

ANALISIS MANAJEMEN RISIKO KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA DI LABORATORIUM KIMIA MENGGUNAKAN METODE BOWTIE

ANALYSIS OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH RISK MANAGEMENT IN CHEMICAL LABORATORIES USING THE BOWTIE METHOD

Andini Sri Mulyani¹, Tatan Sukwika², Soehatman Ramli³

^{1,3} Program Studi Magister Manajemen, Sekolah Pascasarjana, Universitas Sahid, Indonesia

² Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Sahid, Indonesia

email: tatan.swk@gmail.com

Abstrak

Permasalahan manajemen risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di laboratorium kimia, di mana paparan bahaya seperti iritasi kimia, sengatan listrik, ledakan, dan jatuh dari ketinggian secara kolektif menyumbang insiden kecelakaan berdasarkan data historis dan observasi lapangan. Kasus-kasus ini dominan terjadi akibat prosedur kerja yang tidak sesuai standar, pengelolaan limbah kimia yang tidak optimal, serta kurangnya kompetensi operator dalam menerapkan protokol keselamatan. Kebaruan penelitian terletak pada penerapan metode *Bowtie* secara komprehensif untuk memetakan penyebab, konsekuensi, dan kontrol risiko spesifik di laboratorium kimia, yang belum banyak dieksplorasi dalam konteks serupa. Tujuan penelitian adalah menganalisis risiko K3 menggunakan metode *Bowtie* serta merumuskan langkah mitigasi efektif. Metode penelitian mencakup identifikasi bahaya melalui observasi dan wawancara, analisis risiko dengan matriks probabilitas-dampak, serta pembuatan diagram *Bowtie* untuk mengevaluasi faktor pemicu dan sistem pengendalian. Hasil penelitian mengungkap 33 risiko tinggi dan 3 risiko ekstrem, yakni kerusakan instrumen akibat ledakan UPS (*Uninterruptible Power Supply*), jatuh dari ketinggian saat sampling emisi, dan paparan limbah berbahaya. Penyebab utamanya meliputi ketidakpatuhan pemeriksaan listrik, penyimpanan limbah tidak sesuai SOP (Standar Operasional Prosedur), dan kurangnya kompetensi operator. Rekomendasi mitigasi meliputi pemasangan grounding listrik, penggunaan APD (Alat Pelindung Diri) lengkap dengan *fall arrest system*, pelatihan K3, dan pemisahan limbah kimia berbasis SOP. Simpulan penelitian menegaskan bahwa metode *Bowtie* efektif dalam mengidentifikasi hubungan kausal risiko dan mendesain kontrol preventif-korektif.

Kata kunci: Laboratorium kimia; Manajemen risiko K3; Metode *bowtie*; Mitigasi risiko.

Abstract

Occupational Safety and Health (K3) risk management problems in chemical laboratories, where exposure to hazards such as chemical irritants, electric shock, explosions, and falls from heights collectively contribute to accident incidents based on historical data and field observations. These cases predominantly occur due to work procedures that do not meet standards, non-optimal management of chemical waste, and lack of operator competence in implementing safety protocols. The novelty of the research lies in the comprehensive application of the Bowtie method to map specific causes, consequences, and risk controls in the chemistry laboratory, which has not been widely explored in similar contexts. The purpose of the study is to analyze the risk of K3 using the Bowtie method and formulate effective mitigation measures. The research methods include hazard identification through observation and interviews, risk analysis with a probability-impact matrix, as well as the creation of Bowtie diagrams to evaluate triggers and control systems. The results of the study revealed 33 high risks and 3 extreme risks, namely instrument damage due to UPS (Uninterruptible Power Supply) explosions, falling from a height during emission sampling, and exposure to hazardous waste. The main causes include non-compliance with electrical inspections, waste storage not in accordance with SOPs (Standard Operating Procedures), and lack of operator competence. Mitigation recommendations include the installation of electrical grounding, the use of PPE (Personal Protective Equipment) complete with a fall arrest system, K3 training, and SOP-based chemical waste

separation. The findings confirm that the Bowtie method is effective in identifying the causal relationship of risk and designing preventive-corrective controls.

