

PERENCANAAN PENGENDALIAN RISIKO BAHAYA PADA AKTIVITAS KERJA WATER TREATMENT PLANT MENGUNAKAN BOW TIE ANALYSIS

Katon Bagas Fathovani¹⁾, Supriyadi^{2)*}, Ahmad Nalhadi³⁾

^{1,2,3)}Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Serang Raya
Email : supriyadi@unsera.ac.id

Abstrak. Aktivitas pekerjaan pada *water treatment plant* demineralisasi mempunyai risiko yang besar karena wajib menggunakan alat pelindung diri yang lengkap dan khusus. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan penilaian risiko dan memberikan rekomendasi pencegahan pada pekerjaan di area *water treatment plant* demineralisasi. Penelitian ini menggunakan metode *Hazard Identification Risk Assessment* dan *Bow Tie Analysis* untuk mendapatkan analisa penyebab dan konsekuensi dari pekerjaan yang dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan 2 kegiatan dalam kategori sedang, 4 kegiatan dalam kategori berat dan 2 kegiatan termasuk tingkat yang tidak dapat diterima. Pengendalian bahaya yang dapat dilakukan dengan melakukan pekerjaan sesuai dengan SOP yang berlaku, penerbitan SIKa (surat ijin kerja aman) dan formulir JSA (*Job safety analysis*) untuk memastikan pekerjaan sudah dalam kondisi aman serta perlu melakukan pengawasan terhadap pemakaian APD (Safety glass, safety helm, safety gloves, masker, ear plug, safety shoes). Pengendalian juga dapat dilakukan dengan cara perencanaan pemeliharaan dan penggantian peralatan kerja sesuai dengan umur pemakaian, dan perencanaan pembersihan secara rutin agar tidak menimbulkan bahaya yang berkelanjutan. Penelitian ini memberikan langkah terstruktur dalam identifikasi risiko sehingga dapat memberikan rekomendasi pencegahan risiko yang lebih relevan.

Kata Kunci: *Bow Tie Analysis, Hazard Identification Risk Assessment; Pengendalian Risiko; Water Treatment Plant Demineralisasi*

PENDAHULUAN

Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) mencakup identifikasi, penilaian, dan pengendalian bahaya dan risiko di tempat kerja, serta peningkatan kesejahteraan pekerja. Manajemen K3 melibatkan penerapan langkah-langkah yang sistematis dan komprehensif untuk memastikan lingkungan kerja yang aman dan sehat (Escorcia et al., 2018). Sistem manajemen K3 sangat penting untuk mengawasi kegiatan di tempat kerja, mengurangi risiko, dan mencegah insiden seperti kecelakaan dan penyakit akibat kerja (Rohim & Hardaningrum, 2022). Penerapan sistem manajemen K3 bertujuan untuk meminimalkan kecelakaan kerja dan meningkatkan kesejahteraan karyawan, sehingga berdampak positif pada kinerja dan produktivitas (Jespersen et al., 2016; Nielsen et al., 2010).

Penyebab utama kecelakaan kerja adalah tindakan tidak aman dan kondisi tidak aman (Fu et al., 2020). Faktor lingkungan kerja merupakan salah satu penyebab terjadinya kecelakaan kerja (Damayanti & Nalhadi, 2017; Supriyadi et al., 2015). Masyarakat seringkali hanya melihat kecelakaan atau tindakan tidak

aman. Namun, kelemahan dalam kemampuan keselamatan manusia dan budaya keselamatan sering kali diabaikan. Budaya keselamatan telah diakui sebagai faktor penting dalam mempengaruhi keadaan keselamatan kerja, yang memberikan karakterisasi global dari beberapa prakondisi perilaku umum untuk bencana dan kecelakaan dalam sistem sosio-teknis yang berisiko tinggi (Filomena & Picchio, 2024). Pengelolaan manajemen kecelakaan kerja melalui ketepatan pengelolaan risiko diharapkan mampu meminimalkan potensi risiko yang terjadi, peningkatan produktivitas dan penurunan biaya kecelakaan kerja (Saputra et al., 2016).

Water Treatment Plant Demineralisasi merupakan suatu proses untuk mengubah air bersih (*fresh water*) menjadi air demin yang banyak dimanfaatkan untuk keperluan industri. Dalam setiap proses operasi yang ada di *water treatment plant demineralisasi* terdapat pekerjaan yang mewajibkan penggunaan APD khusus dan lengkap seperti di area proses *ultrafiltration, reverse osmosis, dan mixed bed polisher*. Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak management, selama tahun 2022 telah terjadi 14 kasus kecelakaan yang

mengakibatkan hilangnya jam kerja yang disebabkan oleh kurangnya penggunaan APD (Alat Pelindung Diri), dan *mismanagement* yang artinya manajemen belum maksimal dalam melakukan upaya pencegahan kecelakaan kerja seiring dengan kegiatan manajemen perusahaan.

