

Kajian Risiko Lingkungan pada Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dan Limbah B3 Industri Kimia di PT XYZ dengan Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Tasya Afrida Hendriana dan Mas Agus Mardiyanto

Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: mardiyanto@enviro.its.ac.id.

Abstrak—Adanya peningkatan aktivitas industri berisiko untuk meningkatkan kerusakan lingkungan, baik dari eksploitasi bahan baku, aktivitas produksi maupun dari buangan limbah akibat proses produksi. Oleh karena itu peningkatan aktivitas industri harus dibarengi dengan peningkatan upaya pengelolaan lingkungannya. Penelitian ini mengkaji risiko lingkungan yang dapat diakibatkan dari suatu sistem pengelolaan B3 dan limbah B3 di PT XYZ. PT XYZ merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri kimia. Saat ini, PT XYZ sedang berfokus pada pengembangan efisiensi pengelolaan limbahnya, terutama limbah B3. Oleh karena itu, untuk meningkatkan sistem pengelolaan limbah industri di PT XYZ sebagai upaya dan komitmen perusahaan dalam melaksanakan pengelolaan lingkungan, diperlukan adanya kajian risiko dengan pendekatan *Failure Mode and Effect Analysis* untuk mengidentifikasi risiko serta akibat yang dapat ditimbulkan dari sistem pengelolaan B3 dan limbah B3 tersebut. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Fishbone Analysis* dan FMEA, dimulai dengan mengidentifikasi risiko melalui identifikasi kegagalan, penyebab, dan efek potensial dari sistem pengelolaan B3 dan limbah B3 dengan menggunakan diagram *fishbone*. Dilanjutkan dengan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) berdasarkan tingkat *severity*, *occurrence*, dan *detection* menggunakan metode FMEA. Selanjutnya dilakukan penyusunan skenario pengendalian risiko berdasarkan hasil identifikasi dan perhitungan RPN. Metode FMEA dipilih karena metode ini dapat menganalisis hampir setiap risiko yang didapat dan dapat mempertimbangkan risiko dalam jumlah besar. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini berdasarkan observasi, wawancara, dan data sekunder dari perusahaan menunjukkan potensi kegagalan terbesar berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) pada pengelolaan B3 terjadi pada *item* Oli, yaitu berupa tumpahan atau ceceran Oli dengan nilai RPN sebesar 75. Sedangkan, pada pengelolaan limbah B3, potensi kegagalan terbesar yaitu keluarnya gas atau limbah cair B3 (Ammonium Hidroksida) dengan nilai RPN sebesar 50. Adapun mitigasi risiko yang diusulkan berupa *engineering control*, perbaikan manajemen, dan peningkatan deteksi kegagalan.

Kata Kunci—Bahan Berbahaya dan Beracun (B3); Diagram *Fishbone*; FMEA; Manajemen Risiko Lingkungan; Pengelolaan Limbah B3.

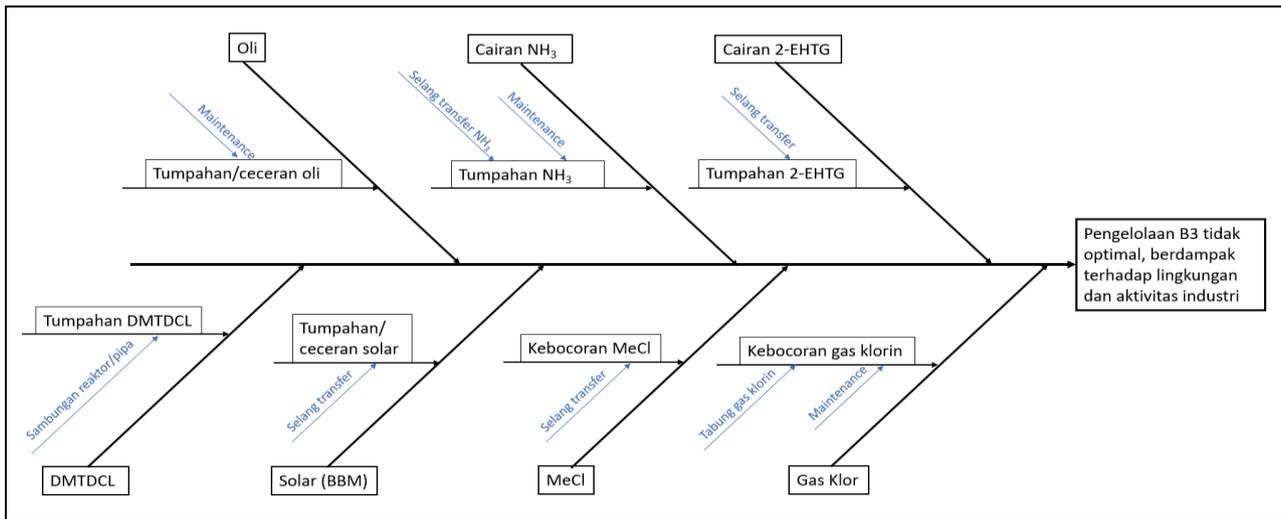
I. PENDAHULUAN

DEWASA ini, perkembangan industri dan teknologi melaju dengan cukup pesat yang mendorong kemajuan perekonomian di Indonesia. Namun, peningkatan aktivitas industri ini berisiko untuk meningkatkan kerusakan

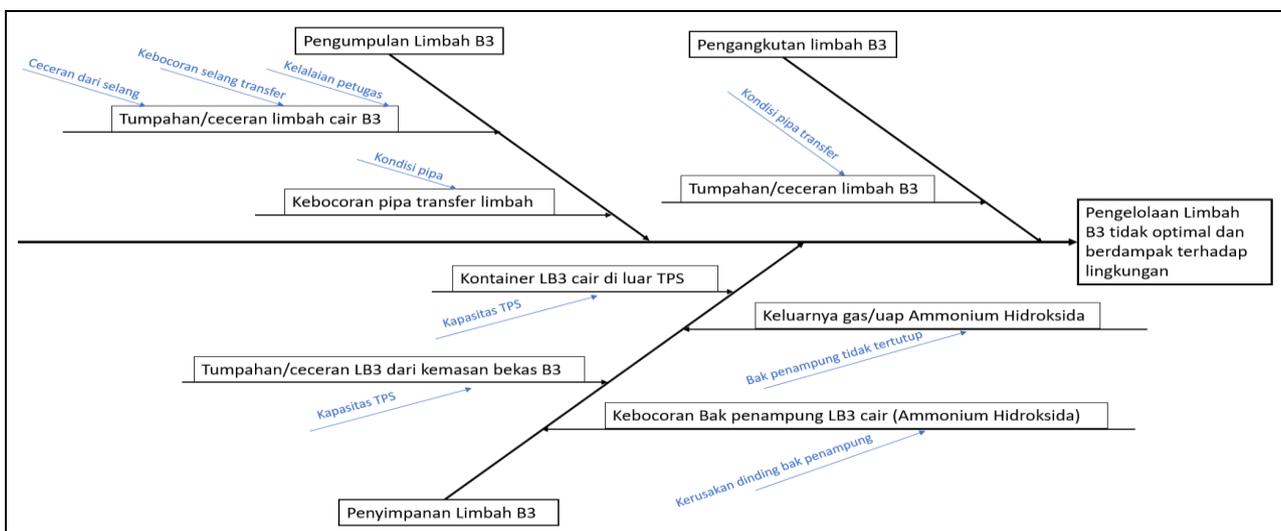
lingkungan, baik dari eksploitasi bahan baku, aktivitas produksi maupun dari buangan limbah akibat proses produksi. Mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan, perusahaan industri memiliki tanggung jawab dalam menjaga kelestarian lingkungan dengan melakukan upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan. Oleh karena itu peningkatan aktivitas industri harus dibarengi dengan peningkatan upaya pengelolaan lingkungannya. Salah satu upaya pengelolaan lingkungan yang dilakukan oleh perusahaan industri adalah dalam bentuk penanganan limbah yang dihasilkan.

Perkembangan industri yang semakin pesat menyebabkan adanya persaingan industri yang semakin ketat. Persaingan industri ini mengharuskan setiap perusahaan untuk menjadi lebih unggul dari pesaingnya dengan meminimalisir risiko yang dapat menghambat kinerja perusahaan [1]. Risiko adalah suatu ketidakpastian yang dapat menimbulkan kerugian dan menyebabkan bahaya akibat dari suatu proses yang sedang berlangsung maupun yang akan datang [2]. Risiko tersebut, dapat berupa risiko lingkungan, risiko kegagalan, maupun risiko keselamatan dan kesehatan kerja. Oleh karena itu, diperlukan adanya manajemen risiko untuk menentukan penyebab dan kegagalan dari suatu risiko sehingga dapat meminimalisir potensi kerugian yang mungkin terjadi dengan adanya pengendalian risiko tersebut. Saat ini manajemen risiko sudah diaplikasikan pada setiap fasilitas teknis, berbagai kegiatan ekonomi, dan aktivitas industri [3].

PT XYZ merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri kimia dimana dalam proses produksinya PT XYZ banyak menggunakan bahan-bahan kimia yang berbahaya jika langsung dibuang ke lingkungan. Pengelolaan limbah industri, terutama yang mengandung limbah B3 memerlukan metode khusus untuk tempat pengelolaannya, terutama untuk mengisolasi tempat penyimpanan sementara limbah B3 dikarenakan oleh sifat dan dampaknya yang berbahaya [4]. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pasal 275 yang dimaksud dengan pengelolaan limbah B3 meliputi penetapan limbah B3, pengurangan, penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan, penimbunan, dan pembuangan limbah B3. PT XYZ melakukan pengelolaan limbah terutama limbah B3 sampai dengan penyimpanan dan pengumpulan sementara untuk selanjutnya diserahkan pada pihak ketiga



Gambar 1. Diagram Fishbone Pengelolaan B3.



Gambar 2. Diagram Fishbone Pengelolaan Limbah B3.

yang tersertifikasi dan memiliki izin melakukan pengolahan limbah B3. Dalam pengelolaan limbah oleh PT XYZ tersebut tentunya tidak terlepas dari risiko kegagalan yang dapat merugikan baik untuk lingkungan maupun aktivitas industrinya. Masih belum banyak industri yang melakukan penilaian risiko terhadap limbah B3 dikarenakan pada umumnya penilaian risiko hanya dilakukan pada B3 yang digunakan sebagai bahan baku [5].

PT XYZ saat ini sedang berfokus pada pengembangan program efisiensi pengelolaan limbahnya, terutama limbah B3. Oleh karena itu, untuk meningkatkan sistem pengelolaan limbah industri di PT XYZ dan untuk peningkatan aktivitas produksi, diperlukan adanya kajian risiko dengan pendekatan *Failure Mode and Effect Analysis* untuk meminimalisasi risiko kegagalan yang mungkin terjadi pada sistem pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dan limbah B3 tersebut. Metode FMEA adalah teknik analisis risiko kegagalan suatu proses berdasarkan penggabungan teknologi dan pengalaman. Keuntungan metode ini adalah untuk memastikan hasil akhir yang didapat sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, membantu dalam mengidentifikasi risiko kegagalan serta cara mengendalikan atau mengeliminasi potensi bahaya tersebut [6].

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil identifikasi risiko dari pengelolaan Bahan Berbahaya dan

Beracun (B3) dan limbah B3 di PT XYZ dengan menggunakan metode FMEA, serta untuk mendapatkan hasil kajian mitigasi risiko yang dapat dilakukan agar meminimalisasi kerugian yang mungkin terjadi.

II. METODE PENELITIAN

A. Pengumpulan Data

Data-data yang dikumpulkan pada penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan pengamatan secara langsung dan wawancara kepada staf dan manajemen K3L, produksi, dan *maintenance* PT XYZ dengan menggunakan *open-ended question*. Responden pada penelitian ini antara lain staf dan manajer departemen K3L, admin Departemen Produksi, dan *supervisor* Departemen *Maintenance*. Sedangkan data sekunder diperoleh melalui literatur jurnal, laporan penelitian terdahulu, data-data dari perusahaan terkait, serta referensi lainnya yang dapat menjadi pendukung dalam penelitian ini.

B. Analisis Diagram Fishbone

Pada tahap ini dilakukan analisis untuk menemukan penyebab potensial dari potensi kegagalan dengan menggunakan diagram *fishbone*. Pembuatan diagram *fishbone* ini didasarkan pada aspek teknis dan non-teknis.

Tabel 1.
Deskripsi Saka Nilai Severity

Skala Nilai Severity				
1	2	3	4	5
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat besar
Risiko yang ditimbulkan tidak berdampak pada lingkungan dan tidak berpengaruh pada aktivitas industri	Risiko yang ditimbulkan berdampak kecil terhadap lingkungan dan tidak signifikan mempengaruhi aktivitas industri	Risiko yang ditimbulkan berdampak jelas terhadap lingkungan dan sedikit mempengaruhi aktivitas industri	Risiko yang ditimbulkan berdampak signifikan terhadap lingkungan dan sangat mempengaruhi aktivitas industri	Risiko yang ditimbulkan berdampak besar pada lingkungan dan manusia, dan mempengaruhi aktivitas industri dalam jangka waktu panjang
Skala Kondisi Lingkungan				
Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat buruk
Kondisi ideal yang diinginkan untuk dicapai dan tidak berpengaruh terhadap lingkungan	Kondisi membuat timbulnya risiko dapat berpengaruh terhadap lingkungan namun masih dalam batas aman	Kondisi membuat timbulnya risiko menyebabkan gangguan terhadap kondisi lingkungan, masih dalam batas aman	Kondisi membuat timbulnya risiko dapat menyebabkan kritis pada tanah, air, udara, flora & fauna di sekeliling	Kondisi telah jauh dibawah batas aman sehingga timbulnya risiko dapat menyebabkan kematian terhadap manusia, flora & fauna disekeliling pencemaran

Tabel 2.
Batasan Penilaian Occurrence

Peringkat	Occurrence	Probabilitas Kejadian Risiko
1	Tidak pernah	≤ 1 kejadian dalam 1 tahun
2	Jarang	2 – 3 kejadian dalam 1 tahun
3	Cukup sering	4 – 5 kejadian dalam 1 tahun
4	Sering	6 – 8 kejadian dalam 1 tahun
5	Sangat sering	≥ 9 kejadian dalam 1 tahun

Berdasarkan data sekunder dan hasil observasi serta wawancara didapatkan beberpa potensi kegagalan untuk selanjutnya dibuat hubungan antar penyebab potensial pada sistem pengelolaan B3 dan limbah B3 di PT XYZ dalam bentuk diagram *fishbone*. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penyusunan diagram *fishbone* adalah sebagai berikut:

- Membuat kerangka awal diagram *fishbone*.
- Menganalisa data-data yang diperoleh.
- Menentukan masalah yang akan diidentifikasi.
- Menentukan penyebab potensial pada masing-masing kategori masalah dengan teknis diskusi atau *brainstorming*.
- Menggambarkan hubungan antar penyebab dengan diagram *fishbone*.
- Hasil dari diagram *fishbone* ini dapat mempermudah dan memberikan gambaran mengenai penyebab kegagalan yang terjadi dalam sistem pengelolaan sebelum masuk ke tahap FMEA.

C. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Analisis FMEA dilakukan untuk menentukan prioritas risiko yang memerlukan penanganan berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Adapun langkah-langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah sebagai berikut.

1) Identifikasi risiko

Identifikasi risiko dilakukan untuk mengetahui potensi risiko apa saja yang dapat terjadi pada pengelolaan limbah di PT XYZ. Berikut ini tahap-tahap dalam mengidentifikasi risiko.

- Melakukan *review* pada sistem pengelolaan limbah.
- Identifikasi potensi kegagalan.

- Identifikasi penyebab kegagalan.
- Identifikasi efek potensial dari risiko tersebut.

2) Penentuan prioritas risiko

Penentuan prioritas risiko dilakukan untuk mengetahui risiko apa saja yang memiliki dampak bahaya paling besar. Berikut ini tahap-tahap dalam menentukan prioritas risiko.

- Menentukan tingkat *severity* (keparahan) dari potensi risiko yang telah diidentifikasi.
- Menentukan tingkat *occurrence* (frekuensi) kemungkinan kegagalan tersebut dapat terjadi.
- Menentukan tingkat *detection* (deteksi) dari kegagalan tersebut.
- Menghitung *Risk Priority Number* (RPN) dari setiap risiko.

3) Penyusunan upaya pengendalian risiko

Penyusunan skenario pengendalian risiko digunakan sebagai upaya untuk meminimalisasi atau mengeliminasi suatu kejadian yang tidak diinginkan. Penyusunan skenario pengendalian risiko pada penelitian ini dilakukan dengan mendapatkan informasi secara langsung mengenai pengendalian risiko yang sudah dilakukan atau sudah dirancang pihak manajemen dengan metode wawancara *open-ended question*. Selain itu, penyusunan skenario pengendalian risiko dilakukan dengan berdasarkan studi literatur dan nilai RPN yang telah didapatkan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengelolaan B3 dan Limbah B3 PT XYZ

1) Pengelolaan B3

Siklus pengelolaan *raw material* yang termasuk ke dalam Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di PT XYZ dimulai dari impor B3 dari pihak ke-3, lalu melakukan penyimpan B3 di *storage* maupun *warehouse*, selanjutnya apabila *Production Order* sudah keluar maka *raw material* dibawa ke masing-masing plant untuk kemudian masuk ke proses produksi. Adapun Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) yang digunakan antara lain cairan *2-Ethylhexyl Thioglycolate* (2-EHTG), cairan *Dimethylin Dichloride* (DMTDCL), cairan Ammonia (NH₃), gas klor (Cl₂), dan gas *Methyl Chloride* (MeCl), oli, dan solar.

Tabel 3.
Batasan Penilaian *Detection*

Peringkat	Detection	Probabilitas Kejadian Risiko
1	Sangat mudah	Sistem dan tindakan pengawasan yang digunakan memberikan jaminan yang hampir penuh memprediksi kegagalan mesin dan peralatan serta perlindungannya terhadap terjadinya risiko lingkungan
2	Mudah	Sistem dan tindakan pengawasan yang digunakan memberikan peluang yang baik untuk memprediksi kegagalan mesin dan peralatan serta perlindungannya terhadap risiko lingkungan
3	Cukup sulit	Sistem dan tindakan pengawasan yang digunakan memungkinkan untuk memprediksi kegagalan mesin dan peralatan serta perlindungannya terhadap risiko lingkungan pada skala kecil
4	Sulit	Sistem dan tindakan pengawasan yang digunakan tidak mampu memprediksi kegagalan mesin dan peralatan serta perlindungannya terhadap risiko lingkungan
5	Sangat sulit	Tidak ada sistem dan tindakan pengawasan yang tersedia untuk memprediksi kegagalan mesin dan peralatan serta perlindungannya terhadap risiko lingkungan

2) Pengelolaan Limbah B3

Siklus pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di PT XYZ dimulai dari pengumpulan limbah B3, penyimpanan sementara limbah B3, dan pengangkutan limbah B3 oleh pihak ke-3 yang memiliki izin.

a. Pengumpulan limbah B3

Limbah cair yang dihasilkan masing-masing Plant selanjutnya akan masuk ke sump pit terlebih dahulu sebelum masuk ke TPS B3. Limbah cair dari MTS Plant, yaitu berupa Ammonium Hidroksida akan dialirkan melalui pipa bawah tanah untuk selanjutnya masuk ke separator sebelum masuk ke bak penampung di TPS B3. Separator berfungsi untuk memisahkan sisa produk yang tercampur kedalam limbah. Selanjutnya limbah cair (Ammonium Hidroksida) akan dialirkan ke bak penampung. Sedangkan, limbah cair dari sump pit Intermediate dan SnCl akan dikemas kedalam IBC/Tote dengan cara dipompa, setelah itu diangkut menggunakan forklift dan disimpan di TPS B3.

Limbah padat B3 dipilah dan dikumpulkan dalam masing-masing tempat sampah sesuai dengan jenis limbahnya. Apabila tempat sampah sudah penuh, selanjutnya limbah padat yang telah dikemas di dalam kantong sampah akan disimpan di TPS B3. Setiap kegiatan laboratorium dan Plant yang menghasilkan limbah B3, wajib mencatat limbah B3 yang dihasilkannya. Adapun data yang dicatat dalam form pencatatan limbah B3 adalah nama jenis limbah, data masuk (tanggal, jumlah, dan petugas), data keluar (petugas dan tanggal), sumber limbah, dan jumlah limbah. Pencatatan ini dilakukan oleh setiap petugas yang akan mengirim limbah B3 ke TPS.

b. Penyimpanan limbah B3

Limbah B3 yang telah dikumpulkan dan dipilah selanjutnya disimpan di Tempat Penyimpanan Sementara Bahan Berbahaya dan Beracun (TPS B3). TPS B3 PT XYZ memiliki luas sebesar 2213,36 m² yang terbagi menjadi 2 bagian utama, yaitu TPS limbah cair B3 dan TPS limbah padat B3.

c. Pengangkutan limbah B3

Pengangkutan limbah B3 dilakukan oleh perusahaan yang telah memiliki izin dari Departemen Perhubungan dan Kementerian Lingkungan Hidup Kehutanan (KLHK). Petugas pengelola limbah B3 wajib memastikan kendaraan pengangkut memiliki izin pengangkutan jenis limbah B3 yang sesuai dan wajib melakukan pengisian manifest pengangkutan limbah B3.

Sedangkan, untuk penanganan limbah B3 dilakukan oleh perusahaan pengelola limbah B3 (pemanfaat, pengolah dan pemusnah) yang telah memiliki izin dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).

B. Analisis Diagram Fishbone

Diagram *fishbone* digunakan untuk mempermudah dalam mengidentifikasi secara detail semua penyebab potensial dari potensi kegagalan pengelolaan B3 dan limbah B3. Pembuatan diagram *fishbone* dibuat berdasarkan hasil observasi langsung di lapangan dan wawancara oleh pihak-pihak perusahaan yang berkaitan dengan B3 dan limbah B3. Selain itu, pembuatan diagram *fishbone* ini juga dilakukan berdasarkan data sekunder pengelolaan B3 dan limbah B3 di PT XYZ. Permasalahan yang dimasukkan ke dalam diagram *fishbone* ini merupakan hasil dari identifikasi risiko. Terdapat dua aspek yang digunakan dalam mengidentifikasi penyebab potensial dalam diagram *fishbone*, yaitu aspek teknis dan aspek non-teknis.

1) Diagram Fishbone Pengelolaan B3

Berdasarkan data sekunder dan hasil wawancara didapatkan bahwa item-item yang berpotensi mengalami kegagalan dalam pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di PT XYZ adalah pada bahan baku produksi, yaitu cairan 2-EHTG, cairan ammonia (NH₃), oli, DMTDCL, solar, MeCl, dan gas klor. Diagram Fishbone pengelolaan B3 dapat dilihat pada Gambar 1. Adapun penjelasan terkait potensi kegagalan dan penyebab potensial pada masing-masing item tersebut adalah sebagai berikut.

a. Cairan Amonia (NH₃)

Berdasarkan hasil wawancara dengan departemen K3L, diketahui bahwa pernah terjadi kegagalan berupa tumpahan/kebocoran material NH₃ beserta gas/uapnya ke lingkungan sekitar. Risiko ini berpotensi menyebabkan gangguan pada proses produksi, pencemaran tanah dan udara, serta gangguan pernapasan dan iritasi mata. Penyebab potensial dari kegagalan ini antara lain, kebocoran pada selang transfer Ammonia (NH₃) dan kegiatan *maintenance*.

b. Cairan 2-EHTG

Berdasarkan hasil wawancara dengan departemen produksi, diketahui bahwa seringkali terjadi ceceran atau tumpahan cairan 2-EHTG di plant MTS (Metil Tin Stabilizer), terutama saat penginjeksian raw material. Risiko ini berpotensi menyebabkan gangguan pada proses produksi dan hasil produksi, serta pencemaran tanah.

Tabel 4.
Hasil Perhitungan Nilai RPN Pengelolaan B3

Item / Unit	Potensi Kegagalan	Dampak Potensial dari Kegagalan	S	Penyebab Potensial dari Kegagalan	O	D	RPN
Cairan NH ₃	Tumpahan material NH ₃	Pencemaran tanah dan udara	3	Kegiatan maintenance	2	2	12
				Selang transfer NH ₃	1	1	3
Cairan 2-EHTG	Tumpahan <i>raw material</i> 2-EHTG	Pencemaran tanah	2	Selang transfer	4	4	32
Oli	Tumpahan atau ceceran oli	Kebakaran, pencemaran tanah	3	Kegiatan maintenance	5	5	75
DMTDCL	Tumpahan <i>raw material</i> DMTDCL	Pencemaran tanah	2	Sambungan reaktor/pipa	5	5	50
Solar (BBM)	Tumpahan atau ceceran solar	Kebakaran, pencemaran tanah	2	Selang transfer	4	4	32
Gas klorin	Kebocoran gas klorin	Pencemaran udara	3	Tabung gas klorin di gudang klorin	1	1	3
				Kegiatan maintenance	2	2	12
Gas Methyl Chloride	Kebocoran gas MeCl	Kebakaran, pencemaran udara	4	Selang transfer di <i>storage</i> MeCl	1	1	4

Berdasarkan Material Safety Data Sheet (MSDS), 2-Ethylhexyl Thyoglicolate memiliki klasifikasi bersifat iritasi dan berbahaya bagi lingkungan. Penyebab potensial dari kegagalan ini adalah saat transfer atau penginjeksian secara manual *raw material* 2-EHTG dari kemasan ke reaktor.

c. Oli

Berdasarkan hasil wawancara dengan departemen K3L dan juga departemen *maintenance*, diketahui bahwa kebocoran/tumpahan/ceceran oli di plant ataupun di workshop merupakan hal yang sulit dihindari. Risiko ini berpotensi menyebabkan kebakaran, pencemaran tanah, dan menghambat proses produksi. Penyebab potensial kegagalan ini adalah kegiatan *maintenance*.

d. Dimethyltin Dichloride (DMTDCL)

Berdasarkan hasil wawancara dengan departemen K3L dan juga departemen produksi, diketahui bahwa kebocoran/tumpahan/ceceran DMTDCL pada proses produksi merupakan hal yang sulit dihindari. Risiko ini berpotensi menyebabkan gangguan pada proses produksi dan hasil produksi, serta pencemaran tanah. Berdasarkan Material Safety Data Sheet (MSDS), Dimethyltin dichloride berbahaya bagi lingkungan karena memiliki karakteristik beracun, korosif, persisten dan bersifat karsinogenik. Paparan Dimethyltin dichloride dapat menyebabkan iritasi mata, kulit, saluran pernapasan, kerusakan hati dan ginjal, gangguan saraf hingga kanker. Penyebab potensial kegagalan ini adalah pada sambungan reaktor/pipa di plant.

e. Solar

Berdasarkan data sekunder, diketahui bahwa solar berpotensi mengalami tumpahan/ceceran di sekitar storage solar dan berisiko menyebabkan kebakaran dan pencemaran tanah. Berdasarkan hasil observasi, penyebab potensial kegagalan ini adalah pada selang transfer solar.

f. Gas Methyl Chloride

Berdasarkan data sekunder, diketahui bahwa gas Methyl Chloride berpotensi mengalami kebocoran pada storage MeCl dan berisiko menyebabkan kebakaran. Berdasarkan Material Safety Data Sheet (MSDS), Methyl chloride (MeCl) memiliki karakteristik mudah terbakar dan berbahaya bagi lingkungan. Berdasarkan hasil observasi, penyebab potensial kegagalan ini adalah pada selang transfer MeCl.

g. Gas Klorin

Berdasarkan data sekunder, diketahui bahwa gas klorin berpotensi mengalami kebocoran pada gudang klorin dan

berpotensi keluarnya gas klor ke lingkungan pada proses produksi di plant. Risiko ini berpotensi menyebabkan pencemaran udara. Berdasarkan *Material Safety Data Sheet* (MSDS), gas klorin memiliki karakteristik oksidator kuat, bersifat racun dan berbahaya bagi lingkungan. Klorin dalam bentuk produk kimia buatan menimbulkan dampak lingkungan seperti penipisan lapisan ozon dan pemanasan global [7]. Berdasarkan data sekunder, penyebab potensial kebocoran gas di gudang klorin terletak pada tabung gas klor. Sedangkan, penyebab potensial keluarnya gas klor ke lingkungan saat di plant, berdasarkan hasil wawancara adalah akibat kegiatan *maintenance*.

2) Diagram Fishbone Pengelolaan Limbah B3

Berdasarkan data sekunder, hasil observasi dan wawancara didapatkan bahwa tahapan pengelolaan limbah B3 yang berpotensi mengalami kegagalan dalam pengelolaan limbah B3 di PT XYZ adalah pada pengumpulan limbah B3, penyimpanan limbah B3, dan pengangkutan limbah B3. Diagram fishbone pengelolaan limbah B3 dapat dilihat pada Gambar 2. Adapun penjelasan potensi kegagalan dan penyebab potensial pada masing-masing item tersebut adalah sebagai berikut.

a. Pengumpulan limbah B3

Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak K3L dan hasil observasi, diketahui terdapat dua potensi kegagalan pada tahap pengumpulan limbah B3, yaitu potensi tumpahan atau ceceran limbah B3 saat pemindahan dari sump pit ke kemasan limbah B3 (IBC/Tote) dan potensi kebocoran pada pipa transfer limbah B3 (Ammonium Hidroksida) dari *sump pit plant* MTS (Metil Tin Stabilizer) ke bak penampung di TPS B3. Adapun penyebab potensial dari kegagalan transfer limbah cair B3 dari sump pit ke IBC/tote antara lain, kelalaian petugas saat pengisian IBC/tote sehingga limbah keluar dari kemasan, kebocoran selang transfer saat pemompaan limbah ke kemasan, dan ceceran dari mulut selang transfer. Sedangkan, penyebab potensial dari kegagalan transfer limbah cair B3 dari sump pit ke TPS adalah kondisi pipa transfer.

Limbah cair dari *sump pit* MTS Plant akan dialirkan melalui pipa bawah tanah langsung menuju bak penampung limbah cair di TPS B3. Berdasarkan hasil wawancara, diketahui bahwa tidak pernah dilakukan pemeriksaan kebocoran pada pipa dari berbagai faktor. Sedangkan,

Tabel 5.
Hasil Perhitungan Nilai RPN Pengelolaan Limbah B3

Item / Unit	Potensi Kegagalan	Dampak Potensial dari Kegagalan	S	Penyebab Potensial dari Kegagalan	O	D	RPN
Pengumpulan limbah B3	Tumpahan atau ceceran limbah B3	Pencemaran tanah dan udara	2	Kelalaian petugas	2	2	8
				Selang transfer	1	1	2
				Ceceran dari mulut selang transfer	3	3	18
	Kebocoran pipa transfer limbah B3	Pencemaran tanah dan air	4	Kondisi pipa	2	2	16
Penyimpanan limbah B3	Kebocoran bak penampung limbah cair B3 (Ammonium Hidroksida)	Pencemaran air dan tanah	3	Kerusakan pada dinding bak penampung	2	2	12
				Keluarnya gas/uap Ammonium Hidroksida	5	5	50
				Kontainer berisi limbah cair B3 berada di luar TPS	3	3	27
				Tumpahan atau ceceran limbah B3 dari kemasan bekas B3	3	3	27
Pengangkutan limbah B3 oleh pihak ke-3	Tumpahan atau ceceran limbah cair B3 saat pengangkutan	Pencemaran tanah dan udara	3	Kondisi pipa transfer	2	2	12

berdasarkan hasil observasi dan wawancara, pernah terjadi kasus pada bak pengolahan limbah yang ditanam di bawah tanah naik ke permukaan tanah yang disebabkan oleh faktor geologi.

b. Penyimpanan limbah B3

Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak K3L dan hasil observasi, didapatkan tiga potensi kegagalan pada tahap penyimpanan limbah B3, yaitu potensi kebocoran bak penampung limbah cair Ammonium Hidroksida, potensi keluarnya gas/uap Ammonium Hidroksida ke lingkungan, potensi penyimpanan kontainer berisi limbah cair B3 di luar TPS B3, dan potensi terjadinya tumpahan/ceceran limbah B3 dari kemasan bekas B3. Adapun penyebab potensial dari kegagalan bak penampung limbah cair Ammonium Hidroksida antara lain kerusakan pada dinding bak penampung yang berpotensi menyebabkan kebocoran limbah B3 dan pencemaran tanah, serta bak penampung tidak tertutup yang berpotensi menyebabkan timbul bau, pencemaran udara, dan gangguan pernapasan. Sedangkan, penyebab potensial dari potensi kegagalan penyimpanan limbah cair B3 lainnya adalah kapasitas TPS tidak sesuai dengan jumlah limbah yang dihasilkan sehingga berpotensi menyebabkan kemasan limbah cair B3 berada di luar TPS.

Sedangkan, penyebab potensial dari potensi kegagalan limbah padat B3 yang tidak berada di TPS B3 adalah kapasitas TPS tidak sesuai dengan jumlah limbah yang dihasilkan. Hal ini berpotensi menyebabkan kemasan-kemasan B3 bekas yang rusak dan masih terdapat sisa-sisa B3 atau limbah B3 untuk tumpah ke lingkungan dan menyebabkan pencemaran tanah dan udara.

c. Pengangkutan limbah B3

Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak K3L dan hasil observasi, didapatkan potensi kegagalan pada tahap pengangkutan limbah B3 adalah potensi terjadinya tumpahan/ceceran limbah cair B3 saat pemindahan dari bak penampung ke mobil tangki pihak ke-3. Penyebab potensial dari kegagalan ini adalah pada kondisi pipa transfer, yaitu pada sambungan antara pipa transfer dengan pipa mobil tangki, dan kondisi penyangga pipa transfer yang berkarat

dan terlihat rapuh. Risiko ini berpotensi menyebabkan pencemaran tanah dan udara, serta kerusakan fasilitas akibat korosi. Berdasarkan hasil observasi, didapatkan kondisi penyangga pipa transfer sudah berkarat dan terlihat rapuh.

C. Failure Mode and Effect Analysis

Berdasarkan hasil data diagram fishbone, selanjutnya dilakukan analisis risiko dengan menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Potensi kegagalan dan penyebab potensial dianalisis dengan memberikan bobot pada masing-masing kegagalan berdasarkan tingkat keparahan atau keseriusan (severity), frekuensi kejadian (occurrence), dan tingkat deteksi (detection). Selanjutnya dari ketiga nilai tersebut akan menghasilkan nilai Risk Priority Number (RPN). Dalam analisis FMEA ini, penilaian severity, occurrence, dan detection dikaji dalam skala 1-5.

1) Penentuan Nilai Severity (S)

Nilai severity (S) adalah nilai tingkat keparahan atau keseriusan masalah yang disebabkan dari potensi kegagalan. Penentuan nilai severity dilakukan berdasarkan hasil observasi dan wawancara maupun dari data sekunder dengan membandingkan skala kondisi ekisting dengan kondisi ideal, dimana untuk skala kondisi sangat baik menunjukkan nilai severity sangat kecil, yaitu 1, dan seterusnya. Skala nilai severity pada penelitian ini dibuat masing-masing sesuai dengan faktor-faktor kemungkinan yang mempengaruhi sistem pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dan limbah B3. Penjabaran terkait deskripsi skala besaran nilai severity dapat dilihat pada Tabel 1.

2) Penentuan Nilai Occurrence (O)

Occurrence (O) merupakan penentuan nilai peringkat yang sesuai dengan estimasi jumlah frekuensi atau jumlah kumulatif kegagalan yang terjadi yang disebabkan oleh penyebab tertentu [8].

Penentuan nilai *occurrence* (O) dalam penelitian ini mempertimbangkan banyaknya kegagalan yang terjadi pada pengelolaan B3 dan limbah B3 di PT XYZ. Adapun

penentuan batasan penilaian *occurrence* (O) dapat dilihat pada Tabel 2.

3) Penentuan Nilai *Detection* (D)

Nilai *Detection* (D) merupakan penentuan nilai kontrol proses yang akan mendeteksi akar penyebab potensi kegagalan [8].

Penentuan nilai *detection* dilakukan berdasarkan nilai *occurrence*, semakin sering kegagalan terjadi maka metode pencegahan semakin tidak efektif. Berikut ini merupakan acuan penilaian *detection*. Penentuan batasan penilaian *detection* dapat dilihat pada Tabel 3.

4) Penentuan Risk Priority Number (RPN)

Setelah menentukan nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*, maka dapat dihitung nilai Risk Priority Number (RPN) pada pengelolaan B3 dan pengelolaan limbah B3. Nilai RPN merupakan hasil perkalian dari *severity*, *occurrence*, dan *detection* [8]. Berikut merupakan persamaan matematis RPN

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

Adapun hasil analisis FMEA dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Berdasarkan analisis FMEA dapat diketahui bahwa potensi kegagalan pada pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di PT XYZ yang memiliki nilai RPN tertinggi terjadi pada item Oli nilai RPN sebesar 75. Jika dilihat berdasarkan tingkat keparahannya (*severity*) risiko ini tidak berdampak secara signifikan terhadap lingkungan maupun aktivitas industrinya. Namun, risiko ini memiliki frekuensi kejadian yang sangat sering, sehingga nilai RPN-nya menjadi cukup tinggi.

Tumpahan/cecera oli di plant dan workshop merupakan hal yang tidak dapat dihindari terutama saat kegiatan *maintenance*. Penanganan tumpahan/cecera oli dilakukan dengan membersihkan tumpahan menggunakan spill kit. Berdasarkan SOP Tanggap Darurat terkait cecera/kebocoran B3 dan limbah B3, segala kejadian cecera/kebocoran harus dicatat dan melaporkan ke Departemen K3L, namun berdasarkan hasil wawancara dengan pihak K3L, cecera/kebocoran oli seringkali tidak dicatat dikarenakan kejadian yang terus berulang dan dalam skala kecil. Sedangkan, potensi kegagalan pada pengelolaan limbah B3 yang memiliki nilai RPN tertinggi terjadi pada bak penampung limbah cair B3 (Ammonium Hidroksida) dengan dampak potensial berupa timbul bau dan penyebab potensialnya adalah bak penampung tidak tertutup. Adapun nilai RPN dari potensi kegagalan ini adalah 50. Ammonium Hidroksida bersifat korosif dan berpotensi mengganggu sistem pernapasan.

Berdasarkan MSDS (*Material Safety Data Sheet*), Ammonium Hidroksida memiliki karakteristik bersifat racun dan korosif, sehingga penyimpanan Ammonium Hidroksida haruslah tertutup dan berada di tempat dengan sistem ventilasi yang baik. Berdasarkan hasil observasi, bak penampung limbah Ammonium Hidroksida tidak tertutup sehingga gas/uapnya langsung keluar ke lingkungan. Hal ini berpotensi menyebabkan pencemaran udara di lingkungan perusahaan, terutama saat volume limbah Ammonium Hidroksida tinggi.

D. Mitigasi Risiko

Berdasarkan analisis FMEA di atas, nilai RPN terbesar merupakan prioritas dalam melakukan tindakan perbaikan. Tujuan dari pemberian mitigasi yaitu untuk memperbaiki kualitas pengendalian pengelolaan B3 dan limbah B3 di perusahaan dan untuk mengatasi adanya risiko dampak kegagalan selanjutnya.

1) Mitigasi Risiko Pada Pengelolaan B3

a. Risiko tumpahan/cecera oli

Mengisolasi area yang rawan terjadi tumpahan saat kegiatan *maintenance*, menjauhkan sumber api dan listrik dari area rawan terkena tumpahan, dan membersihkan lantai kerja *workshop* dan plant.

b. Risiko tumpahan *raw material* DMTDCL

Menjadwalkan *maintenance* untuk reaktor berdasarkan banyaknya siklus operasi. Selain itu, diperlukan adanya pemeriksaan rutin terhadap kondisi alat/mesin

c. Risiko tumpahan/cecera cairan 2-EHTG

Mengevaluasi sistem penginjeksian *raw material*, memastikan sambungan selang terpasang dengan sempurna saat penginjeksian *raw material*, dan meningkatkan kesadaran petugas mengenai bahaya B3.

d. Risiko tumpahan/cecera solar

Melakukan pemeriksaan dan pembersihan selang transfer, memastikan sambungan selang sudah terpasang dengan sempurna saat sebelum melakukan transfer, membersihkan lantai *storage*, serta menjauhkan sumber api dan listrik.

e. Risiko keluarnya material NH₃ akibat kegiatan *maintenance*

Mengisolasi area saat sedang dilakukan kegiatan *maintenance storage* NH₃, pekerja menggunakan APD sesuai standar dengan penggunaan yang benar, membuat saluran pembuangan dan bak penampung tumpahan di sekitar *storage* NH₃

f. Risiko keluarnya gas klor ke lingkungan akibat kegiatan *maintenance*

Melakukan *maintenance* pada scrubber secara berkala agar scrubber bekerja secara optimal.

g. Risiko kebocoran gas klor

Melakukan pengecekan rutin kondisi tabung gas dan gudang klorin, memasang detektor gas di gudang klorin.

h. Risiko tumpahan NH₃ akibat selang transfer NH₃

Melakukan pemeriksaan terhadap selang transfer dan sambungannya sesaat sebelum melakukan transfer NH₃ dari mobil tangki.

2) Mitigasi Risiko Pada Pengelolaan Limbah B3

a. Risiko keluarnya gas/uap Ammonium Hidroksida ke lingkungan

Memberi penutup pada bak penampung Ammonium Hidroksida.

b. Risiko limbah cair B3 lainnya berada di luar TPS

Menjadwalkan mainte pengangkutan limbah B3 secara berkala saat aktivitas produksi sedang tinggi.

c. Risiko tumpahan limbah B3 ke lingkungan

Menjadwalkan pengangkutan limbah B3 secara berkala, melakukan penyimpanan limbah B3 yang terlindung dari hujan dan tertutup, serta memastikan kemasan sudah kosong dan sudah dilakukan pencucian apabila kemasan bekas B3 akan dimanfaatkan kembali.

d. Risiko ceceran/tumpahan limbah B3 dari mulut selang transfer

Memasang sistem penangkapan darurat, seperti saluran penampung tumpahan limbah B3, membersihkan tumpahan dengan *spill kit* atau absorben.

e. Risiko kebocoran pipa transfer Ammonium Hidroksida

Melakukan pengecekan kualitas tanah dan air sebagai salah satu upaya untuk mendeteksi kebocoran pipa, melakukan pengecekan terhadap kondisi pipa, dan meningkatkan deteksi kebocoran.

f. Risiko tumpahan limbah cair B3 saat transfer ke truk tangki pihak ke-3

Mengganti alat/mesin yang sudah rusak atau dalam kondisi yang buruk, mengganti penyangga pipa yang sudah mengalami korosi.

g. Risiko kebocoran limbah cair B3 dari bak penampung

Melakukan pemeriksaan berkala terhadap kondisi bak penampung.

h. Risiko ceceran/tumpahan limbah B3 akibat kebocoran selang transfer

Melakukan pemeriksaan terhadap selang transfer sebelum dan sesudah digunakan, memastikan selang terpasang dengan benar dan sambungan antara selang dengan peralatan transfer limbah B3 terpasang sedang benar dan aman, dan melakukan pemantauan rutin terhadap selang transfer untuk mendeteksi kerusakan atau kebocoran

IV. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapat, yaitu: (1) Berdasarkan hasil analisis didapatkan bahwa risiko lingkungan pada pengelolaan B3 dan Limbah B3 secara umum adalah terjadinya tumpahan dan kebocoran B3/Limbah B3. Hasil identifikasi. Hasil identifikasi risiko lingkungan pada pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di PT XYZ adalah terjadinya tumpahan/ceceran B3, keluarnya material B3 beserta gasnya ke lingkungan, dan kebocoran gas. Sedangkan hasil identifikasi risiko lingkungan pada pengelolaan Limbah B3 di PT XYZ adalah terjadinya tumpahan/ceceran limbah B3, kebocoran limbah B3, keluarnya gas/uap limbah B3 ke lingkungan, dan penyimpanan limbah B3 tidak sesuai peraturan. (2)

Berdasarkan hasil identifikasi risiko yang didapatkan, diusulkan mitigasi risiko berupa *engineering control*, perbaikan manajemen, dan peningkatan deteksi kegagalan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak PT XYZ yang telah membantu penulis dalam memperoleh data-data penelitian dan juga penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing dan memberikan banyak saran kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Pramvisi and T. M. Azis Pandria, "Analisis manajemen risiko kesehatan dan keselamatan kerja pengelolaan limbah di PT. Socfindo dengan Metode HIRARC," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 7, no. 3, pp. 3534–3539, Jul. 2022, doi: 10.32672/JSE.V7I3.4547.
- [2] F. R. Min Ibad and M. D. D. Cahyo Putra, "Penerapan manajemen risiko pada pengelolaan limbah pabrik tahun XYZ menggunakan ISO 31000," *Jurnal Teknologi dan Terapan Bisnis*, vol. 4, no. 1, pp. 18–25, Apr. 2021, doi: 10.0301/jtb.v4i1.98.
- [3] M. Łój-Pilch and A. Zakrzewska, "Analysis of risk assessment in a municipal wastewater treatment plant located in upper Silesia," *Water* 2020, Vol. 12, Page 23, vol. 12, no. 1, p. 23, Dec. 2019, doi: 10.3390/W12010023.
- [4] A. Nursabrina, T. Joko, and O. Septiani, "Kondisi pengelolaan limbah B3 industri di Indonesia dan potensi dampaknya: Studi literatur," *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes*, vol. 13, no. 1, pp. 80–90, Aug. 2021, doi: 10.34011/juriskesbdg.v13i1.1841.
- [5] F. Sulaiman, A. Ridwan, P. F. Ferdinant, and B. Rofi, "Rancangan penilaian risiko limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dengan pendekatan Hazard Identification Risk Assessment (HIRA)," *FLYWHEEL: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, vol. 1, no. 1, pp. 44–50, Oct. 2019, doi: 10.36055/FWL.V1I1.6446.
- [6] F. R. Shinta, N. Karnaningroem, and M. A. Mardiyanto, "Risk management of wastewater treatment in the wastewater treatment plant of PT. X," *IPTEK Journal of Proceedings Series*, vol. 0, no. 5, p. 140, Dec. 2019, doi: 10.12962/j23546026.y2019i5.6292.
- [7] A. Hasan, "Dampak penggunaan klorin," *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 7, no. 1, pp. 90–96, 2006, doi: doi.org/10.29122/jtl.v7i1.369.
- [8] A. Rachman, H. Adianto, and G. P. Liansari, "Perbaikan kualitas produk ubin semen menggunakan metode failure mode and effect analysis dan failure tree analysis di institusi keramik," *REKA INTEGRAL*, vol. 4, no. 2, pp. 24–35, 2016.