Keywords: *Chemistry laboratory; K3 risk management; Bowtie Method, Risk mitigation.*

Received: June 3rd, 2025; 1st Revised April 19th, 2025;

Accepted for Publication : April 25th, 2025

© 2025 Andini Sri Mulyani, Tatan Sukwika, Soehatman Ramli
Under the license CC BY-SA 4.0

1. PENDAHULUAN

Laboratorium kimia, sebagai tempat yang memiliki potensi risiko tinggi terhadap kesehatan dan keselamatan kerja, memerlukan manajemen risiko yang efektif untuk mencegah kecelakaan dan melindungi pekerja serta fasilitas. Dalam konteks ini, identifikasi dan mitigasi bahaya kimia, fisik, serta biohazard sangat penting, mengingat potensi paparan terhadap bahan berbahaya seperti bahan kimia beracun, bahan mudah terbakar, dan peralatan laboratorium yang berisiko (1)(2). Penanganan yang tidak tepat terhadap risiko-risiko ini dapat berakibat fatal, baik bagi kesehatan individu maupun kerugian material yang besar. Laboratorium kimia menduduki peringkat kedua dengan jumlah kasus tertinggi, diikuti oleh laboratorium biologi dan laboratorium fisika yang berada di peringkat kedua. Jumlah insiden di laboratorium kimia yang dilaporkan adalah 39,1% goresan, 37,6% cedera ringan, 8% iritasi mata, dan 7,2% tumpahan bahan kimia (3).

Kecelakaan kerja di laboratorium kimia yang terjadi sepanjang sejak tahun 2023 diantaranya akibat ledakan labu distilasi saat menganalisis lemak bahan pakan menggunakan pelarut organik yang mengakibatkan satu orang meninggal dunia. Insiden kecelakaan di tempat

lainnya akibat campuran bahan kimia mengeluarkan uap beracun karena blower di ruang asam tidak berfungsi dengan baik, yang menyebabkan analis mengalami sesak napas dan pusing pekerja di laboratorium. Selanjutnya kecelakaan di laboratorium akibat listrik yang menyebabkan percikan api dan soket terbakar, serta ledakan UPS di ruang uji GC (*Gas Chromatography*). Selain itu, sering terjadi kecelakaan kecil yang tidak tercatat, seperti cedera ringan akibat pecahan kaca peralatan laboratorium dan tumpahan bahan kimia fenol yang menyebabkan luka bakar (4)(5).

Risiko-risiko ini memerlukan perhatian lebih dalam pengelolaan keselamatan di laboratorium kimia. Untuk itu, penting bagi pihak manajemen laboratorium untuk menerapkan pendekatan yang sistematis dalam menganalisis dan mengendalikan risiko-risiko tersebut. Berbagai metode telah digunakan untuk menganalisis dan mengelola risiko di tempat kerja, salah satunya adalah metode *Bowtie*. Metode ini dikenal karena kemampuannya untuk menggambarkan hubungan antara penyebab, konsekuensi, dan langkah-langkah mitigasi risiko secara sistematis dalam bentuk diagram yang mudah dipahami (6)(7). Metode *Bowtie* memberikan pendekatan visual yang

menghubungkan potensi penyebab risiko dengan konsekuensi yang mungkin terjadi, serta barrier yang ada untuk mengurangi dampak dari risiko tersebut. Penggunaan metode ini telah terbukti efektif dalam mengelola risiko di berbagai sektor industri, termasuk dalam sektor kimia dan laboratorium (8)(9)(10).

Dalam konteks laboratorium kimia, beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan berbagai model manajemen risiko, namun penggunaan metode *Bowtie* masih terbatas. Beberapa studi yang menggunakan pendekatan ini di industri kimia dan farmasi telah menunjukkan hasil yang signifikan dalam meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja. Meskipun demikian, masih ada kebutuhan untuk mengkaji penerapan metode *Bowtie* di laboratorium kimia, terutama dalam analisis risiko kesehatan dan keselamatan kerja secara spesifik (6)(7).

Faktor yang paling berkontribusi terhadap insiden adalah tidak dilakukannya penilaian terhadap potensi bahaya K3 di laboratorium dan kurangnya pemahaman serta kesadaran mengenai bahaya di laboratorium. Oleh karena itu, perlu dilakukan penyelidikan, penilaian, komunikasi, dan pengelolaan bahaya K3 secara efektif dan rutin. Penelitian ini juga menilai tingkat risiko bahaya di laboratorium kimia untuk menentukan tingkat risiko pada setiap aktivitas dan fasilitas yang telah diidentifikasi sebelumnya. Aktivitas atau fasilitas dengan tingkat risiko yang signifikan akan ditentukan untuk dikendalikan

menggunakan metode *Bowtie*. Penelitian ini berfokus pada penggunaan metode *Bowtie* untuk menganalisis manajemen risiko kesehatan dan keselamatan kerja di laboratorium kimia, dengan memetakan risiko potensial yang spesifik untuk laboratorium kimia, seperti kebakaran, ledakan, paparan bahan kimia berbahaya, dan kecelakaan fisik. Penelitian ini berbeda dengan studi sebelumnya karena mengadopsi pendekatan yang lebih terstruktur dan sistematis untuk mengidentifikasi dan mengelola risiko-risiko ini dengan cara yang lebih visual dan terukur.