Penelitian ini mencoba memberikan solusi permasalahan melalui pengendalian risiko dengan menggunakan metode *Hazard Identification Risk Assessment* (HIRA) dan *Bow Tie Analysis* (BTA). HIRA adalah pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi potensi bahaya dan menilai risiko (Chartres et al., 2019; Wells, 1997). Tujuan utama HIRA adalah untuk memberikan wawasan tentang potensi bahaya dan risiko yang terkait, membantu para pengambil keputusan mengembangkan strategi yang efektif untuk mengelola dan memitigasi risiko (Khan et al., 2015). *Bow Tie Analysis* adalah alat analisis dan manajemen risiko yang memberikan pendekatan terstruktur untuk memahami dan mengelola risiko dengan merepresentasikan secara visual hubungan antara potensi bahaya, penyebabnya, dan konsekuensi yang ditimbulkan. *Diagram Bow Tie*, yang menyerupai bentuk dasi kupu-kupu, terdiri dari simpul tengah yang mewakili kejadian berbahaya, sisi kiri mewakili faktor penyebab, dan sisi kanan mewakili potensi konsekuensi atau hasil dari kejadian tersebut (Culwick et al., 2016; Merrett et al., 2019). Metode ini merupakan pendekatan yang kuat untuk analisis risiko, yang secara efektif menggambarkan skenario risiko yang kompleks dalam bentuk grafis dan menggambarkan hubungan antara penyebab kejadian buruk dan potensi eskalasi kerugian dan kerusakan (Georgousoglou et al., 2022). *Diagram Bow Tie* memberikan visualisasi yang mudah dipahami tentang potensi bahaya, penyebab, dan konsekuensinya, memfasilitasi pengembangan langkah-langkah pengendalian risiko yang efektif dan meningkatkan keselamatan dan keandalan secara keseluruhan di berbagai industri (Hughes et al., 2018; Muniz et al., 2018).

HIRA meskipun banyak digunakan, namun beberapa studi menunjukkan keterbatasan metode HIRA antara lain subjektivitas dan tingkat bias (Tixier et al., 2002), kurangnya cakupan yang komprehensif (Hadeef et al., 2020), cakupan analisis terbatas (Chartres et al., 2019), tingkat integrasi

(Hefaidh et al., 2020), kompleksitas dalam penerapan (Chastain et al., 2017), kurangnya standardisasi (Chartres et al., 2019) dan pertimbangan terbatas atas risiko dinamis (Sunaryo & Hamka, 2017). *Bow Tie Analysis* adalah alat analisis dan manajemen risiko yang memberikan representasi visual dari potensi bahaya, penyebab, dan konsekuensinya. Metode ini menyerupai bentuk dasi kupu-kupu, dengan simpul tengah mewakili kejadian berbahaya, sisi kiri mewakili faktor penyebab, dan sisi kanan mewakili potensi konsekuensi atau hasil dari kejadian tersebut. *Bow Tie Analysis* menggabungkan analisis pohon kejadian dan analisis pohon kesalahan, sehingga memungkinkan pemahaman yang komprehensif tentang skenario risiko yang kompleks. Metode *Bow Tie Analysis* (BTA) yang dapat memperbaiki metode HIRA terkait dengan tingkat visualisasi yang komprehensif (Georgousoglou et al., 2022; Muniz et al., 2018), analisis kuantitatif (Li et al., 2016), tingkat integrasi (Galetakis et al., 2022), mengatasi risiko dinamis (Galetakis et al., 2022), standarisasi dan aplikasi (Saud et al., 2014), pendekatan yang berpusat pada hambatan (*barrier-centric approach*) (Pitblado & Weijand, 2014), kerangka kerja prognostik risiko (Vileiniskis & Remenyte-Prescott, 2017), dan mitigasi risiko dan logika fuzzy (Acarbay & Kiyak, 2020).

