

Perencanaan Tempat Penyimpanan Sementara Limbah B3 Laboratorium Kimia di Fakultas Teknik dan Sains UPN “Veteran” Jawa Timur

Michel Adam Yudistira*, Mohamad Mirwan, Praditya Sigit Ardisty Sitogasa

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

*Koresponden email: 21034010060@student.upnjatim.ac.id

Diterima: 9 Februari 2026

Disetujui: 16 Februari 2026

Abstract

The Faculty of Engineering and Science at UPN “Veteran” Jawa Timur hosts seven study programs with chemical laboratory activities that potentially generate hazardous and toxic waste. Currently, the management of hazardous and toxic waste is conducted independently by each laboratory. This study aims to design a Temporary Storage Facility for Hazardous Waste that complies with the technical specifications of the Minister of Environment and Forestry Regulation No. 6 of 2021. This research employs a descriptive quantitative method, with data collection performed through direct measurement and waste generation estimation based on inventory data and interviews with laboratory technicians. The results indicate that the total daily waste generation consists of laboratory waste containing hazardous substances (3.964 L/day), hazardous-contaminated waste (2,266 kg/day), used packaging (0,107 kg/day), fluorescent lamps (0.043 kg/day), used batteries (0,004 kg/day), and used cartridges (0,007 kg/day). Based on these data, a permanent TPSLB3 building was designed with dimensions of 10,8 m x 5,1 m x 4,2 m and a maximum storage duration of 180 days. The storage facility is equipped with safety systems including explosion-proof lighting, fire extinguishers, spill containment pallets, emergency exits, and nine storage blocks segregated according to flammable, corrosive, and toxic characteristics.

Keywords: *hazardous waste, chemical laboratory, hazardous waste storage.*

Abstrak

Fakultas Teknik dan Sains (FTS) Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur memiliki tujuh program studi dengan aktivitas laboratorium kimia yang berpotensi menghasilkan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (LB3). Saat ini, pengelolaan LB3 masih dilaksanakan secara mandiri oleh tiap laboratorium. Penelitian ini bertujuan untuk merancang Tempat Penyimpanan Sementara LB3 (TPSLB3) yang sesuai dengan spesifikasi teknis Peraturan menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 6 Tahun 2021. Metode penelitian secara deskriptif kuantitatif dengan pengumpulan data dilaksanakan melalui pengukuran langsung dan estimasi timbulan limbah berdasarkan data inventarisasi dan wawancara dengan laboran. Hasil penelitian menunjukkan total timbulan harian terdiri dari limbah dari laboratorium yang mengandung B3 (3,964 L/hari), limbah terkontaminasi B3 (2,266 kg/hari), kemasan bekas (0,107 kg/hari), lampu TL (0,043 kg/hari), baterai bekas (0,004 kg/hari), dan *cartridge* bekas (0,007 kg/hari). Berdasarkan data tersebut, dirancang TPSLB3 berupa bangunan permanen dengan ruangan berdimensi 10,8 m x 5,1 m x 4,2 m dengan masa simpan maksimal 180 hari. Fasilitas penyimpanan dilengkapi dengan sistem keselamatan berupa lampu *explosion proof*, APAR, bak penampung cecean, pintu darurat serta 9 blok penyimpanan tersegregasi berdasarkan karakteristik mudah menyala, korosif, dan beracun.

Kata Kunci: *limbah b3, laboratorium kimia, tps limbah b3*

1. Pendahuluan

Penggunaan bahan kimia dalam proses pembelajaran di laboratorium kampus merupakan hal yang umum dilaksanakan [1]. Hal ini menyebabkan kegiatan praktikum yang menggunakan bahan kimia berkontribusi terhadap peningkatan penghasilan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (LB3) [2]. Limbah yang dapat dihasilkan dari kegiatan ini meliputi limbah cair dan padat, namun limbah cair laboratorium tergolong paling berbahaya karena mengandung senyawa kimia yang sulit terurai dan berpotensi mencemari lingkungan [3]. Timbulan LB3 ini umumnya berasal dari kegiatan penyimpanan bahan kimia, penggunaan bahan kimia dan air pencucian alat atau bahan yang terkontaminasi LB3 [4]. Tingginya potensi LB3 dari kegiatan laboratorium kampus menuntut adanya pengelolaan LB3 yang tepat. Pengelolaan LB3

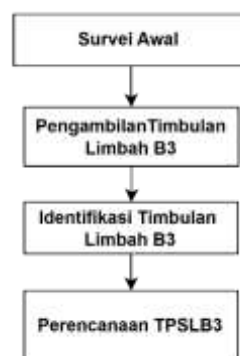
secara tepat dilaksanakan untuk mencegah dampak negatif LB3 terhadap lingkungan maupun kesehatan [5].

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur (UPN “Veteran” Jawa Timur) memiliki laboratorium yang menggunakan bahan kimia di FTS sehingga memiliki potensi menghasilkan LB3. LB3 yang dihasilkan perlu dilaksanakan pengelolaan sebagaimana sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 6 Tahun 2021. Kegiatan mengelola LB3 didefinisikan sebagai upaya sistematis yang dimulai dari tahap pengurangan, berlanjut ke penyimpanan dan pengumpulan, proses pengangkutan, hingga tahap pemanfaatan, pengolahan, atau penimbunan [6]. Pengelolaan yang tidak optimal dapat menimbulkan kerusakan lingkungan dan risiko bagi kesehatan manusia [7]. Maka dari itu, penerapan penyimpanan LB3 menjadi penting untuk mencegah dampak tersebut terjadi.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang fasilitas penyimpanan LB3 dari laboratorium kimia di FTS UPN “Veteran” Jawa Timur berbasis Tempat Penyimpanan Sementara LB3 (TPSLB3). Langkah awal dalam penelitian ini adalah mengidentifikasi timbulan dari kegiatan laboratorium kimia FTS UPN “Veteran” Jawa Timur untuk mengetahui LB3 yang akan disimpan. Kemudian mengukur besar timbulan LB3 yang dihasilkan dari kegiatan laboratorium. Selanjutnya, dilaksanakan proyeksi timbulan sesuai masa simpan yang direncanakan untuk menentukan luasan bangunan yang diperlukan untuk menyimpan limbah. Penelitian ini melingkupi perancangan sistem penyimpanan mulai dari identifikasi, pengemasan di TPSLB3 dan desain TPSLB3. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan usulan untuk menerapkan kegiatan penyimpanan LB3 berbasis TPSLB3 untuk menangani fenomena laboratorium kimia FTS UPN “Veteran” Jawa Timur yang mengelola LB3 nya secara mandiri.

