times 100\%$$

pengumpulan limbah B3 wajib melaksanakan kewajiban sebagaimana tercantum didalam persetujuan teknis, melakukan segregasi limbah B3 dan menyampaikan laporan pengumpulan limbah B3 yang mana dalam hal ini, PT Pupuk Kaltim telah menjalankan kewajiban tersebut.

2. Kegiatan Pewadahan

Pewadahan yang digunakan oleh PT Pupuk Kaltim diantaranya adalah drum besi dengan kapasitas 200 L, *jumbo bag* dengan kapasitas 2 ton dan jerigen plastik dengan kapasitas 30 L. Penentuan penggunaan wadah disesuaikan dengan karakteristik dan jenis limbah B3 yang ditampung. Fungsi setiap wadah dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Pada kegiatan pewadahan yang dilakukan oleh PT Pupuk Kalimantan Timur sudah sesuai dengan PP No 22 tahun 2021 dan Permen LHK No 06 tahun 2021.

Tabel 2. Pewadahan yang Digunakan Untuk Menampung Limbah B3

Wadah	Kapasitas	Nama Limbah B3				
Jumbo Bag	2000 kg	<ul style="list-style-type: none"> ● Katalis Bekas ● Sisa Proses Blasting ● Resin Bekas ● Refraktori Bekas ● Isolasi Bekas ● Filter Bekas ● Karbon Aktif Bekas ● Bahan Terkontaminasi B3 ● Lampu TL ● Aki Bekas 				
		Drum	160 L	<ul style="list-style-type: none"> ● Oli bekas ● Steel Slag ● Majun Bekas ● Pasir Foundry ● Abu Incinerator ● Kemasan Bekas B3 ● Kemasan Bekas Tinta ● Baterai Bekas 		
				Jerigen	24 L	<ul style="list-style-type: none"> ● Bahan Kimia Kadaluarsa ● Limbah Laboratorium

3. Kegiatan Penyimpanan

Fasilitas penyimpanan yang dimiliki oleh PT Pupuk Kalimantan Timur adalah Tempat Penyimpanan Sementara B3. TPSLB3 yang terletak pada koordinat N.00° 10' 40,7" dan E 117° 29' 15,5" telah memiliki izin operasional TPS limbah B3, yaitu berdasarkan Keputusan Kepala Dinas Penanaman Modal, Tenaga Kerja dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Kota Bontang Nomor 503 Tahun 2019 tentang Terpenuhinya Pemenuhan Komitmen PT Pupuk Kalimantan Timur yang berlaku mulai 20 November 2019. TPS ini memiliki ukuran 50 m x 12 m x 5 m yaitu seluas 600 m². Gambar TPS dapat dilihat pada Gambar 1a-1b.



Gambar 1. TPS Limbah B3 (a) Tampak Depan TPS Limbah B3 (b) Simbol Limbah B3 pada TPS; Kendaraan Pengangkut Limbah B3 (c) Tampak Samping (d) Tampak belakang (e) Tampak Depan

Gedung TPS ini berfungsi untuk menampung limbah B3 seperti katalis bekas, resin bekas, majun bekas, oli bekas dan lain-lain. Pada saat dilakukan survei didapat temuan bahwa PT Pupuk Kalimantan Timur tidak menyimpan kemasan atau drum bekas B3 di TPSLB3 melainkan hanya ditempatkan di gudang departemen pergudangan yang ada di sekitar TPSLB3 dikarenakan kapasitas TPSLB3 yang tidak mencukupi. Total drum bekas yang disimpan di gudang departemen adalah sebanyak 300 drum bekas. Seharusnya, penyimpanan kemasan bekas B3 ditempatkan di TPSLB3 sehingga diperlukan pembangunan TPSLB3 baru. gudang TPS limbah B3 tersedia beberapa fasilitas pendukung seperti berikut:

- a) Lantai kedap air
- b) Sistem penerangan dan ventilasi udara yang cukup
- c) Terdapat simbol limbah B3 diluar bangunan
- d) Terdapat simbol dan label limbah B3 pada kemasanBak penampung cairan limbah B3
- e) Penaatan limbah B3 dilengkapi dengan Palet
- f) SOP penyimpanan dan tanggap darurat
- g) APAR dan *Safety Shower*
- h) Sistem penangkal petir
- i) Pencatatan (*Logbook*)
- j) Alarm dan Fasilitas P3K

