

Studi Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) Pada Proses *Hot Dip Galvanizing* di PT X

Study of Hazardous and Toxic Waste Management (B3) In The Hot Dip Galvanizing Process at PT X

LP Saktiaji¹, SW Auvaria^{2,*}, R Ratnawati³, S Nengse⁴

Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya, Surabaya - Indonesia

*Email: shinfiwazna@uinsa.ac.id

Artikel histori:

Submitted 5 November 2025

Revised 3 Desember 2025

Accepted 4 Desember 2025

ABSTRAK: PT X sebagai produsen pipa baja menerapkan proses *Hot-Dip Galvanizing* (HDG) yang menghasilkan berbagai jenis limbah B3, seperti asam pickling, zinc ash, zinc dross, dan sludge dari proses *water quenching*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pengelolaan limbah B3 yang dihasilkan dari proses HDG di PT X, bahwa dipastikan pengelolaan limbah berjalan aman, mengurangi potensi risiko pencemaran lingkungan, serta menilai kesesuaiannya dengan ketentuan peraturan perundangan. Metode yang digunakan adalah observasi langsung, wawancara dengan staf HSE, dan identifikasi terhadap regulasi yang relevan. Tahapan pengelolaan meliputi penetapan limbah, pengumpulan, penyimpanan sementara di TPS berizin, serta pengangkutan oleh pihak ketiga berizin melalui sistem pelaporan elektronik SPEED (Sistem Pelaporan dan Evaluasi Digital). Beberapa limbah seperti zinc dross juga dimanfaatkan kembali melalui proses *zinc recovery*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan limbah B3 di PT X telah dilaksanakan sesuai dengan ketentuan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 (PP No. 22 Tahun 2021) dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 6 Tahun 2021 (Permen LHK No. 6 Tahun 2021). Dengan penerapan yang sistematis dan bertanggung jawab, mencerminkan kepatuhan PT X terhadap regulasi lingkungan serta mendukung prinsip keberlanjutan industri.

Kata kunci: *hot-dip galvanizing*; limbah B3; pengelolaan limbah; zinc ash

ABSTRACT: PT X, a steel pipe manufacturer, implements the Hot-Dip Galvanizing (HDG) process which produces various types of hazardous waste, such as pickling acid, zinc ash, zinc dross, and sludge from the water quenching process. The purpose of this study was to determine the management of hazardous waste in the HDG process at PT X. The methods used were direct observation, interviews with HSE staff, and identification of relevant regulations. The management stages include waste determination, collection, temporary storage at a licensed TPS, and transportation by a licensed third party through the SPEED electronic reporting system (Digital Reporting and Evaluation System). Some waste such as zinc dross is also reused through the zinc recovery process. The results of the study indicate that hazardous waste management at PT X has been implemented in accordance with the provisions of the Government Regulation of the Republic of Indonesia Number 22 of 2021 (PP No. 22 of 2021) and the Regulation of the Minister of Environment and Forestry No. 6 of 2021 (Permen LHK No. 6 of 2021). With systematic and responsible implementation, it reflects PT X's compliance with environmental regulations and supports the principles of industrial sustainability.

Keywords: hot-dip galvanizing; hazardous waste; waste management; zinc ash

1. PENDAHULUAN

Tingginya permintaan konsumen terhadap kualitas mendorong setiap perusahaan untuk terus berinovasi dalam mengembangkan produknya. Salah satu produk manufaktur yang dibutuhkan masyarakat adalah produk pipa baja (Sandi et al., 2017). Seiring dengan pesatnya kemajuan dalam era industri, proses produksi di berbagai perusahaan juga terus berkembang. Perkembangan industri membawa manfaat positif dalam memenuhi kebutuhan manusia, namun di sisi lain juga dapat berdampak negatif terhadap lingkungan apabila limbah industri tidak dikelola dengan baik. Secara umum, limbah dapat diartikan sebagai sisa bahan dari proses produksi yang sudah tidak memiliki nilai guna dan tidak dapat dimanfaatkan kembali. Limbah juga sering disebut sebagai sampah industri atau residu hasil produksi pabrik (Suwandi, 2021).

Berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021 pasal 1 ayat (21) tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (LB3), Limbah B3 adalah sisa suatu usaha atau kegiatan yang mengandung B3, yang karena sifat, konsentrasi, dan jumlahnya baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemari dan/atau merusak lingkungan hidup, serta membahayakan kesehatan manusia. Dalam konteks industri, limbah B3 dihasilkan dari berbagai proses produksi, pengolahan, maupun aktivitas pendukung lainnya. Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 Pasal 59 ayat (1) menyatakan bahwa setiap orang yang menghasilkan limbah B3 wajib melakukan pengelolaan limbah B3 agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan.

PT X merupakan perusahaan manufaktur nasional yang bergerak di bidang produksi pipa baja dan produk turunannya. Salah satu proses utama dalam produksi pipa baja adalah pelapisan anti-korosi menggunakan metode HDG. Metode HDG adalah proses pencelupan baja ke dalam lelehan *zinc* pada temperatur 450°C sehingga terbentuk ikatan metalurgi antara *zinc* cair dengan permukaan baja yang menghasilkan lapisan intermetalik paduan Fe – Zn (Jarwanto et al., 2023). Proses ini menghasilkan beberapa jenis limbah B3 seperti asam pickling bekas, *zinc ash*, *zinc dross*, dan *sludge* dari proses pendinginan cepat (*water quenching*) yang harus dikelola secara tepat untuk meminimalkan risiko terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (Agustina et al., 2014).

Menurut PP No. 22 Tahun 2021, serta Permen LHK Nomor 6 Tahun 2021, setiap pelaku usaha wajib melakukan pengelolaan limbah B3 mulai dari penetapan, pengumpulan, penyimpanan sementara, hingga pengangkutan dan pelaporan secara elektronik melalui sistem SPEED. Ketentuan ini mendorong industri untuk menerapkan praktik pengelolaan limbah yang sesuai standar dan berbasis regulasi. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi

pengelolaan limbah B3 yang dihasilkan dari proses HDG di PT X, bahwa dipastikan pengelolaan limbah berjalan aman, mengurangi potensi risiko pencemaran lingkungan, serta menilai kesesuaiannya dengan ketentuan peraturan perundangan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode kualitatif deskriptif. Metode ini dipilih untuk menggambarkan secara langsung praktik pengelolaan limbah B3 pada proses HDG di lingkungan industri, khususnya di PT X. Metode ini memungkinkan peneliti untuk mengeksplorasi proses dan mekanisme pengelolaan limbah melalui observasi, wawancara, dan dokumentasi (Creswell & Poth, 2016).

Subjek dalam penelitian ini adalah sistem pengelolaan limbah B3 pada proses HDG di PT X. Narasumber dalam studi ini terdiri dari staf *Health, Safety, and Environment* (HSE), pembimbing lapangan, dan operator lapangan yang terlibat langsung dalam pengelolaan limbah. Pemilihan narasumber dilakukan berdasarkan keterlibatan dan pengetahuan mereka terhadap sistem pengelolaan limbah yang diterapkan perusahaan (Utomo & Priyadi, 2024).

Data dikumpulkan melalui tiga teknik utama:

1. Observasi langsung terhadap proses pengelolaan limbah di PT X (penetapan, pengumpulan, penyimpanan, dan pengangkutan limbah B3, termasuk aktivitas *zinc recovery* dan sistem pelaporan SPEED).
2. Wawancara dengan staf HSE dan operator teknis untuk memahami alur kerja, kendala lapangan, dan upaya pemenuhan regulasi.
3. Identifikasi terhadap regulasi yang relevan (PP No. 22 Tahun 2021 dan Permen LHK No. 6 Tahun 2021), serta dokumen internal perusahaan yang mendukung kegiatan pengelolaan limbah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pengelolaan limbah B3 di PT X mencakup empat tahapan utama, yaitu penetapan limbah, pengumpulan, penyimpanan sementara, dan pengangkutan limbah oleh pihak ketiga.

A. Penetapan Limbah B3

Penetapan limbah B3 pada proses HDG di PT X dilakukan berdasarkan jenis dan karakteristik limbah sebagaimana diatur dalam lampiran IX PP No. 22 Tahun 2021 [10]. Jenis limbah utama yang diidentifikasi meliputi:

1. Limbah Asam *Pickling*

Limbah ini berasal dari penggunaan larutan asam anorganik, seperti asam klorida (HCl) dan asam sulfat (H₂SO₄) yang berfungsi untuk

membersihkan permukaan logam dari oksida dan kontaminan sebelum proses galvanisasi (Gambar 1). Asam *pickling* bekas bersifat sangat korosif dan mengandung logam terlarut seperti Fe, Cr, dan Ni. Berdasarkan karakteristik tersebut, limbah ini diklasifikasikan sebagai limbah B3 korosif sesuai dengan PP No. 22 Tahun 2021 dan Permen LHK No. 6 Tahun 2021.



Gambar 1. Limbah asam Pickling
(Sumber: dokumentasi pribadi)

2. Limbah Zinc Ash dan Zinc Dross

Zinc ash dan *zinc dross* merupakan hasil samping dari proses HDG, yang terbentuk akibat reaksi antara seng cair dengan udara maupun partikel logam lainnya.

- *Zinc Ash* adalah residu yang terbentuk di permukaan seng cair akibat oksidasi, dan mengandung senyawa ZnO serta logam berat. Limbah ini biasanya dikumpulkan secara manual di permukaan bak galvanisasi (Gambar 2) (Takáčová et al., 2010). Kandungan logam berat seperti Zn dan Pb membuat *zinc ash* tergolong dalam limbah B3 beracun.



Gambar 2. Limbah zinc ash
(Sumber: dokumentasi pribadi)

- *Zinc Dross* terbentuk dari reaksi antara seng cair dan partikel besi yang terlepas selama pencelupan. *Zinc Dross* cenderung mengendap di dasar bak galvanisasi karena massa jenisnya lebih tinggi daripada seng cair. Limbah ini memiliki kadar

seng yang tinggi dan bersifat toksik karena mengandung logam berat, sehingga juga diklasifikasikan sebagai limbah B3 beracun. Jumlah *zinc dross* yang terbentuk dapat mencapai 10–20% dari total seng yang digunakan dan sangat dipengaruhi oleh suhu operasional proses galvanisasi (Gambar 3) (Agustina, 2016).



Gambar 3. Limbah zinc dross
(Sumber: dokumentasi pribadi)

3. Sludge Water Quenching (WQ)

Sludge WQ adalah endapan semi-padat yang terbentuk selama proses pendinginan cepat pipa baja dengan media air setelah pelapisan galvanis. Proses *quenching* ini menyebabkan pelepasan partikel logam dan oksida dari permukaan baja yang kemudian bercampur dengan air pendingin dan membentuk lumpur. Limbah ini dikategorikan sebagai limbah B3 beracun karena mengandung senyawa logam berat seperti timbal (Pb) dan seng (Zn), yang berasal dari sisa proses galvanisasi (Gambar 4) (Xu et al., 2022).



Gambar 4. Limbah sludge WQ
(Sumber: dokumentasi pribadi)

B. Pengumpulan Limbah B3

Setelah dilakukan klasifikasi berdasarkan jenis dan karakteristiknya, setiap limbah B3 dari proses HDG di PT X dikelola melalui tahapan pengumpulan menuju fasilitas penyimpanan sementara (TPS). Namun, terdapat perbedaan

penanganan berdasarkan sifat dan karakteristik masing-masing jenis limbah.

1. Limbah Asam *Pickling*

Limbah asam *pickling* yang berasal dari larutan HCl tidak dikumpulkan ke TPS, melainkan tetap disimpan di dalam bak *pickling* tempat limbah tersebut terbentuk. Kebijakan ini diambil karena sifat limbah yang sangat korosif dan volumenya yang besar, sehingga pemindahan dinilai berisiko tinggi dan tidak efisien (Okvitasari, 2023). Penyimpanan langsung di dalam bak *pickling* mengurangi kemungkinan terjadinya tumpahan atau paparan, serta memfasilitasi proses pengangkutan langsung oleh pihak ketiga yang telah berizin tanpa melanggar regulasi yang berlaku (Gambar 5) (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021).



Gambar 5. Limbah asam *pickling* pada bak *pickling*

(Sumber: dokumentasi pribadi)

2. Limbah *Zinc Ash*

Limbah *zinc ash* yang dihasilkan selama proses galvanisasi terlebih dahulu dicetak menggunakan cetakan khusus agar memiliki ukuran dan bentuk seragam (Gambar 6).



Gambar 6. Proses pencetakan limbah *zinc ash*

(Sumber: dokumentasi pribadi)

Tujuan pencetakan ini adalah untuk memudahkan proses penanganan limbah, khususnya dalam tahap pengangkutan dan penyimpanan. Limbah yang telah dicetak selanjutnya dikeringkan hingga padat, kemudian dimasukkan ke dalam wadah berupa drum logam untuk meminimalkan risiko kontaminasi dan mempermudah distribusi ke TPS limbah B3.

3. Limbah *Zinc Dross*

Berbeda dari *zinc ash*, *zinc dross* masih mengandung logam seng dalam kadar tinggi, sehingga memiliki nilai ekonomis. Oleh karena itu, *zinc dross* tidak langsung disimpan di TPS, melainkan terlebih dahulu melalui proses pemulihan logam atau *zinc recovery* (Gambar 7) (Agustina et al., 2014).



Gambar 7. Proses *zinc recovery*
(Sumber: dokumentasi pribadi)

Proses ini dilakukan dengan memanaskan kembali limbah pada suhu tinggi (>500°C) untuk melelehkan seng dan memisahkannya dari oksida maupun *slag* (Agustina et al., 2014). Seng cair hasil pemisahan dikumpulkan kembali untuk digunakan dalam proses produksi berikutnya, mendukung praktik *circular economy*. Sisa dari proses pemulihan, yang tidak lagi memiliki kandungan seng yang signifikan, dikategorikan sebagai residu limbah B3 dan dikirim ke TPS limbah B3 (Gambar 8).



Gambar 8. Limbah *zinc dross* hasil *zinc recovery*

(Sumber: dokumentasi pribadi)

4. Limbah *Sludge Water Quenching* (WQ)

Limbah *sludge* dari proses pendinginan (*quenching*) memiliki kadar air tinggi yang dapat menyebabkan pencemaran bila tidak dikelola dengan tepat. Oleh karena itu, limbah ini terlebih dahulu dikeringkan sebelum dikumpulkan ke TPS (Xu et al., 2022). Pada Gambar 9, ditunjukkan proses pengeringan yang dilakukan dengan memanfaatkan panas dari suhu area sekitar tungku galvanisasi (*furnace*) untuk mempercepat penguapan. Strategi ini dinilai efektif dan efisien dalam mengurangi kadar air dan memudahkan pengemasan.



Gambar 9. Limbah *sludge* WQ yang dikeringkan dekat *furnace*

(Sumber: dokumentasi pribadi)

Setelah melalui tahapan pengolahan awal tersebut, seluruh limbah padat B3 seperti *zinc ash*, *zinc dross*, dan *sludge WQ* dikemas dalam drum logam berkapasitas 200-liter sebagai wadah penyimpanan sementara (Gambar 10).



Gambar 10. Pewadahan limbah padat menggunakan drum logam

(Sumber: dokumentasi pribadi)

Penggunaan drum bertujuan untuk menjamin keamanan penanganan limbah, mencegah tumpahan, dan memudahkan dalam proses transportasi menuju TPS limbah B3. Drum yang telah penuh, kemudian diangkat ke TPS limbah B3 menggunakan armada internal perusahaan yang

telah disesuaikan untuk penanganan limbah berbahaya. Pengangkutan ke TPS dilakukan secara periodik, yakni satu hingga dua kali per minggu, tergantung pada volume produksi dan kebutuhan operasional (Gambar 11).



Gambar 11. Proses pengumpulan limbah di TPS

(Sumber: dokumentasi pribadi)

C. Penyimpanan Limbah B3

Mengacu pada PP No. 22 Tahun 2021, penyimpanan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) didefinisikan sebagai kegiatan yang dilakukan oleh penghasil limbah untuk menyimpan limbah B3 secara sementara sebelum dilakukan pengangkutan dan pengelolaan lebih lanjut. PT X telah membangun fasilitas penyimpanan limbah B3 berupa Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) yang dirancang sesuai ketentuan teknis dalam Permen LHK No. 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah B3. Fasilitas TPS ini telah memperoleh izin resmi dari otoritas berwenang (Gambar 12).



Gambar 12. TPS limbah B3 PT X

(Sumber: dokumentasi pribadi)

Setelah limbah B3 padat dikumpulkan dan diangkat menuju TPS, selanjutnya dilakukan proses penimbangan untuk mengetahui berat aktual limbah yang diterima (Gambar 13). Hasil penimbangan tersebut dicatat secara sistematis dalam logbook limbah B3 sebagai bagian dari sistem pelacakan dan

dokumentasi internal. Pencatatan ini penting untuk keperluan audit, pelaporan berkala, dan pengawasan terhadap arus masuk dan keluar limbah dari TPS.



Gambar 13. Proses penimbangan dan pencatatan limbah padat B3
(Sumber: dokumentasi pribadi)

Tahap berikutnya adalah pengemasan dan penataan limbah. Limbah B3 yang telah ditimbang dikemas dalam *jumbo bag* yang telah diberi label dan keterangan sesuai dengan jenis limbah dan klasifikasi bahayanya. Penataan dilakukan secara hati-hati dengan menggunakan *crane* yang dioperasikan oleh petugas HSE, mempertimbangkan faktor keamanan dan kemudahan akses saat proses pemindahan berikutnya (Gambar 14). Proses ini juga bertujuan untuk mencegah kontaminasi silang dan menjaga kondisi lingkungan kerja tetap aman dan tertib (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021).



Gambar 14. Pengemasan dan penataan limbah B3
(Sumber: dokumentasi pribadi)

Dalam hal durasi penyimpanan, Permen LHK No. 6 Tahun 2021 mengatur bahwa limbah B3 hanya boleh disimpan paling lama 90 hari sejak dihasilkan, khususnya untuk penghasil limbah dalam jumlah lebih dari 50 kg per hari. Mengingat volume limbah B3 yang dihasilkan oleh PT X cukup tinggi, perusahaan secara aktif melakukan pengangkutan

limbah secara berkala, yaitu 1–2 kali per minggu. Praktik ini bertujuan untuk mencegah penumpukan limbah berlebihan di TPS serta memastikan kepatuhan terhadap peraturan yang berlaku terkait pengelolaan limbah B3.

D. Pengangkutan Limbah B3

Sesuai dengan ketentuan PP No. 22 Tahun 2021, kegiatan pengangkutan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) hanya dapat dilakukan oleh badan usaha yang memiliki izin resmi sebagai transporter limbah B3. PT X tidak melakukan kegiatan pengangkutan secara mandiri, melainkan bekerja sama dengan pihak ketiga yang telah memperoleh izin resmi dari instansi berwenang. Prosedur pengangkutan limbah B3 dilakukan dengan dukungan sistem pelaporan elektronik yang terintegrasi, yakni SPEED dan Sistem Informasi Pelaporan Elektronik Lingkungan Hidup (SIMPEL), yang keduanya berada di bawah pengawasan langsung Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).

Ketika akumulasi limbah mencapai volume tertentu, staf HSE perusahaan melakukan pengajuan permintaan pengangkutan melalui portal resmi SPEED. Permintaan tersebut mencakup data spesifik terkait jenis, jumlah, dan kategori limbah yang akan diangkut. Informasi tersebut disesuaikan dengan dokumen manifest elektronik (*festronik*) yang wajib diterbitkan oleh penghasil limbah. Setelah diajukan, transporter akan menerima notifikasi digital dan melakukan verifikasi data melalui sistem. Jika verifikasi dinyatakan valid, jadwal pengangkutan disepakati bersama, dan transporter wajib melengkapi dokumen pendukung seperti surat jalan, manifest limbah, serta izin pengangkutan yang dapat diakses melalui platform SIMPEL. Sistem ini memastikan bahwa setiap tahapan proses tercatat secara *real-time* dan dapat dimonitor oleh pihak KLHK.

Setibanya kendaraan transporter di area industri, petugas keamanan dan staf HSE akan melakukan pemeriksaan administratif terhadap dokumen pengangkutan. Kendaraan kemudian diarahkan ke *weighbridge* untuk penimbangan awal dalam kondisi kosong, guna memperoleh data berat kotor dan menghitung berat bersih limbah yang akan diangkut. Untuk limbah asam pickling, PT X bekerja sama dengan PT Teknotama Lingkungan Internusa (TLI) sebagai mitra transporter sekaligus pengelola limbah. Armada yang digunakan adalah truk tangki yang telah memenuhi standar keamanan dan terintegrasi dengan sistem pelaporan digital. Truk ini dilengkapi dengan simbol bahaya limbah B3 dan peralatan darurat untuk mencegah insiden selama perjalanan. Proses pemindahan limbah dilakukan secara langsung dari bak pickling ke tangki truk menggunakan sistem pompa dan pipa, dengan estimasi waktu pengerjaan selama satu hari.

Sementara itu, untuk limbah B3 padat seperti *zinc ash*, *zinc dross*, dan *sludge WQ*, pengangkutan dilakukan oleh PT Indo Lysaght. Limbah ini diangkut menggunakan truk bak tertutup yang juga telah memenuhi persyaratan teknis dan administratif, serta dilengkapi peralatan darurat. Proses pemuatan dilakukan oleh petugas HSE dengan bantuan forklift, guna memastikan efisiensi dan keamanan saat penataan drum limbah ke dalam kendaraan (Gambar 15).



Gambar 15. Pengangkutan limbah B3 padat

(Sumber: dokumentasi pribadi)

Setelah pengangkutan selesai, dilakukan penimbangan ulang untuk memastikan kesesuaian antara data di manifest elektronik dan jumlah fisik limbah yang diangkut. Jika data telah sesuai, dilakukan proses serah terima antara penghasil dan pengangkut, yang ditandai dengan penyerahan dokumen manifest dan surat jalan.

Tahap akhir dari proses ini adalah pengiriman limbah ke fasilitas pengelolaan atau pemanfaatan limbah B3 yang memiliki izin resmi. Di fasilitas tersebut, limbah akan diproses lebih lanjut sesuai karakteristiknya, baik melalui metode pemanfaatan ulang (*recovery*), pemusnahan, maupun teknik pengolahan lainnya yang sesuai dengan ketentuan perundang-undangan yang berlaku.

3.2 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan limbah B3 di PT X pada proses HDG, telah dilakukan secara sistematis dan sesuai dengan PP No. 22 Tahun 2021 dan Permen LHK No. 6 Tahun 2021. Hal ini menunjukkan bahwa perusahaan telah memahami pentingnya pengelolaan limbah sebagai bagian dari tanggung jawab lingkungan dan keberlanjutan operasional industri.

A. Pengelolaan Berdasarkan Karakteristik Limbah

Setiap jenis limbah B3 yang dihasilkan dalam proses HDG diperlakukan berdasarkan karakteristik bahayanya. Sebagai contoh, asam pickling

diklasifikasikan sebagai limbah korosif dan sangat berbahaya karena mengandung HCl serta logam berat (Fe, Ni, Cr) dalam konsentrasi tinggi. Penanganan limbah ini langsung dari bak pickling tanpa dipindahkan ke TPS limbah B3 dinilai sebagai langkah mitigasi risiko yang tepat, karena dapat mencegah paparan, tumpahan, dan kecelakaan kerja akibat pemindahan bahan korosif dalam jumlah besar (Totten et al., 2002).

Demikian pula, *zinc ash* dan *zinc dross* yang tergolong limbah beracun karena kandungan logam berat seperti Zn dan Pb, telah dikelola dengan pemrosesan awal berupa pencetakan dan pemanfaatan kembali. Pemanfaatan *zinc dross* melalui proses *zinc recovery* menunjukkan bahwa PT X telah menerapkan prinsip *circular economy*, di mana limbah yang masih memiliki nilai ekonomi diproses kembali agar tidak langsung dibuang dan dapat mengurangi beban limbah sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan bahan baku (Agustina, et al., 2014).

B. Sistem Penyimpanan dan Transportasi Limbah

Penerapan penyimpanan limbah B3 di TPS berizin dengan sistem penataan berdasarkan jenis limbah, pelabelan, serta pencatatan logbook menunjukkan adanya kepatuhan pada standar teknis pengelolaan limbah B3. Penempatan limbah di drum logam dan jumbo bag, serta pengangkutan menggunakan armada khusus dengan simbol B3 dan alat tanggap darurat, mencerminkan penerapan prinsip kehati-hatian dan pengendalian risiko sesuai ketentuan Permen LHK No. 6 Tahun 2021. Selain itu, waktu penyimpanan yang dibatasi maksimal 90 hari juga dipatuhi melalui pengangkutan limbah secara rutin 1–2 kali per minggu, bergantung pada volume produksi. Hal ini untuk mencegah *overcapacity* TPS limbah B3 dan risiko kebocoran.

C. Digitalisasi Sistem Pelaporan

Penggunaan sistem pelaporan elektronik seperti SPEED dan SIMPEL memperkuat akuntabilitas pengelolaan limbah. Proses pelaporan yang terdigitalisasi melalui manifest elektronik (*felectronik*) memungkinkan verifikasi real-time oleh pihak KLHK dan mempermudah integrasi data antara penghasil, transporter, dan pengelola limbah. Transformasi ini mendukung transparansi dan efektivitas pemantauan lingkungan industri, sebagaimana ditegaskan oleh KLHK dalam kebijakan pengelolaan limbah berbasis digital.

D. Kesesuaian Pengelolaan Limbah B3 PT X dengan Regulasi

Untuk memperjelas kesesuaian pengelolaan limbah B3 di PT X dengan regulasi yang ada dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Penyesuaian Pengelolaan Limbah B3 dengan Regulasi

No	Tahap Pengelolaan	Praktik di PT X	Acuan Regulasi	Kesesuaian
1.	Penetapan Limbah	Identifikasi asam pickling (korosif), zinc ash & dross (beracun), sludge WQ (beracun).	- PP No. 22/2021 - Permen LHK No. 6/2021: penetapan limbah B3 wajib berdasar karakteristik bahaya.	Sesuai
2.	Pengumpulan	- Asam pickling tetap di bak pickling (langsung diangkat pihak ketiga). - Zinc ash dicetak, dikeringkan, lalu disimpan dalam drum. - Zinc dross dimanfaatkan dulu lewat zinc recovery, residunya ke TPS. - Sludge WQ dikeringkan lalu dikemas drum.	- PP No. 22/2021 Pasal 141–144 - Permen LHK No. 6/2021: pengumpulan harus aman & sesuai karakteristik limbah.	Sesuai
3.	Penyimpanan	Limbah padat (zinc ash, residu dross, sludge WQ) disimpan di TPS berizin dengan drum logam/jumbo bag, penimbangan & pencatatan logbook.	- PP No. 22/2021 Pasal 145: wajib di TPS berizin. - Permen LHK No. 6/2021: maksimal 90 hari untuk penghasil >50 kg/hari.	Sesuai
4.	Pemanfaatan	Zinc dross → zinc recovery untuk circular economy.	PP No. 22/2021 & Permen LHK No. 6/2021: limbah yang masih punya nilai dapat dimanfaatkan dengan izin.	Sesuai
5.	Pengangkutan	Dilakukan pihak ketiga berizin: - PT TLI untuk asam pickling (truk tangki B3). - PT Indo Lysaght untuk limbah padat (truk bak tertutup). Didukung dokumen manifest elektronik (felectronik) melalui SPEED & SIMPEL.	PP No. 22/2021 Pasal 147 & Permen LHK No. 6/2021: transporter wajib berizin & menggunakan manifest elektronik.	Sesuai
6.	Pelaporan	Semua dicatat di logbook TPS & dilaporkan lewat sistem SPEED & SIMPEL.	PP No. 22/2021 & Permen LHK No. 6/2021: wajib pelaporan digital ke KLHK.	Sesuai

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi dan pembahasan yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengelolaan limbah B3 pada proses HDG di PT X telah dilaksanakan secara sistematis, bertanggung jawab, dan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku, khususnya PP No. 22 Tahun 2021 dan Permen LHK No. 6 Tahun 2021. Semua jenis limbah B3 dari proses water quenching, diklasifikasikan dan ditangani berdasarkan karakteristik bahayanya. Pengelolaan dilakukan melalui tahapan penetapan, pengumpulan, penyimpanan sementara di TPS B3 berizin, serta pengangkutan oleh pihak ketiga berizin dengan dukungan sistem pelaporan digital (SPEED dan SIMPEL) yang terintegrasi langsung dengan KLHK. Temuan penelitian juga menunjukkan adanya upaya efisiensi dan pemanfaatan limbah, khususnya pada proses *zinc recovery* yang mendukung penerapan prinsip ekonomi sirkular. Secara keseluruhan, implementasi pengelolaan limbah B3 di PT X mencerminkan praktik industri yang tidak hanya mematuhi regulasi, tetapi juga adaptif terhadap inovasi dan berorientasi pada keberlanjutan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S. (2016). Proses Ekstraksi Seng Oksida Dari Seng Dross Menggunakan Metode Hidrometalurgi Sistem Terbuka. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 38(2), 103-108.
- Agustina, S., Indrasti, N. S., Suprihatin, S., & Rochman, N. T. (2014). Perolehan Kembali Seng Dari Limbah Industri Galvanis Sebagai Seng Asetat. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 36(1), 106187.
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2016). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches*. Sage publications.
- Indonesia. (2009). *Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Sekretariat Negara.
- Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Sekretariat Negara.
- Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Lampiran IX: Baku mutu air limbah*. Sekretariat Negara.
- Jarwanto, A. B. M., Umardani, Y., & Suprihanto, A. (2023). Pengaruh Variasi Waktu Pencelupan Hot Dip Galvanizing Terhadap Ketebalan Dan Kekerasan Lapisan Dengan Menggunakan Baja St 60. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(3), 247-260.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Okvitasari, A. R. (2022). Aplikasi Ca (OH) 2 Untuk Limbah Kegiatan Pickling dengan Metode Netralisasi dan Presipitasi. *Techno Bahari*, 9(2).
- Sandi, S., Ulfah, M., & Ferdinant, P. F. (2017). Usulan Perbaikan Kualitas Produk Pipa Baja Las Spiral Menggunakan Metode Six Sigma Berdasarkan Design of Experiment (DOE) DI PT. XYZ. *Jurnal Teknik Industri Untirta*.
- Suwandi, A., Al Afghani, A. R., Zariatini, D. L., & Rosidi, R. (2021). Perancangan Mesin Pembuka Kaleng Aerosol Untuk Kategori Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (B3). *Jurnal Teknologi*, 13(2), 115-128.
- Takáčová, Z., Hluchánová, B., & Trpcevska, J. (2010). Leaching of zinc from zinc ash originating from hot-dip galvanizing. *Metall*, 64(12), 600.
- Totten, G. E., Howes, M., & Inoue, T. (2002). *Handbook of residual stress and deformation of steel*. ASM International.
- Utomo, R. P. (2023). *Peranan Bank Sampah terhadap Peningkatan Perekonomian Masyarakat (Studi Empiris: Bank Sampah Kelurahan Bener Yogyakarta)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Xu, Y., Zhang, Y., Shu, Y., Song, H., Shu, X., Ma, Y., & Zhang, X. (2022). Composition and leaching toxicity of hydrochloric acid pickling sludge generated from the hot-dip galvanized steel industry. *ACS omega*, 7(16), 13826-13840.