2. Metode Penelitian

Alur penelitian dilaksanakan seperti pada **Gambar 1** dengan kegiatan pendahuluan berupa survei awal untuk memetakan laboratorium kimia di FTS UPN “Veteran” Jawa Timur. Laboratorium kimia yang dimaksud adalah laboratorium untuk kegiatan pengajaran, penelitian, dan/atau pengujian yang termasuk didalamnya menggunakan dan menyimpan bahan kimia [8].



Gambar 1. Alur Penelitian
 Sumber : Peneliti (2026)

Setelah itu, metode penelitian dilaksanakan secara deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Untuk mendapatkan data kuantitatif dilaksanakan dengan pengukuran langsung dan estimasi timbulan berdasarkan data inventarisasi. Estimasi limbah dilaksanakan dengan wawancara kepada laboran untuk mendapatkan data inventarisasi printer (*cartridge* bekas), titik lampu TL (lampu TL), alat elektronik (baterai bekas) dan bahan kimia (kemasan bekas B3). Pengukuran langsung dilaksanakan dengan meletakkan kemasan berupa jeriken selama 10 hari di laboratorium kimia untuk mendapatkan rata-rata timbulan limbah dari laboratorium yang mengandung B3. Sedangkan limbah terkontaminasi B3, diukur dengan cara sesuai SNI 3964:2025 tentang Metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga, dilaksanakan pengukuran timbulan selama 8 hari berturut turut di laboratorium kimia. Proses pengambilan data dilaksanakan selama bulan September 2025 hingga Oktober 2025.

Langkah ketiga dilaksanakan dengan identifikasi timbulan LB3. Identifikasi dilaksanakan untuk mengetahui kategori, sumber, karakteristik dan masa simpan LB3. Acuan identifikasi limbah tersebut berdasarkan lampiran IX Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021. Kemudian masa simpan digunakan untuk melakukan proyeksi timbulan selama masa simpan yang direncanakan. Setelah data timbulan LB3 didapatkan kemudian direncanakan TPSLB3.

Langkah Ke empat dilaksanakan dengan merencanakan TPSLB3 berdasarkan syarat teknis pada Permen LHK No. 6 Tahun 2021. Komponen utama terdiri dari posisi bangunan, luas area simpan, dan jenis material. Bangunan harus didesain tertutup guna mencegah tempas hujan, dilengkapi ventilasi dan pencahayaan memadai, serta memiliki bak penampung tumpahan dan penandaan simbol sesuai regulasi. Secara lengkap, Persyaratan teknik TPSLB3 yang direncanakan disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Persyaratan Teknis TPSLB3

Pasal Pada Permen LHK No. 6 Tahun 2021	Persyaratan Teknis
Pasal 57	Posisi TPSLB3 yang tidak rawan banjir dan longsor.
Pasal 60	<p>Struktur bangunan dirancang dengan mempertimbangkan aspek jenis, karakteristik, dan kapasitas penyimpanan LB3.</p> <p>Kapasitas ruang simpan ditentukan berdasarkan total LB3 yang akan diletakkan di dalamnya.</p> <p>Rancang bangun fasilitas harus bersifat tertutup dan strukturnya efektif mencegah paparan air hujan terhadap LB3.</p> <p>Material penutup atap wajib menggunakan bahan yang memiliki sifat tahan api.</p> <p>Bangunan dilengkapi dengan bukaan atau ventilasi yang memadai untuk menjamin kelancaran pertukaran udara.</p> <p>Instalasi penerangan harus didesain selaras dengan karakteristik ruang penyimpanan limbah agar mendukung operasional.</p> <p>Permukaan lantai harus rata (tanpa gelombang) dan memiliki spesifikasi kedap air untuk mencegah perembesan.</p> <p>Lantai interior didesain dengan kemiringan maksimal 1% mengarah ke bak kendali untuk mengalirkan tumpahan secara gravitasi.</p> <p>Elevasi lantai eksterior dirancang sedemikian rupa untuk menghalau aliran air hujan masuk ke dalam area penyimpanan.</p> <p>Tersedia drainase khusus yang berfungsi mengalirkan cecceran limbah maupun air bekas pencucian area tumpahan.</p> <p>Dilengkapi bak penampung utama yang mampu mewardahi volume tumpahan limbah serta air sisa pembersihan lantai.</p> <p>Pemasangan simbol dan label LB3 pada bangunan wajib dilaksanakan merujuk pada regulasi yang berlaku.</p>
Pasal 67	Tersedia sistem proteksi aktif seperti detektor api, APAR, serta perlengkapan tanggap darurat lainnya yang relevan dengan potensi bahaya.

Sumber : Regulasi Indonesia 2026

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Survei Laboratorium Kimia dan Hasil Pengukuran Timbulan

Berdasarkan hasil survei yang dilaksanakan terhadap total 25 laboratorium di FTS, terdapat 7 laboratorium terklasifikasi sebagai laboratorium kimia. Ketujuh laboratorium tersebut yaitu laboratorium Pengantar Teknik Kimia I (Teknik Kimia), Laboratorium Pengantar Teknik Kimia II (Teknik Kimia), Laboratorium Mineral & Material Maju (Teknik Kimia), Laboratorium Operasi Teknik Kimia (Teknik Kimia), Laboratorium Air (Teknik Lingkungan), Laboratorium Riset (Teknik Lingkungan), dan Laboratorium Analisa Pangan (Teknologi Pangan). Laboratorium terklasifikasi tersebut tersebar dalam program studi Teknik Kimia, Teknologi Pangan dan Teknik Lingkungan. Laboratorium terklasifikasi kemudian dilaksanakan pengukuran timbulan B3.