Berdasarkan observasi yang dilakukan kegiatan penyimpanan yang dilakukan belum sepenuhnya sesuai dengan peraturan yang berlaku yaitu struktur atap yang digunakan pada TPS limbah B3 masih menggunakan struktur kayu yang mana untuk menyimpan limbah B3 dengan karakteristik mudah

menyala, korosif, dan beracun seharusnya menggunakan struktur atap yang tidak mudah menyala, ringan, dan tahan korosif yaitu struktur atap dengan material baja ringan.

4. Kegiatan Pengurangan

Langkah yang dapat dilakukan untuk mengurangi limbah B3 salah satunya adalah dengan melakukan pemanfaatan dan pengurangan. Kegiatan pengurangan oli bekas dilakukan dengan alat purifikasi yang disebut *Transformer Oil Purification Plant*. Alat ini berfungsi untuk mengurangi atau menghilangkan kontaminasi berupa partikel-partikel, kandungan air, kandungan gas dan kontaminasi fisik lainnya sehingga jangka waktu penggunaan oli dapat bertahan lebih lama sampai benar benar tidak bisa dipakai kembali dan dapat mengurangi limbah oli bekas. Kemudian terdapat decoking katalis yaitu regenerasi katalis yang digunakan pada *Primary reformer* sehingga *life time* atau jangka waktu penggunaan katalis menjadi lebih lama dan limbah katalis bekas menjadi berkurang. Dalam pemanfaatan limbah B3, PT Pupuk Kaltim tidak melakukan pemanfaatan limbah B3. Limbah B3 yang dihasilkan setelah dilakukan penyimpanan sementara diserahkan kepada pihak ketiga berizin untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut.

5. Kegiatan Pengangkutan

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 06 Tahun 2021, Pengangkutan limbah wajib dilakukan oleh pengangkut limbah B3 yang memiliki izin. Pengangkutan yang ada di PT Pupuk Kaltim terbagi menjadi 2 yaitu pengangkutan internal dan pengangkutan eksternal. Pengangkutan internal ialah pengangkutan yang dilakukan didalam lingkungan perusahaan. Pengangkutan internal dilakukan oleh unit-unit yang menghasilkan limbah B3 untuk diantarkan ke TPSLB3. Sedangkan, pengangkutan eksternal dilakukan oleh pihak ketiga untuk mengantarkan limbah B3 dari TPSLB3 menuju tempat pengolahan. Dalam hal ini, PT Pupuk Kaltim bekerja sama dengan pihak ketiga yaitu PT Pasadena Metric Indonesia, PT Prasadha Pamunah Limbah Industri dan PT Bion Inovasi Generasi.

Kendaraan yang digunakan pada pengangkutan internal adalah *forklift*, *yapcrane*, *trailer*, *dump truck*, dan *pick up* sedangkan, kendaraan yang digunakan pada pengangkutan eksternal adalah kendaraan *trailer* dengan kontainer yang berasal dari pihak ketiga. Dalam prosesnya, dilakukan komunikasi terlebih dahulu antara PT Pupuk Kaltim dengan pihak ketiga untuk melakukan penjadwalan pengangkutan limbah B3. Sebelum dan sesudah truk memuat limbah dilakukan penimbangan untuk mengetahui berat limbah yang diangkut. Proses pengangkutan yang dilakukan telah dilengkapi dengan *manifes* elektronik (Festronik) yaitu dokumen elektronik yang berisi informasi limbah B3 yang diangkut meliputi penghasil limbah B3, tanggal, tujuan pengangkutan, informasi mengenai perusahaan pengangkut, dan SOP penanganan limbah. Kendaraan pengangkut yang digunakan untuk mengangkut limbah dapat dilihat pada Gambar 1c-1e.

Kegiatan pengangkutan yang dilakukan belum sepenuhnya sesuai dengan peraturan yang berlaku. Pada kendaraan pengangkut tidak dilengkapi dengan simbol karakteristik limbah yang diangkut dan tidak terdapat nama serta nomor telepon perusahaan pada keempat sisi kendaraan yang mana jika mengacu pada peraturan yang berlaku hal tersebut seharusnya ada pada kendaraan pengangkut limbah B3.