Di samping itu, penelitian ini akan memperkenalkan adaptasi metode *Bowtie* untuk lingkungan laboratorium yang mungkin memiliki dinamika risiko yang berbeda dibandingkan dengan industri lainnya. Kebaruan lainnya terletak pada penekanan terhadap analisis barrier dan kontrol risiko yang lebih rinci, dengan tujuan untuk memberikan rekomendasi strategis dalam pengelolaan keselamatan di laboratorium kimia, yang belum banyak dibahas dalam literatur yang ada.

2. METODE

Metode yang digunakan untuk analisis risiko di laboratorium kimia melibatkan langkah-langkah sistematis yang berdasarkan pada beberapa standar dan teknik terkini untuk memastikan bahwa semua risiko diidentifikasi dan dikendalikan dengan efektif. Proses dimulai dengan identifikasi risiko yang dilakukan melalui observasi langsung dan pengumpulan data primer dari kuesioner yang disebarikan kepada para analis dan karyawan laboratorium.

Proses ini diharapkan mampu memberikan pemahaman yang jelas tentang risiko yang mungkin terjadi, serta potensi dampaknya terhadap keselamatan kerja.

Kuesioner yang digunakan didesain dengan merujuk pada aktivitas rutin para praktisi di laboratorium dan memperhitungkan variabel bahaya yang sudah diidentifikasi melalui brainstorming, studi literatur, dan diskusi tim K3. Hal ini didukung oleh literatur yang menunjukkan bahwa identifikasi risiko yang

efektif membutuhkan keterlibatan berbagai pihak dan metode berbasis data (1)(2). Setelah kuesioner diisi oleh 42 responden, hasilnya digunakan untuk menilai kemungkinan terjadinya dan tingkat keseriusan risiko, mengikuti standar ISO 31000 yang merupakan panduan internasional mengenai manajemen risiko (11)(12).

Tabel kemungkinan dan keparahan standar ISO 31000 dengan deskripsi yang terdapat dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Penilaian Kemungkinan Risiko

Level Risk	Possibility Incident	Probability Criteria
4	Almost Certain	Risks that are almost certain to occur, with a probability value of >85% or always occur in every condition
3	Very likely	Risks that are likely to occur, with a probability value of 60% to 85% or very might happen
2	Enough Maybe	Risks that are equally likely to occur and not occur, with a probability value of 40% to 60%, or occur in certain conditions
1	Little Chance	Risks that are unlikely to occur, with a probability value of 20% to 40% or so sometimes happen
0	Seldom	Risks that are almost certain not to occur, with a probability value of 0% to 20% or rarely happening

Tabel 2. Penilaian tingkat keparahan dan kriteria dari skala penilaian

Risk Matrix Level	Level Impact (Criteria)	Cost Factor (% SI)
4	Very Tall Extremely (<i>Effective</i>)	The impact that occurs causes an increase fee >20% (80-100)
3	Tall (<i>Very Effective</i>)	The impact that occurs causes an increase 10 – 20% fee (60-80)
2	Currently (<i>Moderately Effective</i>)	The impact that occurs causes an increase 5 – 10% fee (40-60)
1	Low (<i>Ineffective</i>)	The impact that occurs causes an increase fee <5% (20-40)
0	Very Low (<i>Extremely Ineffective</i>)	The impact that occurs does not cause significant increase in costs (<20)

Hasil dari penilaian probabilitas akan digunakan untuk menentukan tingkat risiko dari setiap risiko. Metode yang digunakan

kemungkinan adalah grid dampak dari Tabel 3 matriks risiko kualitatif.

Kriteria Matriks untuk Menentukan Tingkat Risiko adalah sebagai berikut: (1)

Risiko Ekstrem menunjukkan kondisi dimana aktivitas yang tidak boleh dilaksanakan atau dilanjutkan hingga risiko tersebut dikurangi (simbolnya adalah huruf E). (2) Risiko Tinggi ditunjukkan pada blok merah dengan huruf H (*high*) atau risiko yang tidak dapat diterima. (3)

Risiko Sedang ditunjukkan pada blok kuning dengan huruf M (*moderate*) atau risiko yang dapat ditoleransi. (4) Risiko Rendah ditunjukkan pada blok hijau dengan huruf L (*low*). Risiko ini adalah risiko yang dapat diterima.