METODE

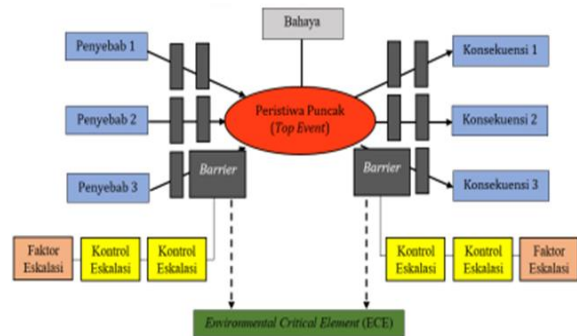
Penelitian ini berfokus pada penilaian dan pengendalian risiko dengan menggunakan metode HIRA dan BTA. HIRA digunakan untuk identifikasi bahaya dan analisis risiko. BTA digunakan untuk menganalisis risiko dan memberikan rekomendasi pencegahan dan penanggulangan. Integrasi metode ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi untuk meminimalkan tingkat kecelakaan yang mungkin akan terjadi.

Tahap pengumpulan data merupakan tahap mengumpulkan informasi yang akan berhubungan dengan kasus yang didapat. Berdasarkan cara memperoleh informasi penelitian, informasi dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu informasi primer dan informasi sekunder. Informasi primer adalah informasi yang diperoleh dari penelitian secara langsung dengan menanyakan kepada sumber yang membagikan data. Tata cara pengumpulan informasi yang digunakan wawancara dengan

metode mempergunakan komunikasi langsung dengan karyawan ataupun mekanik yang berhubungan dengan objek yang diteliti serta observasi untuk pengumpulan informasi pada waktu riset dengan melaksanakan pengamatan langsung pada objek buat memperoleh cerminan serta kondisi yang sesungguhnya.

Langkah pengolahan HIRA adalah Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*), dimana data yang telah dikumpulkan dari penelitian ini didasarkan pada hasil survei/observasi, wawancara, daftar periksa bahaya, daftar periksa kecelakaan, dan analisis bahaya pekerjaan, dan Penilaian Risiko (*Risk Assessment*), dimana setelah bahaya dalam sistem diidentifikasi, probabilitas terjadinya dan besarnya bahaya ditentukan, risiko diperkirakan, dan opsi pengendalian risiko dievaluasi berdasarkan hasil.

Untuk memperoleh tingkat risiko yang nyata dan efektif, perlu dilakukan identifikasi hambatan keselamatan yang mungkin terjadi dan penentuan kinerja hambatan keselamatan tersebut.. Model *Bow Tie* dibangun untuk mengidentifikasi potensi hambatan keselamatan dan menambahkannya ke posisi yang sesuai di pohon kesalahan dan pohon kejadian (Wu et al., 2023). Model dasi *Bow Tie* merupakan metode penilaian keselamatan yang terdiri dari pohon kesalahan di sisi kiri dan pohon kejadian di sisi kanan dan ditengahnya merupakan kejadian dasar (Gambar 1). Penyebab suatu peristiwa ditunjukkan di sebelah kiri dasi kupu-kupu dan akibat di sebelah kanan. Penyebab adalah peristiwa yang dapat menimbulkan kecelakaan dan akibat adalah kerugian (termasuk kesehatan dan harta benda) akibat kecelakaan. Untuk mencegah kecelakaan dasar, penghalang keselamatan harus diterapkan. Tindakan keselamatan preventif ditetapkan pada sisi kesalahan dan, dengan demikian, dilakukan sebelum kejadian dasar. Pada saat yang sama, langkah-langkah keamanan mitigasi ditetapkan pada sisi pohon peristiwa dan, dengan demikian, dilakukan setelah peristiwa dasar (Xu & Xu, 2018).



Gambar 1. Model Bow tie (McLeod & Bowie, 2018)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Wastewater treatment plants dianggap sebagai penerima utama mikroplastik terestrial sebelum memasuki sistem perairan alami (Sun et al., 2019), yang mengubah mikroplastik primer menjadi mikroplastik sekunder (Liu et al., 2021). *Water treatment plant* dioperasikan untuk memenuhi kebutuhan air demin dengan kapasitas produksi sebesar $3 \times 110 \text{ m}^3/\text{jam}$. *Water treatment plant* beroperasi dengan menggunakan teknologi *sand filter*, *ultrafiltration*, *membrane bioreactor*, *cartridge filter*, *reverse osmosis*, dan *mixed bed polisher*.

Material Safety Data Sheet (MSDS) digunakan sebagai data primer karena terdapat informasi bahan kimia yang digunakan pada perusahaan yang diteliti. MSDS memuat informasi mengenai sifat-sifat zat kimia, hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan zat kimia, pertolongan apabila terjadi kecelakaan, dan penanganan zat yang berbahaya. MSDS penting digunakan karena merupakan sumber informasi yang sangat penting untuk mencegah terjadinya kecelakaan atau cedera saat menangani atau menggunakan bahan kimia berbahaya. Melalui MSDS, pekerja dapat mengetahui sifat-sifat bahaya bahan kimia yang digunakan, APD, prosedur darurat bila terjadi kebakaran, ledakan, dan kebocoran.