Pendekatan karakteristik limbah cair pada penelitian ini diketahui melalui konstituen dominannya. Informasi mengenai karakteristik dan konstituen limbah dapat ditelusuri melalui prosedur eksperimen yang dilakukan oleh personel laboratorium [9]. Timbulan LB3 bersatuan liter (L) dikonversi ke dalam kilogram (Kg). Konversi satuan dari liter (L) ke kilogram (kg) dilaksanakan dengan pendekatan asumsi bahwa 1 L setara dengan 1 kg [10]. Hasil pengukuran timbulan LB3 disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil pengukuran Timbulan LB3 Laboratorium Kimia FTS

LB3	Jumlah Timbulan (Kg/Hari)							Total (kg/ hari)
	Lab. PTK1	Lab. PTK2	Lab. Mineral & Material Maju	Lab. OTK	Lab. Air	Lab Riset (Teknik Lingkungan)	Lab. Analisa Pangan	
Cair								
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3 (Cairan mudah menyala)	0,426	*	*	*	0,052	*	0,299	0,777
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3 (Korosif (asam))	*	*	*	*	1,219	*	0,104	1,323
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3 (Korosif (basa))	0,052	*	*	*	1,196	*	0,357	1,605
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3 (beracun)	0,144	*	*	*	*	*	0,115	0,259
Total (kg/ hari)								3,964
Padat								
Kemasan Bekas B3 (Cairan mudah menyala)	0,03	*	*	*	0,006	*	0,014	0,050
Kemasan Bekas B3 (korosif)	0,003	*	*	*	0,030	*	0,012	0,045
Kemasan Bekas B3 (beracun)	0,004	*	*	*	0,005	*	0,003	0,012
Limbah Terkontaminasi B3	1,042	*	0,126	0,282	0,314	*	0,502	2,266
Cartridge bekas	0,001	0	0,001	0,001	0,001	*	0,001	0,007
Lampu TL	0,011	0,008	0,003	0,004	0,006	0,004	0,007	0,043
Baterai bekas	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0012	0,0017	0,0002	0,004
Total (kg/ hari)								2,427

* = Limbah Tidak Dihasilkan

Sumber : Pengambilan Data (2026)

Merujuk pada **Tabel 2**, timbulan limbah B3 cair dari laboratorium tercatat sebesar 3,964 L/hari. Timbulan tersebut berasal dari limbah berkarakteristik mudah menyala sebesar 0,777 L/hari, limbah korosif bersifat asam sebesar 1,323 L/hari, limbah korosif bersifat basa sebesar 1,604 L/hari, serta limbah berkarakteristik beracun sebesar 0,259 L/hari.

Sementara itu, total timbulan limbah B3 padat mencapai 2,427 kg/hari, yang didominasi oleh limbah terkontaminasi B3 sebesar 2,266 kg/hari. Kontribusi lainnya berasal dari kemasan bekas B3 sebesar 0,107 kg/hari, yang terdiri atas kemasan bekas limbah cair mudah menyala (0,050 kg/hari), kemasan bekas limbah korosif (0,045 kg/hari), dan kemasan bekas limbah beracun (0,012 kg/hari). Selain itu, timbulan limbah padat juga berasal dari cartridge bekas sebesar 0,007 kg/hari, lampu TL sebesar 0,043 kg/hari, dan baterai bekas sebesar 0,004 kg/hari.

Limbah dari laboratorium yang mengandung B3 serta limbah terkontaminasi B3 merupakan jenis limbah dengan timbulan terbesar dalam penelitian ini. Kondisi tersebut disebabkan oleh aktivitas laboratorium yang berlangsung secara rutin, sehingga limbah dihasilkan setiap hari selama kegiatan praktikum. Sebaliknya, jenis LB3 lainnya, seperti kemasan bekas B3, cartridge, lampu TL, dan baterai bekas, dihasilkan secara periodik. Oleh karena itu, sebagai pihak penghasil limbah B3, institusi wajib melakukan pengelolaan limbah B3 sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

3.2 Identifikasi Timbulan LB3

Menentukan kode LB3 perlu dilaksanakan oleh pihak yang memproduksi LB3 untuk mengenal LB3 yang dihasilkan. Berdasarkan data timbulan yang didapatkan pada **Tabel 2**, menentukan kode LB3 untuk mengetahui sumber, kategori dan masa simpan dari limbah yang dihasilkan. Timbulan LB3 satuan liter (L) dikonversi ke dalam kilogram (Kg) untuk mengetahui klasifikasi masa simpan yang terdapat pada regulasi.

Kemudian menentukan kode LB3 dilaksanakan berdasarkan PP No.22 Tahun 2021. Hasil Menentukan kode LB3 disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Menentukan kode LB3

LB3	Timbulan (kg/hari)	Kode	Karakteristik	Sumber	Kategori	Masa Simpan (Hari)
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3	0,777	A106d	Cairan mudah menyala	Tidak Spesifik	1	180
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3	1,323	A106d	Korosif (asam)	Tidak Spesifik	1	180
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3	1,605	A106d	Korosif (basa)	Tidak Spesifik	1	180
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3	0,259	A106d	Beracun	Tidak Spesifik	1	180
Kemasan Bekas B3	0,05	B104d	Cairan mudah menyala	Tidak Spesifik	2	365
Kemasan Bekas B3	0,045	B104d	Korosif	Tidak Spesifik	2	365
Kemasan Bekas B3	0,012	B104d	Beracun	Tidak Spesifik	2	365
Limbah Terkontaminasi B3	2,266	A108d	Beracun	Tidak Spesifik	1	180
Cartridge bekas	0,007	B107d	Beracun	Spesifik umum	2	365
Lampu TL	0,043	B107d	Beracun	Tidak Spesifik	2	365
Baterai bekas	0,004	A102d	Beracun	Tidak Spesifik	1	180

Sumber : Analisis 2026

Berdasarkan **Tabel 3**, LB3 yang dihasilkan terdiri atas kategori 1 dan 2 dengan laju timbulan tiap LB3 kurang dari 50 kg/hari. Meskipun regulasi memungkinkan masa simpan maksimal beberapa LB3 yang dihasilkan hingga 365 hari, pada penelitian ini menetapkan batas waktu penyimpanan di TPSLB3 selama 180 hari. Penetapan waktu penyimpanan 180 hari mempertimbangkan siklus satu semester kegiatan perkuliahan yang berlangsung sekitar enam bulan. Dengan demikian, penyerahan LB3 kepada pihak ketiga direncanakan dilakukan setiap satu semester sekali.