Tabel 3. Matriks Penentuan Tingkat Risiko

Possibility (Kemungkinan)	Impact (Keparahan)				
	Tidak Signifikan	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
	0	1	2	3	4
Hampir Pasti Terjadi (4)	T	T	E	E	E
Sering Terjadi (3)	S	T	T	E	E
Dapat Terjadi (2)	R	S	T	E	E
Kadang-Kadang (1)	R	R	S	T	E
Jarang Sekali (0)	R	R	S	T	T

Setelah tahapan analisis risiko, langkah-langkah respons risiko dikembangkan untuk meningkatkan peluang keberhasilan proyek serta mengurangi ancaman yang terkait. Hal ini termasuk dalam proses perencanaan respons risiko yang diprioritaskan berdasarkan sumber risiko, yang sesuai dengan tuntutan manajemen proyek yang efektif (10). Respons risiko dapat dilakukan melalui wawancara dan data dari wawancara ini kemudian dianalisis secara kualitatif. Dengan demikian, integrasi berbagai metode seperti wawancara dan analisis *Bowtie*, dapat memperkuat pemahaman dan pengendalian terhadap risiko yang ada di laboratorium kimia.

Secara keseluruhan, penelitian ini menggarisbawahi pentingnya penggabungan berbagai metode dan kerangka kerja yang ada untuk memastikan bahwa manajemen risiko di

laboratorium kimia dilakukan secara komprehensif. Proses ini tidak hanya mencakup identifikasi dan penilaian risiko tetapi juga perencanaan dan respon terhadap risiko yang teridentifikasi, yang sesuai dengan praktik terbaik dalam bidang manajemen risiko (8)(13).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil awal dari penelitian menunjukkan bahwa terdapat 44 variabel risiko yang dikelompokkan menjadi lima kategori utama yang berkaitan dengan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) di laboratorium kimia. Kelima kategori tersebut meliputi Pekerjaan Persiapan Pengambilan Sampel dan Analisis, Penggunaan Instrumen dengan Tegangan Listrik, Pekerjaan Analisis Kualitas Air dan Udara, Pengambilan Sampel Air dan Udara, serta Pengelolaan Limbah. Uji validitas menunjukkan

bahwa variabel-variabel ini memiliki relevansi yang tinggi terhadap potensi bahaya yang ada di laboratorium, dan ditindaklanjuti dengan penilaian risiko menggunakan kuesioner yang disebar kepada responden yang tepat.

Analisis risiko berdasarkan Tabel 4 menunjukkan hasil yang signifikan; terdapat 1 tingkat risiko rendah, 7 risiko sedang, 33 risiko tinggi, dan 3 risiko ekstrim. Variabel risiko yang dikategorikan sebagai "Ekstrim" meliputi risiko yang sangat serius seperti instrumen kimia gagal akibat ledakan UPS, pekerja terjatuh dari ketinggian saat mengambil sampel, dan terkena tumpahan limbah kimia berbahaya. Hasil evaluasi secara keseluruhan menunjukkan bahwa

7% dari variabel risiko berada pada tingkat "Ekstrim," yang berarti risiko tersebut tidak dapat diterima tanpa adanya tindakan mitigasi yang tepat.

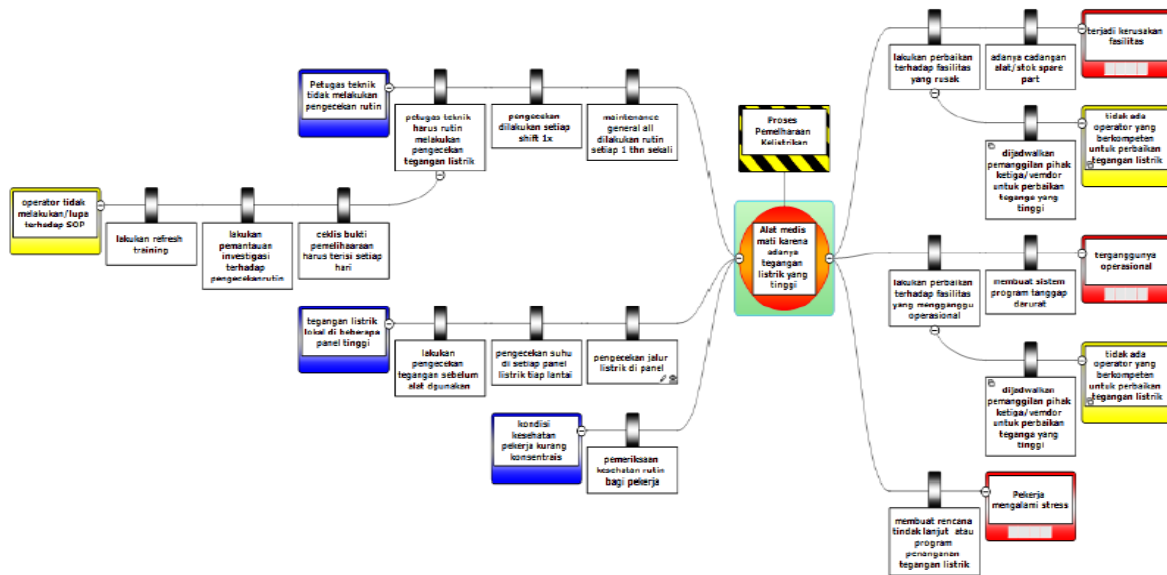
Metode *Bowtie* sangat efektif untuk mengidentifikasi dan menganalisis risiko di laboratorium kimia, mengingat metode ini memungkinkan visualisasi yang jelas mengenai hubungan sebab dan akibat serta langkah-langkah mitigasi yang diperlukan. Diagram *Bowtie* mengilustrasikan risiko-risiko ini serta tindakan pencegahan yang dapat diimplementasikan, misalnya, pemeriksaan berkala terhadap instrumen dan penerapan prosedur keselamatan yang ketat.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Penilaian Risiko Keseluruhan