3.3 Kecukupan TPS limbah B3 Eksisting

Untuk melihat kecukupan TPS limbah B3 eksisting dapat dilakukan dengan melakukan simulasi peletakkan palet. TPS limbah B3 didesain dapat menampung limbah B3 dengan waktu penyimpanan maksimal adalah 3 bulan dengan pertimbangan penghematan biaya dalam pengangkutan. Untuk menghitung kemasan yang dibutuhkan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut ini.

$$\text{Jumlah kemasan yang dibutuhkan} = \frac{\text{timbunan} \frac{\text{limbah}}{\text{bulan}} \times 3 \text{ bulan}}{\text{kapasitas kemasan}}$$

Contoh perhitungan pada limbah padat katalis bekas dengan timbulan 23,834 ton/bulan dengan menggunakan kemasan *jumbo bag* maka jumlah kemasan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

$$\text{Jumlah kemasan yang dibutuhkan} = \frac{23.834 \text{ Kg} \times 3 \text{ bulan}}{2000 \text{ kg}} = 35,751 \text{ Jumbo Bag}$$

Sehingga didapat jumlah kemasan yang dibutuhkan untuk menyimpan seluruh limbah katalis bekas adalah sebanyak 36 jumbo bag. Jumlah kemasan limbah B3 yang dibutuhkan untuk menyimpan seluruh limbah yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini.

Kemudian dihitung kebutuhan palet yang diperlukan untuk menyimpan limbah B3 di TPSLB3. Perlu diketahui palet yang digunakan memiliki dimensi 120 cm x 120 cm x 15 cm sehingga 1 palet dapat menampung 1 Jumbo Bag atau 4 drum dengan kapasitas 200 L. Untuk menghitung kebutuhan palet dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Jumlah pallet yang dibutuhkan} = \frac{\text{Jumlah kemasan}}{\text{Kapasitas Pallet}}$$

Tabel 3. Kebutuhan Kemasan

Nama Limbah B3	Timbulan / Bulan (ton)	Kemasan dan Kapasitas	Kebutuhan Kemasan
Katalis Bekas	23,834		36
Sisa Proses Blasting	5,856		9
Resin Bekas	1,154		2
Refraktori Bekas	0,532		2
Isolasi Bekas	0,252	Jumbo Bag 2000 kg	
Filter Bekas	0,248		
Karbon Aktif Bekas	0,439		1
Bahan Terkontaminasi B3	0,435		1
Lampu TL	0,102		1
Aki Bekas	0,093		1
Total			52
Oli Bekas	3,765	Drum 160 l	71
Steel Slag	0,187		4
Majun Bekas	0,375		7
Pasir Foundry	0,289	Drum 160 l	6
Abu Incinerator	0,185		4
Kemasan Bekas B3	0,272		6

Nama Limbah B3	Timbulan / Bulan (ton)	Kemasan dan Kapasitas	Kebutuhan Kemasan
Kemasan Bekas Tinta	0,015		
Baterai bekas	0,002		
Total			98
Total + Drum simpanan			398
Bahan Kimia Kadaluarasa	0,235	Jerigen 24 l	29
Limbah laboratorium	0,284		36
Total			65

Sehingga didapat jumlah palet yang dibutuhkan untuk menyimpan limbah B3 yang dihasilkan adalah 152, yang terdiri dari kebutuhan palet untuk kemasan drum sebanyak 100 dan kemasan jumbo bag sebanyak 52. Kemudian jumlah tumpukan untuk drum maksimal adalah 3 tumpuk sedangkan, untuk Jumbo Bag adalah 2 tumpuk. Sedangkan kebutuhan jumlah blok adalah total 16, dengan rincian jumlah blok untuk kemasan drum sebanyak 9 dan kemasan jumbo bag sebanyak 7.