3.3 Perencanaan TPSLB3

Perencanaan TPSLB3 memperhatikan beberapa aspek teknis sesuai regulasi seperti pada **Tabel 1**. Dengan memperhatikan hasil identifikasi LB3 yang dihasilkan. Di bawah ini perencanaan bangunan TPSLB3 untuk menangani LB3 tersebut.

3.3.1. Lokasi TPSLB3

Berdasarkan regulasi pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), Tempat Penyimpanan Sementara Limbah B3 (TPSLB3) wajib dibangun dalam wilayah administratif penghasil limbah. UPN "Veteran" Jawa Timur, sebagai institusi penghasil limbah B3, telah mengidentifikasi lahan berukuran 20 m × 8,7 m (luas 174 m²) dalam masterplan pengembangannya. Lahan tersebut direncanakan sebagai zona terpadu pengelolaan limbah cair dan padat. Berdasarkan pertimbangan teknis dan kesesuaian tata ruang, lokasi tersebut diajukan sebagai kandidat tapak pembangunan TPSLB3.

UPN "Veteran" Jawa Timur berlokasi di Kecamatan Gunung Anyar yang berbatasan langsung dengan Kecamatan Rungkut. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), dalam tiga tahun terakhir pada tahun 2022, 2023 dan 2024 kedua wilayah tersebut tidak memiliki riwayat banjir maupun kondisi darurat yang dipicu oleh aktivitas alam. Data ini membuktikan bahwa lokasi rencana TPSLB3 telah memenuhi persyaratan regulasi, yang mengharuskan lokasi berada di area bebas banjir dan aman dari kondisi darurat yang dipicu aktivitas alam. Dengan status lahan yang dikuasai sepenuhnya oleh pihak penghasil limbah, lokasi ini dinyatakan memenuhi seluruh parameter teknis dan legalitas sesuai ketentuan yang berlaku [11].

Meskipun wilayah lokasi TPSLB3 berdasarkan data BPS tidak terdapat riwayat banjir, namun tetap direncanakan penyesuaian desain untuk lantai di sekeliling bangunan untuk mampu menahan air hujan agar

tidak menggenangi bagian dalam ruangan. Desain yang disesuaikan adalah tinggi lantai bangunan yang ditinggikan 20 cm di atas permukaan tanah. Untuk mengakomodasi perbedaan elevasi antara permukaan tanah dan lantai pada TPSLB3, direncanakan *loading ramp* untuk memudahkan proses mobilisasi limbah. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2017 tentang Persyaratan Kemudahan Bangunan Gedung, setiap bangunan harus memenuhi persyaratan hubungan vertikal untuk mengakomodasi perbedaan elevasi lantai. Salah satu sarana yang digunakan adalah ram (*ramp*). Ram yang digunakan bertipe *loading ramp*. *Loading ramp* dapat digunakan untuk memudahkan proses pemuatan dan pembongkaran, meningkatkan aliran kerja, serta mengurangi risiko kecelakaan sehingga material ditangani secara aman dan efisien [12].

Loading ramp direncanakan dengan panjang bidang miring sebesar 1,6 m dengan tinggi 0,2 m yang dan terletak di pintu masuk dan pintu darurat. Rasio kemiringan yang didapatkan adalah 1:8. Pada ujung ram disediakan *landing area* dengan dimensi panjang 1,2 m dan lebar 4 m pada pintu masuk serta panjang 1,2 m x 2 m pada pintu darurat. *Landing area* yang direncanakan berfungsi sebagai ruang manuver bagi petugas dan alat angkut untuk berhenti atau berputar dengan aman sebelum memasuki bidang miring.

3.3.2 Rencana Pengemasan, blok penyimpanan dan Palet

Proyeksi total LB3 dihitung berdasarkan rencana durasi penyimpanan selama 180 hari, yang digunakan sebagai dasar dalam penentuan jenis dan jumlah kemasan yang dibutuhkan. Kemudian dipilih kemasan yang sesuai dengan karakteristik, jumlah dan jenis limbah. LB3 harus diatur, disimpan, dan dibuang dengan cara yang aman dan efisien [13]. Timbulan LB3 selama masa simpan ditentukan dengan mengalikan timbulan limbah harian dengan durasi penyimpanan yang direncanakan, yaitu 180 hari.

Namun demikian, pola penghasilan limbah dari laboratorium yang mengandung B3 dan limbah terkontaminasi B3 menunjukkan perbedaan dibandingkan dengan jenis LB3 lainnya, karena kedua jenis limbah tersebut hanya dihasilkan pada saat laboratorium beroperasi. Oleh karena itu, proyeksi timbulan LB3 selama durasi penyimpanan 180 hari dilakukan menggunakan dua pendekatan perhitungan yang berbeda.

Pendekatan pertama diterapkan pada limbah operasional harian, yaitu limbah cair dan limbah terkontaminasi B3, dengan menggunakan asumsi hari kerja efektif. Jumlah hari kerja efektif ditetapkan sebesar 130 hari untuk laboratorium penelitian (26 minggu) dan 80 hari untuk laboratorium praktikum (16 minggu). Laboratorium dengan aktivitas gabungan penelitian dan praktikum diasumsikan mengikuti skenario maksimal, yaitu 130 hari. Pendekatan kedua diterapkan pada limbah periodik, meliputi kemasan bekas B3, cartridge bekas, lampu TL, dan baterai bekas, di mana proyeksi timbulan dihitung berdasarkan 180 hari kalender tanpa pengurangan hari libur. Proyeksi timbulan LB3 rinci disajikan pada **Tabel 4**.

Berdasarkan hasil proyeksi timbulan limbah, dilakukan akumulasi limbah sejenis dan berkarakteristik sama sebagai dasar perencanaan teknis penyimpanan LB3. Perencanaan tersebut meliputi penentuan jenis dan kapasitas kemasan, kebutuhan palet, serta pengaturan tata letak area dan blok penyimpanan LB3. Kapasitas dan jumlah kemasan ditentukan berdasarkan volume timbulan limbah yang diproyeksikan, dengan penambahan *safety factor* sebesar 10% untuk mengantisipasi fluktuasi maupun potensi peningkatan volume limbah selama masa penyimpanan.