Berdasarkan hasil observasi, 2 dari 4 orang tidak mengetahui apa itu MSDS. Pada dasarnya diberikan pelatihan mengenai operasional mesin atau alat, maupun SOP pekerjaan.. Namun MSDS sendiri sudah diberikan pada saat pelatihan dengan bahasa yang mudah dimengerti dan dipahami oleh pekerja. MSDS dalam versi cetak dan disimpan atau ditempel di lokasi yang mudah diakses dan terlihat oleh pekerja yang menangani atau menggunakan bahan kimia di tempat kerja.

Pekerja yang berhubungan dengan bahan kimia yang dalam hal ini adalah pada pekerjaan *regenerasi mixed bed polisher* menggunakan bahan kimia H₂SO₄ dan NaOH wajib menggunakan alat pelindung diri. Bahan kimia H₂SO₄ merupakan produk bersifat asam yang digunakan untuk kebutuhan *regenerasi mixed bed polisher* pada dasarnya H₂SO₄ tidak mudah menyala namun bersifat eksotermis, Sedangkan NaOH dapat menyebabkan luka bakar, merusak mata, mengganggu pernafasan dan iritasi kulit. Bahan kimia Dosing *Smb*s, *Biomate*, dan *Hypersperse* bersifat asam digunakan untuk kebutuhan R/O di *water treatment plant* bahan kimia dosing tersebut dapat menyebabkan efek mengganggu pernafasan, luka bakar pada mulut, merusak jaringan mata, dan menyebabkan iritasi pada kulit seperti luka bakar. Upaya yang telah dilakukan Divisi produksi adalah pemasangan rambu-rambu K3 di area pekerjaan, pemberian pelatihan dan penerapan SOP yang telah dilakukan, serta diadakannya *toolbox meeting* setiap pergantian *shift* dan *safety talk*.

HIRA merupakan metode identifikasi bahaya kecelakaan kerja dengan penilaian risiko. Identifikasi bahaya dimaksudkan buat mencari besarnya suatu efek dengan

memikirkan bisa jadi terjadinya bahaya yang ditimbulkannya. Pengukuran risiko berdasarkan nilai kemungkinan terjadinya suatu kecelakaan kerja (*likelihood*) dan nilai tingkat kerugian atau tingkat keparahan (*consequence*) akibat terjadinya kecelakaan kerja (Anthony, 2019). Hasil penilaian risiko pada kegiatan di area *water treatment plant* terbagi dalam tingkat sedang, berat dan tidak dapat diterima (Tabel 1).

Pengendalian risiko merupakan langkah penting dalam menentukan keseluruhan manajemen risiko. Tindakan pengendalian yang tepat harus diambil sesuai dengan hierarki pengendalian untuk memitigasi risiko dan mencegah kecelakaan. Tindakan pengendalian yang diambil bervariasi tergantung pada bahaya yang dihadapi, namun didasarkan pada hierarki pengendalian untuk menentukan solusi pengendalian yang layak dan efektif. Tindakan pengendalian lini pertama melibatkan penghapusan bahaya atau substitusi yang diikuti dengan pengendalian teknik, pengendalian administratif, dan penggunaan alat pelindung diri. Kombinasi tindakan pengendalian yang berbeda mungkin diperlukan untuk mengelola bahaya secara efisien (Abdul Wahab et al., 2021).

Tabel 1. Penilaian Risiko pada pekerjaan di *Area Water Treatment Plant*

No	Nama Kegiatan	Sumber Bahaya	Risiko/dampak	Kemungkinan (O)	Konsekuensi (S)	WRAC	Tingkat Risiko
1	Pekerjaan Pengecekan pressure	Lokasi di ketinggian	Terjatuh	4	4	16	Tidak dapat di terima
2	Pekerjaan pengambilan <i>sample</i> air proses demineralisasi	Lokasi licin	Terpeleset	3	4	12	Berat
3	Pekerjaan pengurasan Tangki MBR	Lokasi di ketinggian	Terjatuh	3	4	12	Berat
4	Di area Tangki CIP ketika <i>Flushing R/O</i>	Lokasi di ketinggian Lokasi licin	Terjatuh, Terpeleset	4	4	16	Tidak dapat di terima
5	Penuangan bahan kimia ke dalam Tangki dosing <i>Hypersperse</i>	Lokasi di ketinggian	Gangguan Pernapasan	3	3	9	Sedang
6	Proses menyalakan injeksi pompa asam (H ₂ SO ₄)	Alat kerja	Kebocoran	3	5	15	Berat
7	Proses menyalakan injeksi pompa basa (NaOH)	Alat kerja	Kebocoran	3	5	15	Berat
8	Pekerjaan Penggantian <i>Catridge</i> filter	Alat kerja	Terjepit, tersayat	3	3	9	Sedang