Kemudian dilakukan simulasi peletakan palet sesuai dengan kondisi eksisting peletakan yang dilakukan oleh PT Pupuk Kalimantan Timur. Berdasarkan simulasi yang sudah dilakukan, TPSLB3 mampu menyimpan sebanyak 228 palet yang terdiri dari 12 blok untuk limbah padat dan 11 blok untuk limbah cair dengan 1 blok terdiri atas 4 palet. Setelah dilakukan simulasi peletakan, dilakukan perhitungan untuk melihat apakah TPSLB3 yang ada dapat mencukupi untuk menyimpan limbah B3 yang dihasilkan. Data TPSLB3 eksisting yang ada di PT Pupuk Kalimantan Timur sebagai berikut ini.

Panjang Bangunan (m) :	50
Lebar Bangunan (m) :	12
Tinggi Bangunan (m) :	5
Luas Bangunan (m ²) :	600

Diketahui:

Lebar tembok = 15 cm

Jarak minimal limbah B3 dengan tembok = 1 m

1. Menghitung luas tempat penyimpanan limbah

Panjang = Panjang tembok – jarak minimal dengan tembok – ketebalan tembok

Panjang = 50 m – 2 m – 0,3 m = 47,7 m
 Lebar = 12 m – 2 m – 0,3 m = 9,7 m
 Sehingga luas area penyimpanan limbah = 463 m²

2. Allowance forklift

Untuk memindahkan atau mengangkat Limbah B3 dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan *Forklift*. Oleh karena itu, perlu diperhitungkan besarnya jalur yang akan digunakan untuk *Forklift*. *Forklift* yang digunakan adalah caterpillar *Forklift* DP70N dengan kapasitas angkut 7 ton. Dimensi *Forklift* DP70N adalah panjang 359,2 cm, Lebar 272 cm dan tinggi 261 cm dengan tinggi maksimal 458 cm. Untuk menentukan jalur *Forklift* maka dapat dicari dengan mengetahui diagonalnya dengan rumus berikut ini (Murti dan Ibrahim, 2018).

$$\sqrt{\text{Panjang}^2 + \text{Lebar}^2} = \text{Diagonal}$$

$$\sqrt{359,2^2 + 272^2} = 451 \text{ cm}$$

Jalur *Forklift* = 451 cm

Sehingga berdasarkan perhitungan diatas didapat *allowance forklift* yang dibutuhkan adalah 4,51 meter. Kemudian luas area *forklift* yang dibutuhkan didalam TPS adalah sebesar 215,13 m² angka ini didapat dengan mengkalikan *allowance forklift* dengan panjang area penyimpanan limbah didalam TPS yaitu 47,7 meter.

3. Dimensi Tumpukan

Palet yang digunakan memiliki dimensi 120 cm x 120 cm x 15 cm. Berdasarkan Permen LHK No 6 tahun 2021 jarak antar blok/gang minimal adalah 60 cm sehingga luas satu palet adalah 2,88 m². Total palet dalam 1 blok adalah 4 palet sehingga total jumlah palet adalah sebanyak 60 palet. Luas total area yang dibutuhkan untuk menyimpan seluruh palet adalah 172,8 m².

4. Luas area yang dapat digunakan untuk menampung palet

Pada TPSLB3 eksisting terdapat Safety Shower, bak penampung, dan dinding pembatas yang terletak diantara area limbah cair dan limbah padat dengan luas area sebesar 62 m². Untuk menghitung luas area yang dapat digunakan untuk menampung palet didalam TPS dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut.

$$\text{Luas area} = \text{Luas area limbah} - \text{Allowance Forklift} - \text{area Safety Shower}$$

$$\text{Kapasitas pallet dalam TPS} = 463 \text{ m}^2 - 215,13 \text{ m}^2 - 62 \text{ m}^2$$

$$= 185,87 \text{ m}^2$$

Luas area yang dibutuhkan untuk menampung seluruh tumpukan palet sebesar 172,8 m² maka dapat disimpulkan bahwa TPS limbah B3 yang ada cukup untuk menampung seluruh limbah B3 yang dihasilkan tetapi tidak akan cukup dalam beberapa tahun kedepan Sehingga, diperlukan TPS limbah B3 yang baru dengan mempertimbangkan selisih antara luas area yang dibutuhkan dengan luas area eksisting palet.