Selanjutnya, kebutuhan palet direncanakan dengan menyesuaikan dimensi dan jumlah kemasan yang akan ditopang. Mengacu pada standar teknis penyimpanan, konfigurasi penyusunan dibatasi maksimal 4 drum (kapasitas 200 L) per palet. Untuk tata letak, area penyimpanan disegregasikan berdasarkan karakteristik limbah yaitu mudah menyala, korosif, dan beracun yang kemudian didetailkan ke dalam blok-blok penyimpanan spesifik. Rincian penentuan kemasan, pembagian area, blok penyimpanan, dan jumlah palet disajikan secara lengkap pada **Tabel 5**.

Tabel 4. Proyeksi Timbulan LB3 Selama Periode Masa Simpan LB3 180

LB3	Kode	Timbulan (Kg/ hari)	Karakteristik	Masa Simpan Ditentukan (Hari)	Hari Efektif	Timbulan Selama Masa Simpan
Timbulan LB3 yang Dihasilkan Selama Laboratorium Beroperasi						
Laboratorium PTK I (Praktikum)						
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3	A106d	0,426	Cairan Mudah menyala	180	80	34,08
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3	A106d	0	Korosif (asam)	180	80	*
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3	A106d	0,052	Korosif (basa)	180	80	4,16

LB3	Kode	Timbulan (Kg/hari)	Karakteristik	Masa Simpan Ditetapkan (Hari)	Hari Efektif	Timbulan Selama Masa Simpan
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3	A106d	0,144	Beracun	180	80	11,52
Limbah terkontaminasi B3	A108d	1,042	Beracun	180	80	83,360
Laboratorium OTK (Praktikum)						
Limbah terkontaminasi B3	A108d	0,282	Beracun	80	80	22,56
Laboratorium Mineral dan Material Maju (Penelitian)						
Limbah terkontaminasi B3	A108d	0,126	Beracun	180	130	16,38
Laboratorium Analisa Pangan (Praktikum dan Penelitian)						
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3	A106d	0,299	Cairan Mudah menyala	180	130	38,87
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3	A106d	0,104	Korosif (asam)	180	130	13,52
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3	A106d	0,357	Korosif (basa)	180	130	46,41
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3	A106d	0,115	Beracun	180	130	14,95
Limbah terkontaminasi B3	A108d	0,502	Beracun	180	130	65,26
Laboratorium Air (Praktikum dan Penelitian)						
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3	A106d	0,052	Cairan Mudah menyala	180	130	6,76
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3	A106d	1,219	Korosif (asam)	180	130	158,47
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3	A106d	1,196	Korosif (basa)	180	130	155,48
Limbah dari laboratorium yang mengandung B3	A106d	0	Beracun	180	130	*
Limbah terkontaminasi B3	A108d	0,314	Beracun	180	130	40,820
Timbulan LB3 Berdasarkan Pendekatan Inventarisasi						
Seluruh Laboratorium						
Kemasan Bekas B3	B104d	0,050	Cairan mudah menyala	180	180	9,0
Kemasan Bekas B3	B104d	0,045	Korosif	180	180	8,10
Kemasan Bekas B3	B104d	0,011	Beracun	180	180	2,160
Cartridge bekas	B107d	0,007	Beracun	180	180	1,260
Lampu TL	B107d	0,043	Beracun	180	180	7,740
Baterai bekas	A102d	0,004	Beracun	180	180	0,720

* = Limbah Tidak Dihasilkan

Sumber : Hasil Analisis (2026)

Tabel 5. Penentuan Ruang, Kemasan, Blok Penyimpanan dan Palet

Area Penyimpanan	LB3	Timbulan Selama Hari Efektif (Kg)	Kemasan	Blok	Jumlah Palet	Dimensi Palet (P anjang x Lebar x Tinggi)
Cairan mudah menyala	Limbah dari laboratorium yang mengandung B3 (Cairan mudah menyala)	79,71	4 unit jeriken HDPE 30L dan 1 unit jeriken HDPE 10L	1	1	72 cm x 72 cm x 16 cm
	Kemasan Bekas B3 (Cairan mudah menyala)	9	1 unit drum HDPE 200L	5	1	72 cm x 72 cm x 16 cm
Korosif	Limbah dari laboratorium yang mengandung B3 (Korosif (asam))	171,990	6 unit jeriken HDPE 30L, 1 unit jeriken HDPE 20L, dan 1 unit jeriken HDPE 10L	2	1	130 cm x 72 cm x 16 cm

Area Penyimpanan	LB3	Timbulan Selama Hari Efektif (Kg)	Kemasan	Blok	Jumlah Palet	Dimensi Palet (P anjang x Lebar x Tinggi)
Beracun	Limbah dari laboratorium yang mengandung B3 (Korosif (basa))	206,05	8 unit jeriken HDPE 30L, dan 1 unit jeriken HDPE 10L	3	1	130 cm x 72 cm x 16 cm
	Kemasan Bekas B3 (korosif)	8,1	1 unit drum HDPE 200L	6	1	72 cm x 72 cm x 16 cm
	Limbah dari laboratorium yang mengandung B3 (Beracun)	26,470	2 unit jeriken HDPE 20L dan 1 unit jeriken HDPE 10L	4	1	72 cm x 72 cm x 16 cm
	Kemasan Bekas B3 (Beracun)	2,16	1 unit drum HDPE 200L	7	1	72 cm x 72 cm x 16 cm
	Limbah terkontaminasi B3	228,380	3 unit <i>dust bin</i> 1100L	8		Tidak menggunakan palet
	<i>Cartridge</i> bekas	1,26	1 unit drum HDPE 80 L			
	Lampu TL	7,74	1 unit drum HDPE 200L	9	1	130 cm x 72 cm x 16 cm
	Baterai bekas	0,72	1 unit drum HDPE 20 L			
	Total	741,58	*	9	11	-

Sumber : Analisis 2026

Merujuk pada **Tabel 5**, TPS LB3 dirancang memiliki 9 blok penyimpanan dengan kapasitas total 741,58 kg untuk periode simpan maksimal 180 hari. Fasilitas ini dibagi menjadi tiga zona utama berdasarkan karakteristik limbah mudah menyala, korosif, dan beracun.

Desain teknis setiap zona disesuaikan dengan karakteristik LB3. Area limbah korosif dilengkapi sekat pemisah ringan guna mencegah reaksi silang antara asam, basa, dan cairan dengan pH yang belum diketahui. Area limbah cairan mudah menyala dibatasi oleh dinding pemisah untuk mengisolasi potensi bahaya api. Sementara itu, area limbah beracun dirancang dengan jarak antar-blok selebar 60 cm untuk memfasilitasi mobilisasi yang aman. Sebagai sistem tanggap darurat tumpahan, seluruh lantai didesain dengan kemiringan 1% yang mengarah ke saluran drainase (lebar 15 cm, kedalaman 8 cm) menuju bak penampung utama.