pengawasan, inspeksi, dan Perlu adanya pembersihan secara rutin agar tidak menimbulkan bahaya yang berkelanjutan. Proses pengurusan Tangki MBR atau penggantian air dan proses *Cleaning* Tangki MBR Karyawan di bagian WTP sering mengalami terpeleset pada area pengurusan Tangki MBR dikarenakan banyaknya percikan air yang membasahi area Tangki MBR. Sedangkan untuk penggunaan APD belum sesuai dengan SOP dan Melakukan pengawasan, inspeksi, dan Perlu adanya pembersihan secara rutin agar tidak menimbulkan bahaya yang berkelanjutan.

Penyebab dan *prevention barrier* pada Area Tangki CIP Ketika *Flushing R/O* ialah penggantian air yang ada di dalam alat *filter Reverse Osmosis* ketika posisi *Standby*. sering terjadinya kecelakaan kerja seperti terjatuh, terpeleset, dikarenakan pijakan kondisi dari tangga kurang memungkinkan. Sedangkan untuk penggunaan Alat APD belum sesuai dengan SOP dan melakukan pengawasan, inspeksi, dan Perlu adanya pembersihan secara rutin agar tidak menimbulkan bahaya yang berkelanjutan. Penuangan bahan kimia ke dalam Tangki *dosing Hypersperse* adalah proses penuangan bahan kimia ke dalam Tangki penguin. sering terjadinya kecelakaan kerja seperti gangguan pernapasan dikarenakan kurangnya kesadaran karyawan atau pekerja dalam penggunaan alat pelindung diri belum sesuai dengan SOP dan melakukan pengawasan, serta inspeksi. Proses menyalakan injeksi pompa asam adalah proses pembukaan *Valve* pada saat proses *Regenerasi MBP*. sering terjadinya kecelakaan kerja seperti

terkena kebocoran zat kimia. dikarenakan kurangnya kesadaran karyawan atau pekerja dalam penggunaan alat pelindung diri belum sesuai dengan SOP dan Melakukan pengawasan, inspeksi Proses menyalakan injeksi pompa basa (NaOH) adalah proses pembukaan *Valve* pada saat proses *Regenerasi MBP*. sering terjadinya kecelakaan kerja seperti terkena kebocoran zat kimia. dikarenakan kurangnya kesadaran karyawan atau pekerja dalam penggunaan alat pelindung diri belum sesuai dengan SOP dan melakukan pengawasan, serta inspeksi Penggantian *Catridge filter* adalah proses penggantian *Catridge* yang akan dilakukan pada saat *Delta P* mengalami kenaikan. sering terjadinya kecelakaan kerja seperti terjatuh, terpeleset, terjepit, tersayat dikarenakan pijakan kondisi dari tangga kurang memungkinkan sehingga dapat berpotensi kecelakaan kerja. Sedangkan untuk penggunaan APD belum sesuai dengan SOP sehingga memerlukan inspeksi dan pengawasan secara berkala serta perlu dilakukan perencanaan pemeliharaan dan penggantian peralatan kerja sesuai dengan umur pemakaian.

Konsekuensi dan *prevention barrier* adalah Luka Ringan (tersayat, terjepit, terbentur) dikarenakan kondisi area tempat kerja yang belum sesuai dengan SOP dan harus adanya pengawasan dari pihak safety atau teknisi saat proses pemasangan kerangka. Luka sedang (terpeleset, bengkak) dikarenakan kondisi area tempat kerja yang belum sesuai dengan SOP dan harus adanya pengawasan dari pihak safety. Luka berat (terkena bahan kimia baik zat asam ataupun basah) pemakaian APD belum sesuai dengan SOP, sehingga perlunya kesiapsiagaan tanggap darurat. *Emergency response* dianggap efektif dan kecepatan respon perlu terus ditingkatkan. Perlunya penegasan dari pihak pengawas Safety untuk penggunaan alat pelindung diri sehingga dapat meminimalisir kecelakaan kerja.