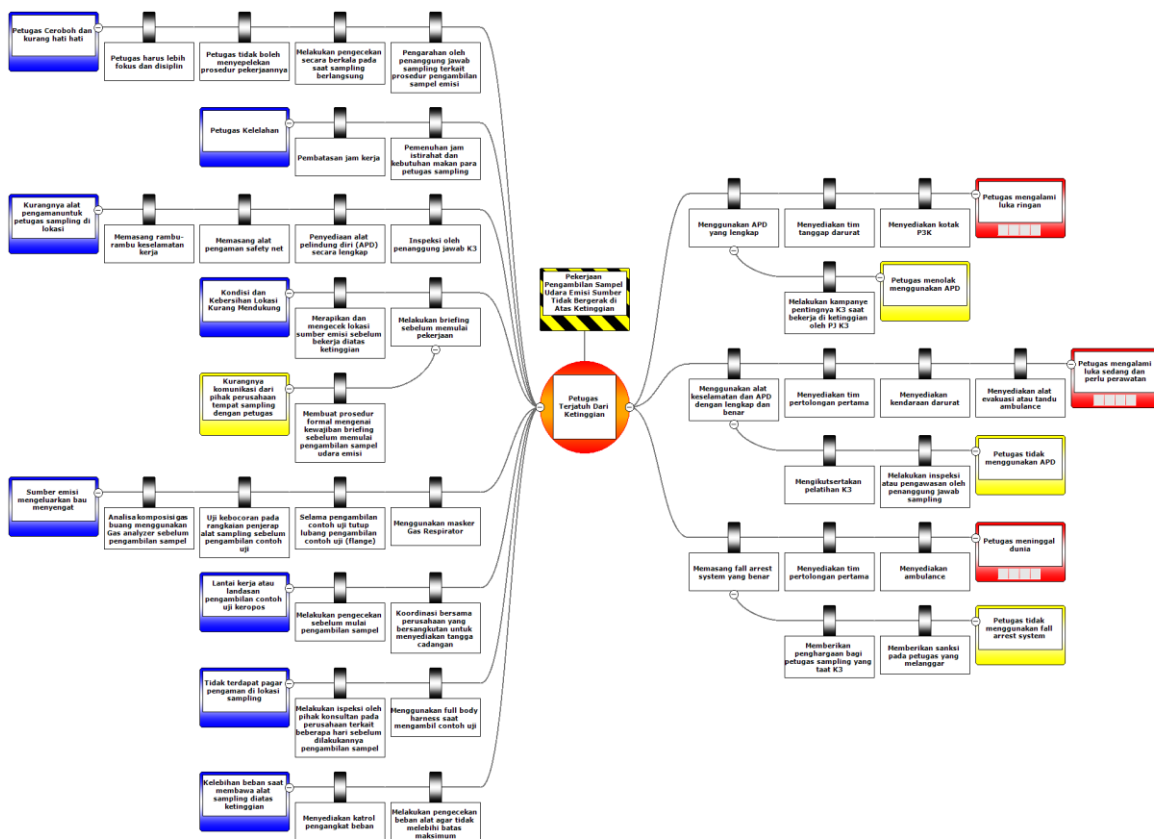
Item Pekerjaan	Hazard	Kode	Potential Risk	Level Risiko
Pekerjaan Persiapan Sampling dan Analisa	Penggunaan Larutan Kimia penjerap NO, SO, O ₃ , H ₂ S terkena kulit atau mata	1a	Iritasi kulit atau mata	T
	Menimbang bahan kimia fenol	1b	Luka bakar akibat fenol	T
		1c	Bau fenol yang menyengat menyebabkan pusing	T
		1d	Pekerja terjatuh	T
		1e	Pekerja tertimpa / terkena tumpahan bahan kimia	T
		1f	Pekerja tergores pecahan kaca	T
Pekerjaan Penggunaan Instrumen dengan Alat Bertegangan Listrik (Mechanical Electrical Plumbing/MEP)	Tegangan listrik terlalu tinggi untuk alat instrumen kimia yang digunakan analisa (AAS, Spektro, GC)	2a	Pekerja tersengat listrik	T
		2b	UPS alat mati akibat korsleting Listrik	S
		2c	Ledakan UPS	E
		2d	Tersengat listrik	T
		2e	Genset mati	S
	Penggunaan Alat sampling udara HVAS menggunakan sumber listrik	2f	Tersandung kabel saat memulai menghidupkan alat sampling HVAS	S
		2g	Korsleting alat sampling HVAS	R
		2h	Tersengat listrik	T
		2i	Percikan api akibat Korsleting Listrik	T
Pekerjaan Analisis	Memecahkan kaca carcoal saat uji BTEX	3a	Tergores pecahan kaca	T
		3b	Tertusuk pecahan kaca	T

Item Pekerjaan	Hazard	Kode	Potential Risk	Level Risiko
Kualitas Air dan Udara	Bahan kimia terhirup saat Melarutkan sampel dengan Larutan Asam	3c	Iritasi saluran Pernafasan	S
		3d	Bau asam yang menyengat menyebabkan pusing	T
	Tumpahan larutan kimia saat analisis sampel	3e	Iritasi pada kulit dan mata	T
	Blower ruang asam tidak berfungsi saat mereaksikan reagen dan sampel	3f	Mengeluarkan asap beracun yang menyebabkan pekerja pusing	T
	Ruang penyimpanan bahan yang disatukan	3g	Ledakan dan kebakaran akibat reaksi bahan oksidator dan Flamabble	T
	Mencuci dan membersihkan alat gelas bekas analisa	3h	Terkena goresan kaca	T
		3i	Keracunan	T
	Kebocoran Gas pada saat analisa menggunakan alat AAS dan GC	3j	Keracunan	T
		3k	Ledakan	T
		3l	Kebakaran	T
		4a	Terjatuh	T
Pengambilan Sampel Air dan Udara	Penggunaan alat sampling udara HVAS yang bebannya cukup berat	4b	Tertimpa alat saat Menaikan atau menurunkan alat sampling udara (HVAS)	T
		4c	Salah posisi yang menyebabkan Nyeri otot, patah tulang	T
		4d	Luka ringan hingga kematian	S
	Kecelakaan lalu lintas saat perjalanan	4e	Pekerja terjatuh dari ketinggian,	E
		4f	Pekerja tertimpa material/peralatan yang jatuh	T
	Sampling udara diatas ketinggian	4g	Menyebabkan infeksi saluran pernafasan,	T
		4h	Gangguan pendengaran akibat kebisingan	T
	Kabel terbuka pada Penggunaan alat dengan sumber listrik (Genset dan UVS)	4i	Tersengat listrik	S
		4j	Kosletting listrik	T
	Proses Pengambilan Sampel Air	4k	Keracunan	T
		4l	Tergelincir	T
		4m	Tenggelm	T
		4n	Kontaminasi dari Air Limbah	S
Pengelolaan Limbah	Tempat pembuangan limbah disatukan	5a	Reaksi bahan kimia dapat menyebabkan ledakan,	T
		5b	Reaksi bahan kimia dapat menyebabkan bau tak sedap dan asap beracun	T
	Mengangkut jerigen limbah bahan kimia ke tempat penyimpanan	5c	Terkena tumpahan limbah kimia berbahaya	E

Sumber: Pengolahan Data, 2024



Gambar 1. Diagram *Bowtie* pada variabel risiko 2c (Ekstrim) (Instrumen kimia mati akibat faktor UPS)



Gambar 2. Diagram *Bowtie* Risiko Ekstrim 4c (Jatuh dari Ketinggian saat Pengambilan Sampel Emisi Tidak Bergerak Cerobong)

Pembahasan

Identifikasi risiko kecelakaan kerja menggunakan metode *Bowtie* mengungkapkan bahwa pekerjaan analisis di laboratorium menghadapi berbagai risiko, terutama dari peralatan listrik dan instrumentasi yang berhubungan dengan bahan kimia. Kesalahan seperti korsleting peralatan bisa berujung pada kecelakaan kerja yang serius (8)(14). Pengendalian terhadap risiko ini harus dilakukan dengan ketat, termasuk pemeriksaan rutin dan perawatan berkala pada peralatan untuk memastikan semua fungsi bekerja sesuai standar (5)(15).

Penelitian terdahulu oleh Lazuardi et al. juga mengidentifikasi kegagalan sistem listrik sebagai risiko dominan di laboratorium, yang diperparah oleh inspeksi yang tidak konsisten. Temuan ini selaras dengan rekomendasi pemeriksaan rutin dan perawatan berkala dalam penelitian ini (16). Studi Aziz & Said pada platform gas lepas pantai menegaskan bahwa kontrol teknis berbasis *Bowtie* efektif mengurangi risiko teknis, mendukung urgensi penerapan standar elektrik yang ketat (1).

Faktor eskalasi seperti ketidakpatuhan terhadap prosedur operasional standar (SOP) dapat memperburuk situasi. Irianto et al. dalam analisis risiko konstruksi menemukan bahwa 75% insiden disebabkan oleh penyimpangan SOP, terutama pada pekerja dengan pelatihan terbatas. Hal ini memperkuat argumen penelitian ini tentang pentingnya pelatihan rutin dan sosialisasi SOP (4). Martzarini, Yuswanto &

Bachtiar menekankan bahwa ketaatan SOP mengurangi frekuensi insiden kecelakaan kerja yang relevan dengan rekomendasi penyempurnaan prosedur (17).

Pada pengelolaan limbah, penerapan prosedur yang benar mulai dari pemisahan limbah berdasarkan karakteristik hingga penggunaan wadah yang sesuai sangat penting untuk mencegah dampak negatif terhadap kesehatan dan lingkungan (18). Nawawi et al. menambahkan bahwa prosedur pelaporan insiden yang cepat dapat mengurangi dampak kesehatan hingga 50%, memperkuat rekomendasi pertolongan pertama dan pelaporan sistematis (10).

Dengan mengintegrasikan semua komponen ini ke dalam sistem manajemen risiko yang komprehensif, kita dapat secara signifikan mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan serta meningkatkan keselamatan di lingkungan laboratorium kimia. Rachmawati et al. dalam penerapan metode *Bowtie* di rumah sakit menyimpulkan bahwa visualisasi risiko kausal dan kontrol mitigasi meningkatkan respons kebencanaan hingga 60% (19).

4. KESIMPULAN

Metode *Bowtie* mengidentifikasi potensi bahaya dan menentukan langkah mitigasi yang efektif. Risiko ekstrem yang teridentifikasi adalah ledakan UPS, pekerja terjatuh saat pengambilan sampel, dan paparan limbah berbahaya. Faktor penyebab utama meliputi ketidakpatuhan prosedur, kurangnya alat pengaman, dan penyimpanan limbah yang tidak

sesuai. Mitigasi yang direkomendasikan mencakup pemeriksaan rutin, penggunaan APD lengkap, serta pelatihan K3. Implementasi strategi ini diharapkan dapat meningkatkan keselamatan kerja di laboratorium.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat serta memberikan dukungan dan kontribusi yang besar dalam penelitian ini sehingga penelitian ini bisa diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abdul Aziz MA, Md Said MS. ALARP Demonstration in Management of Change Using Quantitative *Bowtie* Analysis Risk Assessment Tool for an Offshore Gas platform. *Process Saf Prog* [Internet]. 2023 Jun 23;42(2):310–27. Available from: <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/prs.12420>
2. Apriyanti T, Sukwika T, Prinajati PD. Implementation of Occupational Safety and Health Management System as an Effort to Prevent Occupational Accidents in the Food Industry. *J Appl Manag Res* [Internet]. 2024 Jan 14;3(2):62–70. Available from: <https://jurnal.usahid.ac.id/jamr/article/view/1782>
3. Ginza R, Sukwika T. Implementation of Occupational Safety and Health at PT Menarini Indria Laboratories Bekasi. *J Appl Manag Res* [Internet]. 2024 Dec 24;4(2):85–93. Available from: <https://jurnal.usahid.ac.id/jamr/article/view/2025>
4. Irianto D, Basriman I, Sukwika T. Pengembangan Model Metode HIRADC dalam Analisis Risiko Bekerja di Ketinggian Pada Proyek Konstruksi PT. X di Jabodetabek. *J Ind Hyg Occup Heal*. 2022;7(1):53.
5. Karahan A, Aydoğmuş V. Risk Analysis and Risk Assessment of Laboratory Work by Fine Kinney Method. *Int J Adv Nat Sci Eng Res* [Internet]. 2023;7(4):442–6. Available from: <https://as-proceeding.com/index.php/ijanser/article/view/788>
6. Estri Kartika, Endang Purnawati Rahayu, Kamali Zaman, Herniwanti, Nopriadi. Analisis Manajemen Risiko dengan Metode AS/NZS 4360:2004 pada Tangki Timbun Minyak di Riau. *Afiasi J Kesehat Masy* [Internet]. 2022 Apr 30;7(1):218–26. Available from: <https://afiasi.unwir.ac.id/index.php/afiasi/article/view/193>
7. Zidan MI, Safrudin YN, Susanto H. Perancangan Usulan Pengendalian Risiko di Departemen Production & Administration Support Pada PT. Xyz Menggunakan Metode Hazard Identification Risk Assesment & Risk Control (Hirarc) dan *Bowtie* Analysis. *e-Proceeding Eng*. 2025;12(1):951–61.
8. Musril HA, Fauzi R. Perancangan Sistem Informasi Pengelolaan Laboratorium

- Terpadu Universitas Islam Negeri (UIN) Bukittinggi. JISED J Inf Syst Educ Dev. 2023;1(3):12–8.
9. Bhayangkara AH, Setyawan A, Handayani FS. Analisis Kecelakaan Kerja Pada Struktur Bawah Blending Silo Proyek “EPC Talavera” Tuban Menggunakan Metode *Bowtie*. J Ris Rekayasa Sipil. 2023;7(1):40.
 10. Nawawi BM, Sukwika T, Hasibuan B. Penerapan Sistem Manajemen K3 dan Pengaruhnya pada Pengetahuan Perawat Rumah Sakit. JI-KES (Jurnal Ilmu Kesehatan). 2023;6(2):110–5.
 11. Haryanti DR, Hutomo M. Analisis Manajemen Risiko Operasional berbasis ISO 31000:2018 terhadap Perusahaan Logistik. J Simki Econ [Internet]. 2024 Aug 31;7(2):631–42. Available from: <https://jipred.org/index.php/JSE/article/view/709>
 12. Sitanggang PA, Sitanggang FA. Analisis Implementasi Manajemen Risiko Berdasarkan SNI ISO 31000:2018 (Studi Kasus: Sparepart Personal Computer Second Jambi). Eksis J Ilm Ekon dan Bisnis [Internet]. 2022 Jun 3;13(1):12. Available from: <http://eksis.unbari.ac.id/index.php/EKSIS/article/view/293>
 13. Montero VJ, Logrosa G, Calorio JL, Lato JI, Hassall M, Mata MA. Risk Modeling with *Bowtie* Method for Decision-Making Towards Public Health and Safety. Saf Sci [Internet]. 2025 May;185:106777. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925753525000025>
 14. Setianingsih D, Hasyim Asyari. Hazard Identification Using Task Risk Assessment Method and *Bowtie* Analysis (Case Study: PT. Varia Usaha Beton). J Sist Tek Ind [Internet]. 2024 Jan 29;26(1):103–12. Available from: <https://talenta.usu.ac.id/jsti/article/view/14417>
 15. Alencar MH, Silva LMR, Bhardwaj U, Soares CG. Risk Identification and *Bowtie* Analysis for Risk Management of Subsea Pipelines. 33rd Eur Saf Reliab Conf. 2023;3–7.
 16. Lazuardi MR, Sukwika T, Kholil K. Analisis Manajemen Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja Menggunakan Metode HIRADC pada Departemen Assembly Listrik. J Appl Manag Res [Internet]. 2022 Jul 30;2(1):11–20. Available from: <http://jurnal.usahid.ac.id/index.php/jamr/article/view/811>
 17. Martzarini V, Yuswanto TJA, Bachtiar A. Pengetahuan Perawat Kamar Operasi tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Sebagai Penentu Kepatuhan Terhadap Standard Operating Procedure Penggunaan Alat Pelindung Diri. J Penelit Kesehat Suara Forikes. 2024;15(4):619–22.
 18. Tinambunan NA, Sukwika T, Ramli S.

Implementasi Manajemen Risiko pada Rumah Sakit Kota Bogor Menggunakan Analisis *Bowtie*. Jambura J Heal Sci Res [Internet]. 2024 Oct 21;6(4):503–18. Available from: <https://ejurnal.ung.ac.id/index.php/jjhsr/ar>

ticle/view/27576

19. Rachmawati A, Sukwika T, Ramli S. Implementation of Hospital Risk Management Using *Bowtie* Method. J Mantik. 2022;6(2):2616–23.