3.4 Perencanaan TPSLB3

1. Perhitungan Kapasitas TPS dan Lahan

Dengan asumsi prospek produksi 10 tahun kedepan maka perhitungan kecukupan kapasitas TPSLB3 dapat dilakukan dengan cara berikut ini.

Perkiraan Limbah B3 dihasilkan

$$= \text{Maksimum data } x (100 + \text{Prospek Produksi 10 tahun kedepan})$$

$$\text{Perkiraan Limbah B3 dihasilkan} = 115.662 \text{ Kg} \times 110\%$$

$$\text{Perkiraan Limbah B3 dihasilkan} = 127.228 \text{ kg}$$

$$\text{Kebutuhan Pallet} = \frac{127.228 \text{ kg}}{\text{Kapasitas Drum 1 Pallet}}$$

Peningkatan prospek produksi diasumsikan optimis meningkat sebesar 10% dalam kurun waktu 10 tahun kedepan. Angka ini didapat dengan mempertimbangkan peningkatan produksi selama 10 tahun kebelakang. Kemudian terdapat simpanan drum bekas B3 yang disimpan di dalam gudang sebanyak 300 drum dengan asumsi peningkatan yang sama sebanyak 10% sehingga total drum yang disimpan menjadi 330 dan membutuhkan palet sebanyak 83 palet. Total palet yang diperlukan adalah sebanyak 282 palet Untuk menghitung kapasitas minimal yang diperlukan untuk TPSLB3 yang baru digunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Kapasitas Minimal} = \text{Kebutuhan pallet} - \text{Kapasitas Maksimal TPSB3 lama}$$

$$\text{Kapasitas Minimal} = 282 \text{ pallet} - 228 \text{ Pallet} = 54 \text{ Pallet}$$

Simulasi peletakan dilakukan untuk menghitung lahan yang diperlukan untuk pembangunan TPSLB3 yang baru sehingga dapat menampung palet minimal sebanyak 54 palet. simulasi peletakan dilakukan dengan memperhitungkan jarak limbah dengan tembok, jarak antar blok dan

allowance untuk *forklift*. Berdasarkan simulasi peletakan yang sudah dilakukan TPSLB3 yang baru dapat menampung palet sebanyak 112 palet yang terdiri atas 5 blok limbah padat dan 6 blok limbah cair dengan satu (1) blok diisi lima (4) palet yang disusun tiga (3) tingkat untuk drum dan 2 (dua) tingkat untuk *jumbo bag*. Selain itu, terdapat rak dengan dimensi P x L x T yaitu 4 m x 0,6 m x 1,7 m yang digunakan untuk menampung jerigen dengan dimensi P x L x T yaitu 30 cm x 25 cm x 40 cm sehingga rak tersebut dapat menampung jerigen sebanyak 72 jerigen. Sehingga TPSLB3 yang dibutuhkan memiliki dimensi panjang 26 meter, lebar 12 meter dan tinggi 5 meter.

2. Layout TPS Limbah B3

Pada penelitian ini dirancang layout penyimpanan dengan dimensi bangunan 26 m x 12 m x 5 m. Peletakan limbah B3 dengan penempatan *jumbo bag* dengan alas palet berada disebelah kiri sedangkan untuk kemasan limbah cair dengan menggunakan drum berada disebelah kanan. Untuk lebih jelasnya layout peletakan limbah B3 dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini.

3. Ventilasi

Menurut SNI 03-6572-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara Pada Bangunan Gedung Tempat Penyimpanan Sementara Limbah B3 (TPSLB3) masuk kedalam kategori bangunan kelas 7 yang merupakan bangunan penyimpanan atau gudang sehingga luasan ventilasi yang dibutuhkan minimal 10% dari luas lantai permukaan. Untuk mengetahui dimensi ventilasi yang dibutuhkan digunakan rumus berikut ini. TPSLB3 yang direncanakan memiliki Panjang 26 m dan lebar 12 m sehingga luas permukaannya adalah $26 \text{ m} \times 12 \text{ m} = 312 \text{ m}^2$. Ventilasi minimal yang diperlukan adalah $312 \text{ m}^2 \times 10\% = 31,2 \text{ m}^2$ Rencana ventilasi yang digunakan adalah ventilasi alami berupa lubang di dinding dengan dimensi yang digunakan adalah sebagai berikut:

Dimensi	Jumlah	Volume	
3,80 m x 0,6 m	14	31,92	m ²
3 m x 0,6 m	3	5,4	m ²
Total		37,32	m²

4. Atap

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No 12 tahun 2020 tentang Penyimpanan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, konstruksi atap Untuk karakteristik limbah mudah menyala, korosif dan beracun harus tahan terhadap korosi dan api, tidak mudah menyala dan mudah hancur bila terjadi kebakaran. Sehingga, konstruksi atap yang digunakan adalah atap dengan struktur baja ringan tanpa plafon. Bagian samping atap diberi overstek sepanjang 1 m untuk mencegah air masuk melalui ventilasi yang terbuka.

5. Struktur Pendukung

a. Pondasi

Pondasi yang digunakan pada bangunan ini adalah pondasi footplate atau pondasi telapak. Pondasi ini dipilih karena biaya pembuatannya yang terjangkau, mampu menahan beban yang berat dan daya dukung terhadap kekuatan bangunan yang sangat baik.

b. Kolom dan Balok

Kolom merupakan suatu struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan (Sudarmako, 1996). Sehingga, keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya lantai dan bangunan secara total. Kolom berfungsi sebagai pendukung beban-beban dari balok dan pelat untuk diteruskan ke tanah dasar melalui pondasi (Simanjuntak dan Harefa, 2021). Perhitungan sederhana dimensi balok dan kolom yang dibutuhkan seperti berikut:

Perhitungan Balok

Perhitungan Dimensi Balok Induk / sloof

Jarak Bentang	=	4	m
	=	$1/12 \times \text{jarak bentang}$	
Tinggi (h)	=	0,33	m
	=	33	cm
	=	$1/2 \times h$	
Lebar (b)	=	16,67	m
	=	17	cm

Perhitungan Dimensi Balok Anak

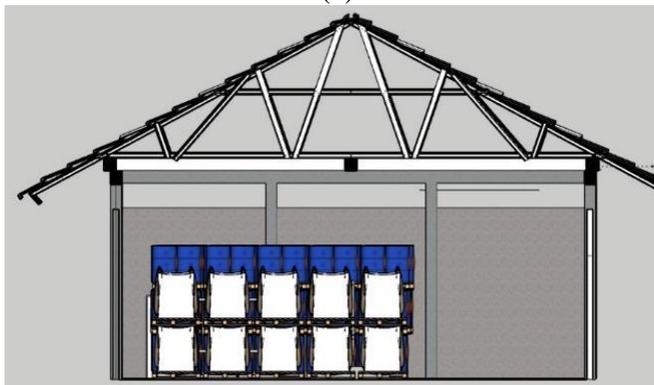
	=	$1/15 \times \text{jarak bentang}$	
tinggi (h)	=	0,27	m
	=	27	Cm
	=	$1/2 \times h$	
Lebar (b)	=	13,33	m
	=	13	cm

Perhitungan Kolom

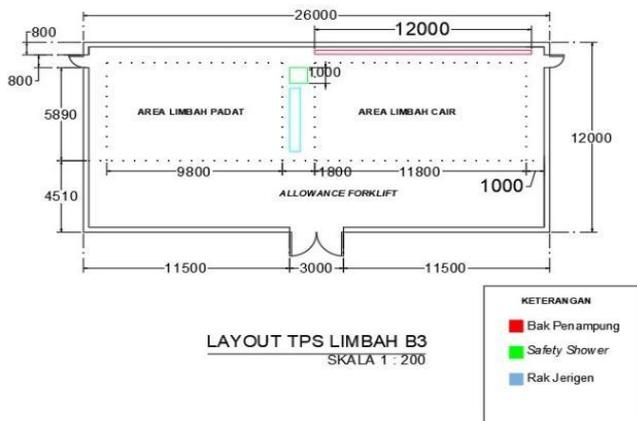
Dimensi Kolom = lebar balok +(2 x 5)
 Dimensi Kolom = 27 cm
 Dimensi Kolom = 27 x 27 cm
 Tinggi Kolom = 5 cm



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. (a) Tampak Depan, (b) Tampak Samping, dan (c) *Layout* TPS Limbah B3