Mitigasi yang dapat dilakukan pada pekerjaan pengecekan *pressure*, pekerjaan pengambilan sampel air proses *demineralisasi*, pekerjaan pengurusan Tangki MBR, pekerjaan di area Tangki CIP ketika *Flushing* R/O, penuangan bahan kimia ke dalam Tangki dosing *Hypersperse*, proses menyalakan injeksi pompa asam, proses menyalakan injeksi pompa basa (NaOH), dan pekerjaan penggantian *catridge filter* dapat dilakukan dengan langkah melakukan pekerjaan sesuai dengan SOP yang

berlaku, penerbitan SIKa (surat ijin kerja aman) dan formulir JSA (*Job safety analysis*) untuk memastikan pekerjaan sudah dalam kondisi aman serta perlu melakukan pengawasan terhadap pemakaian APD (*Safety glass, safety helm, safety gloves, masker, ear plug, safety shoes*). Pengendalian juga dapat dilakukan dengan cara perencanaan pemeliharaan dan penggantian peralatan kerja sesuai dengan umur pemakaian, dan perencanaan pembersihan secara rutin agar tidak menimbulkan bahaya yang berkelanjutan. Pengendalian risiko pada pekerjaan pengambilan sampel air proses *demineralisasi* dapat dilakukan dengan pengawasan penggunaan APD dan melakukan perencanaan pembersihan secara rutin agar tidak menimbulkan bahaya yang berkelanjutan.

HIRA adalah teknik umum yang digunakan untuk mengukur risiko di tempat kerja/aktivitas menggunakan kemungkinan dan tingkat keparahan bahaya (Szóstak, 2019). Ada banyak metode yang digunakan untuk menentukan kemungkinan kecelakaan dalam suatu aktivitas tertentu tetapi HIRA adalah salah satu metode yang paling efektif dalam mengukur risiko berdasarkan langkah-langkah keselamatan yang ada di lokasi tertentu (Arumugaprabu et al., 2022). Hasil HIRA dapat mengklasifikasikan tingkat risiko berdasarkan tingkat kemungkinan dan tingkat keparahan yang terjadi.

Diagram *Bow tie* didasarkan pada konsep HIRA dan bertindak sebagai alat manajemen risiko yang mendukung semua manajemen keselamatan proses. Fungsi manajemen risiko utama dari diagram *Bow tie* adalah evaluasi kondisi penghalang saat ini, yang memungkinkan identifikasi tindakan untuk memperbaikinya secara berkala (Muniz et al., 2018).

Diagram *Bow tie* secara efektif mencakup elemen utama proses manajemen risiko: mengidentifikasi, mencegah, memitigasi, dan menilai. Untuk meningkatkan pendekatan berbasis risiko, setiap identifikasi bahaya dapat disesuaikan untuk mengidentifikasi upaya perlindungan preventif dan mitigasi yang dapat dieksplorasi ke diagram *Bow tie*. Diagram *Bow tie* merupakan cara opsional untuk mengidentifikasi bahaya dan menampilkan proses manajemen risiko secara ilustratif dan inklusif. Hal ini juga memungkinkan untuk mengekstraksi sistem

elemen penting yang mencegah atau mengurangi kejadian yang tidak disengaja. Meskipun diagram *Bow tie* dianggap sebagai alat penilaian risiko kualitatif, penerapan yang memerlukan analisis kuantitatif juga dapat memperoleh manfaat dengan mewakili dalam proses manajemen risiko secara tepat di mana hasilnya memperbaiki konsekuensi dan frekuensi hasil yang tidak diinginkan (Saud et al., 2014).

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi risiko pada aktivitas di area *water treatment plant* terbagi menjadi tiga yaitu kategori sedang (2 kegiatan), kategori berat (4 kegiatan) dan 2 kegiatan dalam kategori tidak dapat diterima. Langkah pencegahan yang dapat dilakukan adalah melakukan inspeksi peralatan kerja, pemasangan rambu peringatan (*Hazard*). Pemakaian APD Helm, Sepatu, Helm, pelindung mata, sarung tangan, masker, aluminum (*loathing*) dan *Body Harness*. Perusahaan memerlukan *Emergency response preparedness* (ERP) yang dianggap efektif dan responsif serta perlu penegasan dari pihak pengawas Safety untuk penggunaan alat pelindung diri sehingga dapat meminimalisir kecelakaan kerja. Penelitian ini masih sebatas penilaian risiko dan rekomendasi pencegahan sehingga belum teruji tingkat keberhasilannya. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan evaluasi terkait penurunan nilai risiko setelah implementasi atau melakukan integrasi *Bow tie* dengan alat penilaian risiko lainnya seperti HIRARC.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Universitas Serang Raya yang telah mendanai penelitian ini dan objek penelitian sehingga penelitian bisa berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul Wahab, N. A., Nur Athyratul Aqila, Isa, N., Husin, N. I., Mohd Zin, A., Mokhtar, M., & Mukhtar, N. M. A. (2021). A Systematic Review on Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control in Academic Laboratory. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 24(1), 47–62.
<https://doi.org/10.37934/araset.24.1.4762>

- Acarbay, C., & Kiyak, E. (2020). Risk mitigation in unstabilized approach with fuzzy Bayesian bow-tie analysis. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 92(10), 1513–1521.
<https://doi.org/10.1108/AEAT-05-2020-0080>
- Anthony, M. B. (2019). Analisis Risiko Kerja pada Area Hot Metal Treatment Plant Divisi Blast Furnace dengan Metode Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA). *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 5(1), 35–42.
<https://doi.org/10.30656/intech.v5i1.1461>
- Arumugaprabu, V., Ajith, S., Jerendran, J., Naresh, K., & Rama Sreekanth, P. S. (2022). Hazard identification and risk assessment using integrated exposure frequency and legislation requirements (HIRA-FL) in construction sites. *Materials Today: Proceedings*, 56, 1247–1250.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.178>
- Chartres, N., Bero, L. A., & Norris, S. L. (2019). A review of methods used for hazard identification and risk assessment of environmental hazards. *Environment International*, 123, 231–239.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.060>
- Chastain, J. W., Delanoy, P., Devlin, C., Mueller, T., & Study, K. (2017). Beyond HAZOP and LOPA: Four different company approaches. *Process Safety Progress*, 36(1), 38–53.
<https://doi.org/10.1002/prs.11831>
- Culwick, M. D., Merry, A. F., Clarke, D. M., Taraporewalla, K. J., & Gibbs, N. M. (2016). Bow-Tie Diagrams for Risk Management in Anaesthesia. *Anaesthesia and Intensive Care*, 44(6), 712–718.
<https://doi.org/10.1177/0310057X1604400615>
- Damayanti, D., & Nalhadi, A. (2017). Identifikasi Penilaian Risiko Kecelakaan Kerja dengan Metode Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control (HIRARC). *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 3(1), 1–6.
<https://ejurnal.lppmunsera.org/index.php/INTECH/article/view/871>

- Escorcia, Y. C., Ochoa, G. V., & Ruiz, Y. P. (2018). Management of occupational safety and health using VC-OHSAS 18001 v 1.0. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(57), 2813–2820. <https://doi.org/10.12988/ces.2018.86283>
- Filomena, M., & Picchio, M. (2024). Unsafe temperatures, unsafe jobs: The impact of weather conditions on work-related injuries. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 224, 851–875. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2024.06.016>
- Fu, G., Xie, X., Jia, Q., Tong, W., & Ge, Y. (2020). Accidents analysis and prevention of coal and gas outburst: Understanding human errors in accidents. *Process Safety and Environmental Protection*, 134, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.11.026>
- Galetakis, M., Deligiorgis, V., Steiakakis, E., Raka, S., & Alheib, M. (2022). Risk Assessment Methodology for Pit Lakes Instabilities. *International Conference on Raw Materials and Circular Economy*, 92. <https://doi.org/10.3390/materproc2021005092>
- Georgousoglou, K., Mouzakis, Y., & Adamides, E. D. (2022). The application of the Bow Tie approach in the risk assessment of a municipal solid waste management system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1123(1), 012073. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1123/1/012073>
- Hadef, H., Negrou, B., Ayuso, T. G., Djebabra, M., & Ramadan, M. (2020). Preliminary hazard identification for risk assessment on a complex system for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(20), 11855–11865. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.162>
- Hefaidh, H., Negrou, B., Ayuso, T. G., Djebabra, M., & Ramadan, M. (2020). Preliminary Hazard Identification for Risk Assessment on a Complex System for Hydrogen Production. *International Journal of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.162>
- Hughes, P., Shipp, D., Figueres-Esteban, M., & van Gulijk, C. (2018). From free-text to structured safety management: Introduction of a semi-automated classification method of railway hazard reports to elements on a bow-tie diagram. *Safety Science*, 110, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.03.011>
- Jespersen, A. H., Hohnen, P., & Hasle, P. (2016). Internal audits of psychosocial risks at workplaces with certified OHS management systems. *Safety Science*, 84, 201–209. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.12.013>
- Khan, F., Rathnayaka, S., & Ahmed, S. (2015). Methods and models in process safety and risk management: Past, present and future. *Process Safety and Environmental Protection*, 98, 116–147. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.07.005>
- Li, X., Chen, G.-M., & Zhu, H. (2016). Quantitative risk analysis on leakage failure of submarine oil and gas pipelines using Bayesian network. *Process Safety and Environmental Protection*, 103, 163–173. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.06.006>
- Liu, W., Zhang, J., Liu, H., Guo, X., Zhang, X., Yao, X., Cao, Z., & Zhang, T. (2021). A review of the removal of microplastics in global wastewater treatment plants: Characteristics and mechanisms. *Environment International*, 146, 106277. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106277>
- Markowski, A. S., & Kotynia, A. (2011). “Bow-tie” model in layer of protection analysis. *Process Safety and Environmental Protection*, 89(4), 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2011.04.005>
- McLeod, R. W., & Bowie, P. (2018). Bowtie Analysis as a prospective risk assessment technique in primary healthcare. *Policy and Practice in Health and Safety*, 16(2), 177–193. <https://doi.org/10.1080/14773996.2018.1466460>
- Merrett, H. C., Horng, J. J., Piggot, A., Qandour, A., & Tong, C. W. (2019). Comparison of STPA and Bow-tie Method Outcomes in the Development and Testing of an Automated Water

- Quality Management System. *MATEC Web of Conferences*, 273, 02008. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201927302008>
- Muniz, M. V. P., Lima, G. B. A., Caiado, R. G. G., & Quelhas, O. L. G. (2018). Bow tie to improve risk management of natural gas pipelines. *Process Safety Progress*, 37(2), 169–175. <https://doi.org/10.1002/prs.11901>
- Nielsen, K., Randall, R., Holten, A.-L., & González, E. R. (2010). Conducting organizational-level occupational health interventions: What works? *Work & Stress*, 24(3), 234–259. <https://doi.org/10.1080/02678373.2010.515393>
- Pitblado, R., & Weijand, P. (2014). Barrier diagram (Bow Tie) quality issues for operating managers. *Process Safety Progress*, 33(4), 355–361. <https://doi.org/10.1002/prs.11666>
- Rohim, A., & Hardaningrum, F. (2022). Analysis of the Effect of Occupational Safety and Health (K3) on Employee Performance in Distribution Center Area Logistics Division. *Jurnal Ekonomi*, 22(01), 1–4. <https://doi.org/10.29138/je.v22i01.157>
- Saputra, G., Supriyadi, S., & Dwiputra, G. A. (2016). Perancangan Identifikasi Bahaya di Area Feed Water System Boiler Menggunakan Metode HAZOP (Hazard and Operability Study). *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 2(2 S), 49–54. <https://ejurnal.lppmunsera.org/index.php/INTECH/article/view/865>
- Saud, Y. E., Israni, K. (Chris), & Goddard, J. (2014). Bow-tie diagrams in downstream hazard identification and risk assessment. *Process Safety Progress*, 33(1), 26–35. <https://doi.org/10.1002/prs.11576>
- Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M. C. M., & Ni, B.-J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water Research*, 152, 21–37. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.050>
- Sunaryo, & Hamka, M. A. (2017). Safety Risks Assessment on Container Terminal Using Hazard Identification and Risk Assessment and Fault Tree Analysis Methods. *Procedia Engineering*, 194, 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.150>
- Supriyadi, S., Nalhadi, A., & Rizaal, A. (2015). Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko K3 pada Tindakan Perawatan & Perbaikan Menggunakan Metode HIRARC (Hazard Identification and Risk Assesment Risk Control) pada PT. X. *Prosiding Seminar Nasional Riset Terapan| SENASSET*, 281–286. <https://ejurnal.lppmunsera.org/index.php/senasset/article/view/474>
- Szóstak, M. (2019). *Analysis of occupational accidents in the construction industry with regards to selected time parameters*. 9(1), 312–320. <https://doi.org/10.1515/eng-2019-0027>
- Tixier, J., Dusserre, G., Salvi, O., & Gaston, D. (2002). Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 15(4), 291–303. [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(02\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(02)00008-6)
- Vileiniskis, M., & Remenyte-Prescott, R. (2017). Quantitative risk prognostics framework based on Petri Net and Bow-Tie models. *Reliability Engineering & System Safety*, 165, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.res.2017.03.026>
- Wells, G. (1997). *Hazard Identification and Risk Assessment*. Institution of Chemical Engineers. <https://books.google.co.id/books?id=BScCJShJmcC>
- Wu, X., Huang, H., Xie, J., Lu, M., Wang, S., Li, W., Huang, Y., Yu, W., & Sun, X. (2023). A novel dynamic risk assessment method for the petrochemical industry using bow-tie analysis and Bayesian network analysis method based on the methodological framework of ARAMIS project. *Reliability Engineering & System Safety*, 237, 109397. <https://doi.org/10.1016/j.res.2023.109397>
- Xu, Q., & Xu, K. (2018). Mine safety assessment using gray relational analysis and bow tie model. *PLOS ONE*, 13(3), e0193576. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193576>