Penunjang penyimpanan berupa palet disediakan sebanyak 11 unit dengan dua variasi dimensi yang disesuaikan dengan ukuran kemasan. Palet berdimensi 130 cm x 72 cm x 16 cm dialokasikan untuk Blok 2, 3, dan 9. Palet berdimensi 72 cm x 72 cm x 16 cm digunakan untuk blok lainnya. Pengecualian diterapkan pada Blok 8 yang menggunakan *dust bin* berkapasitas 1100 L, yang diletakkan langsung tanpa palet karena memiliki stabilitas struktur yang memadai.

3.3.3. Material Dinding, Lantai dan Atap

Material dinding, lantai dan atap disesuaikan dengan karakteristik limbah B3 yang akan disimpan, yaitu cairan mudah menyala, korosif dan beracun. Konstruksi dinding yang dipilih terbuat dari dinding satu bata dengan tebal 30 cm. Atap direncanakan menggunakan rangka galvalum spandek dengan plafon PVC. Penggunaan baja galvalum pada atap bertujuan untuk memastikan ketahanan bangunan terhadap korosi dan risiko api. Hal ini didukung oleh sifat material galvalum yang terbukti memiliki resistensi tinggi terhadap perubahan cuaca dan suhu [14]. Sifat ini sesuai untuk lingkungan penyimpanan LB3 yang berpotensi menghasilkan uap atau percikan bahan kimia korosif. Penutup atap spandek bersifat ringan dan termasuk material yang tidak mudah terbakar. Lantai direncanakan menggunakan material beton. Pemilihan beton didasarkan karena material ini tidak mudah terbakar dan memiliki ketahanan terhadap suhu. Struktur beton bersifat kedap, khususnya dan mampu mencegah peresapan limbah berbahaya ke tanah dan lingkungan sekitar.

3.3.4. Fasilitas Pertolongan Pertama

Alat Pemadam Api Ringan (APAR) disediakan sebagai upaya penanganan awal jika terjadi kebakaran di area TPSLB3. Berdasarkan Permenaker No. 4 Tahun 1980, jarak antar-APAR ditentukan dengan radius perlindungan maksimal 15 m. Bangunan TPS direncanakan memiliki dimensi ruang (tanpa tembok) 10,2 m x 4,5 m memiliki keliling ruang 29,4 m.

$$\text{Jumlah APAR} = \frac{\text{Keliling Ruang}}{\text{Radius Perlindungan APAR}}$$

$$\text{Jumlah APAR} = \frac{29,4 \text{ m}}{15 \text{ m}} = 1,96 \text{ unit} \rightarrow 2 \text{ Unit}$$

Untuk menunjang keselamatan operasional, TPS LB3 dilengkapi dengan sistem proteksi kebakaran dan fasilitas tanggap darurat. Berdasarkan perhitungan beban api, dibutuhkan 2 unit Alat Pemadam Api Ringan (APAR) jenis *Dry Chemical Powder*. Jenis ini dipilih karena efektivitasnya yang luas (multiguna) dalam memadamkan kebakaran akibat reaksi bahan kimia maupun hubungan pendek arus listrik (*korsleting*).

Mengacu pada Peraturan Menteri PUPR Nomor 14 Tahun 2017 tentang persyaratan kemudahan bangunan gedung, akses evakuasi dirancang berupa satu unit pintu darurat dengan lebar bukaan 1,2 meter. Pintu ini dipastikan bebas dari halangan blok penyimpanan dan membuka langsung ke arah ruang terbuka (area titik kumpul).

Selain itu, fasilitas dekontaminasi darurat berupa *Safety Shower* dan *Eyewash* disediakan untuk penanganan pertama jika petugas terpapar limbah pada area kulit atau mata. Sebagai pengendalian risiko lingkungan, TPS juga dilengkapi dengan *Spill Kit* untuk menangani tumpahan limbah secara cepat dan aman.

3.3.5 Penanganan Tumpahan

Sistem penyimpanan wajib terintegrasi dengan fasilitas penampungan tumpahan yang efektif menangkap ceceran LB3 beserta air limbah hasil pembersihannya. Disediakan lima unit bak penampung ceceran yang dirancang untuk karakteristik limbah disimpan, yaitu mudah menyala, reaktif, beracun, serta korosif. Setiap bak direncanakan memiliki kapasitas minimal sebesar 110% dari volume kemasan limbah cair terbesar pada masing-masing blok pada area penyimpanan. Penampung ceceran didesain dengan slope lantai 1% yang mengarah ke parit penyalur menuju unit penampungan tumpahan yang berbentuk persegi panjang.

Terdapat 3 desain bak penampung yang direncanakan dengan volume yang berbeda. Bak 1 dengan volume bak penampung $0,128 \text{ m}^3$ dengan dimensi $0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$. Bak 2 dengan volume bak penampung $0,224 \text{ m}^3$ dengan dimensi $0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 1,4 \text{ m}$. Bak 3 dengan volume bak penampung $0,064 \text{ m}^3$ dengan dimensi $0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$.

Pada area penyimpanan LB3 karakteristik cairan mudah menyala terdapat bak penampung tumpahan dengan dimensi $0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$. Pada area penyimpanan korosif terdapat tiga bak penampung tumpahan yang dipisahkan berdasarkan korosif dengan pH asam, basa dan pH belum diketahui. Bak penampung tumpahan karakteristik korosif asam dengan dimensi $0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 1,4 \text{ m}$. Bak penampung tumpahan karakteristik korosif basa dengan dimensi $0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 1,4 \text{ m}$. Bak penampung tumpahan karakteristik korosif pada pH yang belum diketahui dengan dimensi bak $0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$. Bak penampung tumpahan karakteristik cairan mudah menyala dengan dimensi bak $0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$. Pada area penyimpanan LB3 karakteristik beracun terdapat bak penampung tumpahan dengan dimensi $0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$. Bak penampung dibuat dengan dinding beton setebal 10 cm sehingga seluruh bak memiliki panjang dan lebar $0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$.

3.3.6 Ventilasi

TPSLB3 memerlukan sistem ventilasi untuk menjaga sirkulasi udara. Perencanaan sistem ventilasi ini mengacu pada SNI 03-6572-2001, di mana TPS LB3 tergolong dalam bangunan Kelas 7 yang diklasifikasikan sebagai bangunan penyimpanan. Berdasarkan standar tersebut, luas bukaan ventilasi minimal adalah sebesar 10% dari total luas lantai TPSLB3. Dengan dimensi ruang TPS sebesar $10,2 \text{ m} \times 4,5 \text{ m}$, maka luas TPSLB3 sebesar $4,59 \text{ m}^2$. Berikut ini merupakan penentuan jumlah ventilasi dan dimensi ventilasi yang digunakan.

$$\text{Luas Ventilasi Minimal} = 10\% \times \text{Luas Ruang TPSLB3}$$

$$\text{Luas Ventilasi Minimal} = 10\% \times 45,9 \text{ m}^2 = 4,59 \text{ m}^2$$

Berdasarkan hasil perhitungan, TPSLB3 yang direncanakan membutuhkan luas bukaan ventilasi minimum sebesar $4,59 \text{ m}^2$. Dalam perencanaan ini, ventilasi dirancang dalam enam tipe bukaan. Ventilasi tipe A memiliki dimensi $9,54 \text{ m} \times 0,38 \text{ m}$ dengan luas $3,63 \text{ m}^2$ dan direncanakan sebanyak 1 unit. Ventilasi tipe B memiliki dimensi $4,00 \text{ m} \times 0,38 \text{ m}$ dengan luas $1,52 \text{ m}^2$ dan direncanakan sebanyak 1 unit. Ventilasi tipe C memiliki dimensi $1,80 \text{ m} \times 0,38 \text{ m}$ dengan luas $0,68 \text{ m}^2$ dan direncanakan sebanyak 1 unit. Ventilasi tipe D memiliki dimensi $2,00 \text{ m} \times 0,38 \text{ m}$ dengan luas $0,76 \text{ m}^2$ dan direncanakan sebanyak 1 unit. Ventilasi

tipe E memiliki dimensi 1,30 m × 0,38 m dengan luas 0,49 m² dan direncanakan sebanyak 1 unit. Ventilasi tipe F memiliki dimensi 8,00 m × 0,38 m dengan luas 3,04 m² dan direncanakan sebanyak 1 unit. Dengan demikian, total luas bukaan ventilasi yang direncanakan adalah sebesar 10,12 m², yang telah melampaui persyaratan minimum sebesar 4,59 m², sehingga memenuhi ketentuan standar yang berlaku.

3.3.7 Penerangan

Berdasarkan SNI 03-6572-2001, TPS LB3 dikategorikan sebagai gudang dengan standar intensitas penerangan sebesar 100 Lux (E). Lampu yang dipilih adalah tipe *Explosion Proof* dengan fluks cahaya sebesar 8.000 Lumen (θ). Perhitungan ini menggunakan asumsi *Light Loss Factor* (LLF) sebesar 0,7 dan *Coefficient of Utilization* (CU) sebesar 0,5. Mengingat dimensi bangunan utama TPSLB3 yang direncanakan adalah 10,2 m x 4,5 m, maka dibutuhkan dua titik lokasi lampu dengan jumlah lampu di masing-masing titik berjumlah 1 unit. Detail perhitungan kebutuhan jumlah penerangan tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut ini.

$$N = \frac{E \times L \times W}{\theta \times LLF \times CU \times n}$$

$$N = \frac{100 \text{ lux} \times 10,2 \text{ m} \times 4,5 \text{ m}}{8000 \text{ lumen} \times 0,7 \times 0,5 \times 1} = 1,639 \text{ unit} \rightarrow 2 \text{ Unit}$$

Ruang penyimpanan LB3 dengan karakteristik cairan mudah menyala memiliki kebutuhan penerangan tersendiri karena berada pada ruang tertutup. Ruangan ini berdimensi 2,2 m × 1,67 m. Jenis lampu yang digunakan adalah lampu *explosion proof* dengan daya 18 watt. Dengan asumsi 100 lumen/W, maka fluks cahaya yang dihasilkan adalah sebesar 1.800 lumen.

Perhitungan kebutuhan penerangan dilakukan dengan asumsi nilai *Light Loss Factor* (LLF) sebesar 0,7 dan *Coefficient of Utilization* (CU) sebesar 0,5. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, kebutuhan penerangan ruang penyimpanan LB3 cairan mudah menyala dapat dipenuhi dengan 1 unit lampu yang dipasang pada 1 titik pencahayaan. Dengan demikian, total kebutuhan penerangan pada bangunan TPSLB3 adalah sebanyak 3 unit lampu yang dipasang pada 3 titik pemasangan.

3.3.8 Luas Bangunan

Perhitungan dimensi total TPSLB3 mengintegrasikan penambahan struktur *ramp* dan *landing area* (ekspansi lebar 2,8 m), ketebalan dinding 30 cm, serta jalur bak penampung selebar 60 cm, yang dikombinasikan dengan elevasi vertikal (lantai +20 cm, dinding 3 m, atap 1 m). Berdasarkan parameter tersebut, direncanakan dimensi tapak bangunan sebesar 11,4 m x 8,5 m x 4,2 m dengan ruang penyimpanan internal 10,8 m x 5,1 m, yang membutuhkan total luas lahan 96,9 m². Proyek ini dinyatakan layak konstruksi karena kebutuhan luasan tersebut masih berada di bawah kapasitas ketersediaan lahan seluas 174 m² (20 m x 8,7 m), dengan visualisasi rancangan detail tersaji pada **Gambar 2** (denah tata letak) dan **Gambar 3** (tampak depan).

teknis pada Permen LHK No. 6 Tahun 2021. Dengan estimasi kapasitas LB3 maksimal yang dapat disimpan sebesar 741,58 kg. Bangunan dilengkapi dengan 2 unit APAR berjenis *Dry Chemical Powder* yang dirancang sesuai Permenaker No. 4 Tahun 1980. Terdapat 3 unit lampu berjenis *Explosion Proof* yang dirancang sesuai SNI 03-6572-2001. Terdapat bukaan ventilasi seluas 10,12 m² yang dirancang sesuai SNI 03-6572-2001. Diberikan 5 bak penampung tumpahan dilengkapi dengan saluran pembawa yang disediakan untuk menangani tumpahan limbah dengan masing-masing karakteristik LB3 yang disimpan. Dilengkapi dengan pintu darurat yang dirancang sesuai dengan Permen PUPR Nomor 14 Tahun 2017. Terdapat 9 blok penyimpanan LB3 di dalam TPSLB3 yang disusun berdasarkan karakteristik LB3 mudah menyala, korosif dan beracun. Dengan LB3 dikemas dengan kemasan *dust bin* 1100L, Jeriken HDPE 30L, Jeriken HDPE 20L, Jeriken HDPE 10L, drum HDPE 200L, drum HDPE 80L dan drum HDPE 20L.

5. Referensi

- [1] N. L. Anggraini, N. Halidah, M. Isabella, A. Devidhavyasa, and C. E. E. Siahaan, "Klasifikasi Bahan Berbahaya Dan Beracun Di Laboratorium X Dengan Menggunakan Hazmat Tool," *J. Community Serv.*, vol. 1, no. 2, pp. 32–43, 2023, [Online]. Available: <https://journals.eduped.org/index.php/jcos/article/view/281>.
- [2] T. A. Setiawati, E. Wulandari, Komarudin, and E. Desniati, "Sistem Dokumentasi Pengelolaan Limbah Cair Beracun dan Berbahaya (B3) di Laboratorium Jasa Uji," *Indones. J. Lab.*, vol. 1, no. 2, pp. 41–48, 2019, [Online]. Available: <https://journal.ugm.ac.id/ijl/article/view/44747>.
- [3] Pabbenteng and E. Alwina, "Desain Reaktor Pengolahan Limbah Cair Laboratorium," *J. Pengendali. Pencemaran Lingkung.*, vol. 2, no. 1, pp. 15–21, 2020, doi: 10.35970/jppl.v2i1.142.
- [4] Fakhrudin, J. Nurdiana, and D. W. Wijayanti, "Analisis Penurunan Kadar Cr (Chromium), Fe (Besi) dan Mn (Mangan) pada Limbah Cair Laboratorium Teknologi Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Mulawarman Samarinda dengan Menggunakan Metode Elektrolisis," *Pros. Semin. Nas. Teknol. IV*, no. November, pp. 10–15, 2017.
- [5] Y. Yurnalisdell, "Analisis Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di Indonesia," *J. Syntax Admiration*, vol. 4, no. 2, pp. 201–208, 2023, doi: 10.46799/jsa.v4i2.562.
- [6] D. O. Effendi, "Penentuan Lokasi Pengumpulan Limbah B3 di Jawa Timur Menggunakan Metode Center of Gravity," Institut Teknologi Sepuluh November, 2017.
- [7] L. A. S. M. Exposto and I. N. Sujaya, "The Impacts of Hazardous and Toxic Waste Management: A Systematic Review," *Interdiscip. Soc. Stud.*, vol. 1, no. 2, pp. 103–123, 2021, doi: 10.55324/iss.v1i2.20.
- [8] ACS Committee on Chemical Safety, *Safety in Academic Chemistry Laboratories - 8TH EDITION*. 2017.
- [9] National Research Council, *Prudent Practices in the Laboratory : Handling and Management of Chemical Hazards , Update Version (2011)*. National Academies Press, 2011.
- [10]. S. Hassanvand, K. Naddafi, R. Nabizadeh, F. Momeniha, A. Mesdaghinia, and K. Yaghmaeian, "Hazardous waste management in educational and research centers : a case study," *Toxicol. Environ. Chem.*, vol. 93, no. September 2011, pp. 1636–1642, 2011, doi: 10.1080/02772248.2011.602683.
- [11] P. Nadia Artanti and T. Agung Rachmanto, "Analisis Tingkat Kepatuhan TPS Limbah B3 IPLT Keputih Surabaya Berdasarkan PERMENLHK No 6 Tahun 2021," *J. Serambi Eng.*, vol. X, no. 3, pp. 14232–14238, 2025, [Online]. Available: <https://jse.serambimekkah.id/index.php/jse/article/view/1020/758>.
- [12] R. D. Chandra Hidayat, Anis Saggaff, "Bangunan Loding Ramp Pada Pembangunan kelapa sawit . Fasilitas ini memberikan berbagai manfaat , seperti meningkatkan efisiensi," *J. Deform.*, vol. 10, no. 1, pp. 26–39, 2025, [Online]. Available: <https://journal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/deformasi/article/view/18482/9737>.
- [13] R. J. Watts, Amy L. Teel, and Courtney M. Gardner, *Hazardous Wastes Assessment and Remediation*, Second Edi. John Wiley & Sons, Inc., 2023.
- [14] T. N. R. A, R. R. N. Putra, and Sulistijono, "Pemetaan Tingkat Korosifitas Atmosferik di Wilayah Kota Surabaya dengan Indikator Baja Galvalum," *J. Perancangan, Manufaktur, Mater. DAN ENERGI (JURNAL PERMADI)*, vol. 7, no. 2, pp. 190–201, 2025, [Online]. Available: <https://permadi.nusaputra.ac.id/index.php/permadi/article/view/205/197>.
- [15] Badan Standardisasi Nasional, "Metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga," Jakarta, 2025. doi: ICS 13.030.10.

-
- [16] P. P. Indonesia, *Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. LN.2021/No.32, TLN No.6634, jdih.setkab.go.id : 374 hlm., 2021, pp. 1–483.
- [17] K. L. H. dan K. Indonesia, *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Nomor 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara Dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun*. BN. 2021 No. 294, jdih.menlhk.go.id, 2021, pp. 1–301.
- [18] P. P. Indonesia, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 14/PRT/M/2017 Tahun 2017*. BN. 2018/NO.1148, [Jdih.pu.go.id](http://jdih.pu.go.id): 36 hlm., 2017.
- [19] Badan Standarisasi Nasional, “SNI 03-6572-2001 Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung,” 2001. doi: 91.140.30 Sistem ventilasi dan pengatur udara;
- [20] Menteri Tenaga Kerja Dan Transmigrasi, *Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. Per. 04/Men/1980 Tentang Syarat-syarat Pemasangan dan Pemeliharaan APAR*, vol. 1, no. 1. 1980, pp. 1–15.