6. Sarana Pendukung

a. Bak Penampung

Volume bak penampung wajib menampung cairan minimal 11% dari total kapasitas tangki dan/atau *container*. Untuk menghitung dimensi bak penampung dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Volume Total} &= (\text{Kapasitas 1 drum} \times n \text{ Drum}) + (\text{Kapasitas 1 Jerigen} \times n \text{ Jerigen}) \\ \text{Volume Total} &= (160 \text{ l} \times 403 \text{ Drum}) + (24 \times 66 \text{ Jerigen}) \\ \text{Volume Total} &= 64.480 \text{ l} + 1.585 \text{ l} = 66.064 \text{ l} = 66,06 \text{ m}^3 \\ \text{Kapasitas bak penampung} &= 66,06 \text{ m}^3 \times 11\% = 7,26 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas volume bak penampung minimal yang diperlukan adalah sebesar 7,26 m³ dapat ditentukan dimensi bak penampung yang direncanakan sebesar 12 m x 0,5 m x 1.3 m dengan volume 7,8 m³.

b. Pencahayaan

Berdasarkan SNI 03-6575-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencayahaan Buatan Pada Bangunan Gedung, sistem penerangan di suatu area atau ruang berfungsi untuk memberikan penerangan pada suatu objek seperti proses pengecekan dan pemindahan limbah B3. Kuat penerangan minimal dalam ruang gudang berdasarkan SNI tersebut adalah 100 lux. Lampu yang digunakan adalah lampu sorot dengan merek Luxmen LUX Flood Light 100 W Untuk menghitung jumlah lampu yang dibutuhkan digunakan rumus sebagai berikut.

$$N = \frac{E \times L \times W}{\phi \times llf \times cu \times n}$$

N = Jumlah Titik Lampu
 E = Kuat Penerangan (Lux) = Gudang 100 Lux
 L = Panjang Ruangan (Meter) = 26 meter
 W = Lebar Ruangan (Meter) = 12 Meter
 ϕ = Nilai Lampu (Lumen) = - 2300 Lumen
 LLF = Light Loss Factor = 70% = 0,7
 Cu = Coefficient Utility = 50% = 0,5
 n = Jumlah Lampu Pada Satu Titik = 1

$$N = \frac{100 \text{ Lux} \times 26 \text{ m} \times 12 \text{ m}}{10.000 \text{ lm} \times 0,7 \times 0,5 \times 1} = 8,91$$

Sehingga jumlah lampu yang dibutuhkan sebanyak 9 lampu.

c. Alat Pemadam Api Ringan (APAR)

Berdasarkan Permen LHK No. 06 tahun 2021 tempat penyimpanan limbah B3 harus dilengkapi dengan peralatan pemadam kebakaran, salah satunya adalah Alat Pemadam Api Ringan (APAR). TPS limbah B3 ini digunakan untuk menyimpan limbah seperti majun bekas, oli bekas, resin dan lain-lain sehingga, berdasarkan tabel kompatibilitas yang ada APAR yang digunakan adalah APAR dengan kandungan isi tepung (*Dry Chemical Powder*). Hal ini dikarenakan melihat potensi kebakaran yang akan ditimbulkan. Untuk menghitung kebutuhan APAR dapat menggunakan rumus berikut ini.

$$\text{Banyaknya APAR} = \frac{\text{keliling ruangan}}{\text{Luas Perlindungan 1 APAR}}$$

$$\text{Banyaknya APAR} = \frac{2 \times (12 \text{ m} + 26 \text{ m})}{15 \text{ m}} = 5,06$$

Sehingga jumlah APAR yang dibutuhkan adalah 5 unit APAR dengan jenis *Dry Chemical Powder*.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari hasil dan pembahasan pada penelitian ini yaitu:

1. Pengelolaan limbah B3 yang dilakukan PT Pupuk Kalimantan Timur sudah berjalan dengan baik dan sesuai dengan peraturan dan SOP yang berlaku. namun, masih terdapat beberapa kekurangan yaitu pada kegiatan penyimpanan dan pengangkutan limbah B3. Pada kegiatan penyimpanan struktur atap yang digunakan pada TPSLB3 eksisting adalah kayu yang mana untuk penyimpanan limbah B3 dengan karakteristik beracun, mudah menyala dan korosif seharusnya menggunakan struktur atap yang ringan, tahan api/ tidak mudah menyala dan tidak mudah korosif sehingga, struktur atap yang seharusnya menggunakan struktur berbahan baja ringan. Sedangkan pada kegiatan pengangkutan, kendaraan yang digunakan untuk mengangkut limbah B3 tidak dilengkapi dengan simbol karakteristik limbah yang diangkut dan tidak dilengkapi dengan nomor telepon perusahaan yang mana seharusnya kendaraan yang digunakan untuk mengangkut limbah B3 harus dilengkapi dengan simbol karakteristik limbah B3 yang diangkut. Kemudian, TPS eksisting perlu diatur peletakkannya sehingga lebih efisien.
2. Beberapa sarana yang perlu diperbaiki agar memenuhi persyaratan yaitu:
 - Pada kegiatan penyimpanan yaitu dengan melakukan penggantian pada struktur atap dengan menggunakan material baja ringan.
 - Kegiatan pengurangan limbah B3 yaitu dengan membuat sistem tracking pada bahan kimia supaya dapat mengurangi potensi adanya bahan kimia yang kadaluarsa.
 - Pada kegiatan pengangkutan yaitu dengan mempertegas atau memberikan teguran kepada pihak ketiga untuk

memberikan simbol karakteristik limbah B3 pada keempat (4) sisi kendaraan dan memberikan nomor telepon perusahaan pada kendaraan.

3. Limbah yang dihasilkan PT Pupuk Kalimantan Timur dalam periode tiga (3) bulan adalah sebesar 115,662 ton atau sekitar 152 palet. Dengan kapasitas TPS yang ada hanya dapat menampung sebanyak 228 palet maka TPS limbah B3 yang ada tidak dapat digunakan untuk menampung limbah untuk beberapa tahun kedepan. Sehingga, agar dapat menampung seluruh limbah B3 yang dihasilkan diperlukan TPS yang baru. Tempat penyimpanan sementara yang baru memiliki dimensi panjang x lebar x tinggi yaitu 26 m x 12 m x 5 m yang dilengkapi dengan fasilitas pendukung seperti safety shower, bak penampung, APAR, ventilasi dan pencahayaan yang disesuaikan dengan peraturan dan standar yang berlaku. Bangunan TPSLB3 yang baru memiliki kapasitas penyimpanan sebanyak 112 palet sehingga, dapat memenuhi kebutuhan kapasitas penyimpanan yang diperlukan yaitu sebanyak 283 palet.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2001). *SNI 03-6572-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan Pada Bangunan Gedung*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2001). *SNI 03-6572-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung*.
- Kementerian Tenaga kerja dan Transmigrasi. (1980). *Peraturan Menteri Nomor 4 Tahun 1980 tentang Syarat-Syarat Pemasangan dan Pemeliharaan Alat Pemadam Api Ringan*.
- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2020). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2020 tentang Penyimpanan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*.
- Kementrian 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.

- Mishra, C., Nayak, S., B.C. Guru, & Rath, M. (2010). Environmental Impact and Management of Wastes from Phosphate Fertilizer Plants. *Journal of Industrial Pollution Control*, 57-60.
- Murti, I. W., & Ibrahim, A. H. (2018). Identifikasi Bahaya dan Perancangan Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) Limbah Proses Sandblasting Di PT Swadaya Graha. *Energy*, 8, 1-7.
- Nursabrina, A., Joko, T., & Septiani, O. (2021). Studi Literatur Kondisi Pengelolaan Limbah B3 Industri di Indonesia dan Potensi Dampaknya. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*.
- Peraturan Pemerintah. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- PT Pupuk Kalimantan Timur. (2020). *Sustainability Report*. Bontang.
- Simanjuntak, J. O., & Harefa, H. P. (2021). Analisis Perbandingan Kolom Persegi Dan Kolom Bulat Dengan Mutu Beton, Luas Penampang Dan Luas Tulangan Yang Sama. *Jurnal Teknik Sipil, Vol. 1*.
- Sudarmako. (1996). *Perencanaan dan Analisis Kolom beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit.