

Analisis Penerapan K3 di Laboratorium dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis dan Fault Tree Analysis di PT Mutuagung Lestari

Abdul Aziz Syarif, Yetti Meuthia Hasibuan, Alief Nugraha*

Department of Industrial Engineering, Faculty Engineering and Computers, Harapan Medan University, Medan 20216, Indonesia.

Article Info	Abstract
<i>Article history:</i> Received November 13, 2025 Accepted July 16, 2026 <i>Keywords:</i> Occupational Health and Safety (OHS); Laboratory Safety; FMEA; FTA; Risk Assessment; Corrective Actions.	<i>Occupational Health and Safety (OHS) is a critical component in high-risk laboratory environments. This study analyzes the implementation of safety measures in the laboratory of PT Mutuagung Lestari using Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) and Fault Tree Analysis (FTA). Accident and incident data from the past year were examined to identify failure modes, root causes, effects, and risk levels. The FMEA results indicate that failure modes with the highest Risk Priority Numbers (RPN), such as gas leaks and electrical short circuits, require immediate corrective action. The FTA further reveals that equipment malfunction and human error are the primary contributors to laboratory accidents. Although several OHS protocols are currently in place, shortcomings remain in equipment maintenance and safety supervision. Recommended improvements include strengthening preventive maintenance, redesigning critical work areas, and enhancing safety training programs. The findings provide actionable insights for developing a more robust OHS management system and offer practical implications for reducing accident risks and improving laboratory operational reliability.</i>

1. PENDAHULUAN

Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) merupakan komponen fundamental dalam operasional industri, terutama di laboratorium yang diklasifikasikan sebagai lingkungan kerja berisiko tinggi (Goetsch, 2014). Secara global, insiden laboratorium terus meningkat, dengan banyak kasus terkait paparan bahan kimia berbahaya, kebakaran, kebocoran gas, dan kegagalan peralatan. Tren ini sejalan dengan kondisi di Indonesia, di mana data kecelakaan kerja menunjukkan bahwa sektor laboratorium masih memiliki celah yang signifikan dalam penerapan K3 standar internasional (Lestari, 2020). Hal ini menegaskan urgensi perlunya evaluasi sistematis terhadap pengendalian bahaya laboratorium.

PT Mutuagung Lestari, sebagai perusahaan jasa pengujian, inspeksi, dan sertifikasi, mengoperasikan berbagai laboratorium dengan paparan risiko yang kompleks. Data historis kecelakaan di laboratorium perusahaan menunjukkan kejadian seperti korsleting listrik, paparan gas berbahaya, dan cedera ergonomis. Selain itu, beberapa area kerja juga ditemukan belum sepenuhnya memenuhi persyaratan keselamatan pada ISO/IEC 17025, khususnya terkait desain ruang kerja dan pemeliharaan peralatan. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara standar keselamatan yang seharusnya diterapkan dan praktik aktual di lapangan.

Sejumlah penelitian terkait penerapan K3 di laboratorium sebelumnya umumnya hanya fokus pada identifikasi bahaya secara umum tanpa pendekatan kuantitatif yang mendalam (Susanto & Indriani, 2021). Kebaruan dari penelitian ini terletak pada penggunaan kombinasi metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA) dalam menganalisis risiko laboratorium. Pendekatan FMEA memungkinkan penilaian risiko secara terstruktur berdasarkan Risk Priority Number (RPN), sedangkan FTA

*Corresponding author: Alief Nugraha
Email address: Alifnugraha123@gmail.com

memberikan pemetaan penyebab kecelakaan secara lebih komprehensif. Kombinasi kedua metode ini telah terbukti efektif dan banyak diaplikasikan diberbagai sektor, seperti industri otomotif (Liu *et al.*, 2013; Aditya & Nugroho, 2022), manufaktur (Sari & Hasanah, 2022), serta kontruksi (Setiawan & Kuniawan, 2019), namun masih jarang diterapkan dalam evaluasi K3 di laboratorium jasa sertifikasi di Indonesia.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan K3 di laboratorium PT Mutuagung Lestari secara lebih mendalam dengan mengidentifikasi mode kegagalan, menentukan akar penyebab risiko, dan memberikan rekomendasi perbaikan berbasis data. Hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi pada peningkatan keselamatan internal perusahaan tetapi juga memberikan referensi praktis bagi laboratorium lain dalam memperkuat sistem manajemen keselamatan kerja.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan studi kasus pada laboratorium PT Mutuagung Lestari, Medan. Penelitian dilaksanakan pada periode Mei–Juli 2024 dan difokuskan pada proses identifikasi bahaya, penilaian risiko, serta analisis akar penyebab kecelakaan kerja di lingkungan laboratorium. Metodologi penelitian disusun dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui dua sumber:

1. Data Primer

- a. Wawancara terstruktur dengan penanggung jawab K3, supervisor laboratorium, dan analis/per technician.

Wawancara bertujuan untuk mendapatkan gambaran mengenai:

- Prosedur K3 yang sedang berjalan
- Riwayat kecelakaan dan insiden
- Pelaksanaan inspeksi K3
- Pemeliharaan peralatan laboratorium

- b. Observasi langsung pada aktivitas laboratorium untuk:

- Mengidentifikasi potensi bahaya
- Menilai kondisi fasilitas kerja
- Mengamati kepatuhan pekerja terhadap SOP

2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari:

- Profil perusahaan
- Dokumen kecelakaan dan insiden kerja selama satu tahun terakhir
- SOP laboratorium
- Dokumen pemeliharaan peralatan
- Catatan audit internal dan eksternal ISO/IEC 17025

2.2 Identifikasi Potensi Bahaya dan Mode Kegagalan

Tahap awal dilakukan dengan mengidentifikasi seluruh potensi kecelakaan kerja (*hazard identification*) merujuk pada prinsip penilaian bahaya komprehensif (Sullivan & Miller, 2020) melalui:

1. Hasil observasi
2. Data kecelakaan historis

3. Informasi dari wawancara personel K3

Setiap potensi bahaya kemudian ditetapkan sebagai mode kegagalan (failure mode) yang akan dianalisis dalam FMEA.

2.3 Penilaian Risiko Menggunakan FMEA

Analisis Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) dilakukan untuk menilai tingkat risiko setiap mode kegagalan secara terstruktur (Piest, 1996; Alijoyo *et al.*, 2020). Proses FMEA mencakup:

1. Menilai Severity (S) — tingkat keparahan dampak kegagalan
2. Menilai Occurrence (O) — frekuensi kemungkinan terjadinya kegagalan
3. Menilai Detection (D) — kemampuan sistem mendeteksi potensi kegagalan

Skala penilaian menggunakan rentang 1–10 merujuk pada Nuchpho *et al.* (2014). *Risk Priority Number* (RPN) dihitung menggunakan rumus:

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

Mode kegagalan kemudian diprioritaskan berdasarkan nilai RPN. Mode kegagalan dengan nilai RPN tertinggi dipilih untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan FTA.

2.4 Analisis Akar Penyebab Menggunakan FTA

Fault Tree Analysis (FTA) digunakan sebagai metode deduktif (Ericson, 2015) untuk:

1. Mengidentifikasi akar penyebab (root causes) dari kejadian puncak (top event)
2. Menyusun diagram pohon kesalahan (fault tree)
3. Menganalisis hubungan logis antar penyebab menggunakan gerbang AND/OR

Analisis dilakukan secara kualitatif untuk memahami struktur penyebab dan menentukan faktor dominan yang berkontribusi terhadap kecelakaan laboratorium.

2.5 Formulasi Rekomendasi Perbaikan

Berdasarkan hasil FMEA dan FTA, langkah selanjutnya adalah:

1. Mengidentifikasi prioritas perbaikan
2. Menyusun rekomendasi berdasarkan hirarki pengendalian bahaya (eliminasi, substitusi, engineering control, administrative control, PPE)
3. Menyelaraskan rekomendasi dengan persyaratan ISO/IEC 17025 dan peraturan K3 nasional

2.6 Validasi dan Penyusunan Kesimpulan

Rekomendasi diverifikasi melalui:

1. Diskusi dengan penanggung jawab K3
2. Konsultasi teknis dengan supervisor laboratorium

Hasil akhir disusun dalam bentuk analisis deskriptif yang menggambarkan tingkat risiko, akar masalah, serta usulan perbaikan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Evaluasi Penerapan K3 Dan Desain Ruang Kerja

Hasil dari pengukuran desain ruang kerja menunjukkan beberapa parameter belum memenuhi standar ISO 17025, seperti luas per orang (aktual 4 m², standar 5-7 m²), jarak antar peralatan (aktual 0,8 m, standar 1 m), dan lebar jalur evakuasi (aktual 0,9 m, standar

1m) dan Penerapan K3 di laboratorium PT Mutuagung Lestari secara umum telah berjalan dengan adanya penggunaan Alat Pelindung Diri (APD), pemeriksaan rutin peralatan, dan pelatihan keselamatan. Namun, masih ditemukan beberapa kelemahan. Data kecelakaan kerja selama tahun 2023 (Tabel 1) menunjukkan insiden seperti kebakaran kecil, paparan bahan kimia, dan kebocoran gas.

Tabel 1.

Rekapitulasi Data Kecelakaan Kerja di Laboratorium PT Mutuagung Lestari Tahun 2023

No.	Jenis Kecelakaan	Penyebab Utama	Dampak Utama
1	Kebakaran kecil	Korsleting listrik peralatan pemanas	Kerusakan alat, luka ringan operator
2	Cedera akibat paparan radiasi	Kebocoran radiasi alat sinar UV	Risiko kanker
3	Mata terkena percikan bahan kimia	Safety shower tidak berfungsi	Iritasi mata
4	Kebocoran gas	Kebocoran pada pipa	Evakuasi; risiko ledakan
5	Cedera fisik karena ruang kerja sempit	Desain ruangan yang buruk	Memar pada kaki
6	Terpapar bahan kimia akibat kebocoran	Kebocoran bahan kimia dari peralatan	Iritasi kulit dan mata
7	Luka sayatan alat gelas pecah	Tergores alat gelas yang pecah	Luka pada tangan
8	Ledakan kecil akibat kebocoran gas	Kebocoran pada pipa (penyebab lain dari no. 4)	Kerusakan peralatan

(Sumber: Pengolahan Data)

Analisis awal menunjukkan bahwa 75% kecelakaan terkait peralatan, sedangkan 25% terkait faktor manusia atau ergonomi..

3.2 Analisis Mode Kegagalan Dan Efek (FMEA)

Analisis FMEA mengidentifikasi beberapa mode kegagalan potensial. Tabel 2 menyajikan ringkasan penilaian risiko untuk mode kegagalan yang paling signifikan.

Tabel 2.

Hasil Penilaian Risiko FMEA Terpilih

Mode Kegagalan	S	O	D	RPN	Prioritas
Kebocoran radiasi dari alat sinar UV	9	3	6	162	1
Kebocoran gas pada pipa	8	4	5	160	2
Desain ruang kerja yang buruk	5	6	5	150	3
Korsleting listrik pada alat pemanas	7	4	5	140	4
Pecahan alat gelas	4	5	6	120	5
Safety shower tidak berfungsi	6	3	6	108	6
Kebocoran bahan kimia dari peralatan	7	3	5	105	7
Overpressure pada autoklaf	8	3	4	96	8
Kebocoran gas menyebabkan ledakan kecil	9	2	5	90	9

Klasifikasi tingkat resiko berdasarkan rentang RPN yaitu RPN Range 1-99 (Rendah), 100-149 (Sedang), ≥ 150 (Tinggi). Berdasarkan data tabel 2 maka terdapat tiga mode dengan resiko tinggi, 4 mode dengan resiko sedang dan 2 mode dengan resiko rendah.

3.3 Analisis Fault Tree Analysis (FTA) Untuk Risiko Prioritas

Untuk tiga mode kegagalan dengan RPN tertinggi, maka dilakukan analisis FTA untuk mengidentifikasi akar penyebabnya.

1. Kebocoran Radiasi pada Alat Sinar UV (RPN 162)
Penyebab dasarnya meliputi kerusakan segel atau proteksi alat (akibat usia alat tua atau kualitas segel buruk), kesalahan dalam pengoperasian alat (penggunaan tidak sesuai atau kurangnya pelatihan), dan tidak adanya pemeriksaan rutin (jadwal tidak dilakukan atau tidak ada prosedur). Akumulasi penyebabnya yaitu faktor peralatan 60%, faktor manusia (human error) 25%, faktor manajemen (ketidakteraturan inspeksi) 15%.
2. Kebocoran Gas pada Pipa (RPN 160)
Akar penyebabnya adalah kerusakan pipa (akibat usia pipa tua atau kualitas material buruk), koneksi pipa longgar (instalasi tidak sesuai atau kurangnya pemeliharaan), dan tidak adanya deteksi kebocoran (sistem deteksi tidak berfungsi atau inspeksi rutin tidak dilakukan). Akumulasi penyebabnya yaitu kerusakan material pipa 55%, sambungan longgar 30%, sistem deteksi gagal 15%.
3. Desain Ruang Kerja yang Buruk (RPN 150) Penyebabnya antara lain ruang terbatas (akses terbatas ke jalur evakuasi, tata letak kerja padat), masalah ergonomi (peralatan sulit dijangkau, tinggi meja tidak sesuai), dan penempatan APD yang tidak strategis (alat keselamatan sulit dijangkau, penggunaan APD tidak optimal). Akumulasi penyebabnya yaitu keterbatasan ruang fisik 50%, masalah ergonomi 35%, dan penempatan APD tidak optimal 15%.

3.4 Pembahasan

Hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa tiga risiko utama di laboratorium PT Mutuagung Lestari adalah kebocoran radiasi dari alat sinar UV, kebocoran gas dari sistem perpipaan, dan desain ruang kerja yang buruk. Ketiga risiko ini memiliki nilai RPN tertinggi sehingga menjadi prioritas utama dalam penyusunan rekomendasi mitigasi. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa risiko di laboratorium umumnya dipengaruhi oleh kondisi peralatan, tata letak ruang, dan kepatuhan terhadap prosedur keselamatan.

Analisis FTA memperkuat temuan FMEA dengan mengidentifikasi akar penyebab dari setiap risiko prioritas. Sebagian besar akar penyebab berasal dari faktor teknis seperti usia peralatan, kerusakan komponen, kualitas material yang kurang baik, hingga kurangnya pemeliharaan preventif. Faktor manusia juga berkontribusi melalui kesalahan operasional akibat pelatihan yang belum optimal. Selain itu, keterbatasan inspeksi rutin dan ketiadaan sistem deteksi otomatis turut memperbesar kemungkinan terjadinya insiden. Kelemahan desain ruang kerja, seperti jalur evakuasi yang sempit, jarak antar peralatan yang tidak sesuai standar, dan penempatan APD yang kurang strategis, juga menyebabkan peningkatan nilai risiko untuk mode kegagalan terkait tata letak.

Hasil analisis ini memiliki implikasi penting bagi implementasi K3 di laboratorium. Pertama, tingginya proporsi risiko yang berasal dari peralatan dan pemeliharaan menunjukkan perlunya peningkatan program preventive maintenance secara terstruktur dan terjadwal. Kedua, temuan mengenai desain ruang kerja yang tidak memenuhi standar ISO/IEC 17025 mengindikasikan bahwa aspek desain ruang perlu diprioritaskan dalam proses re-layout atau renovasi untuk meningkatkan keselamatan dan kenyamanan kerja. Ketiga, kontribusi signifikan dari faktor manusia menunjukkan perlunya penguatan kapasitas pekerja melalui pelatihan K3 yang lebih komprehensif dan dilakukan secara berkelanjutan. Dengan menerapkan rekomendasi tersebut, laboratorium dapat menurunkan risiko kecelakaan secara signifikan dan meningkatkan keandalan operasional.

Penelitian ini juga memberikan implikasi praktis bagi manajemen dalam pengambilan keputusan terkait alokasi anggaran K3, prioritas perbaikan fasilitas, dan perencanaan

pelatihan. Dalam konteks lebih luas, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi laboratorium lain yang memiliki kondisi serupa, terutama dalam mengintegrasikan FMEA dan FTA sebagai alat evaluasi risiko laboratorium. Integrasi kedua metode ini terbukti mampu memberikan gambaran risiko yang lebih komprehensif dan dapat menjadi dasar dalam penyusunan kebijakan keselamatan kerja.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) di laboratorium PT Mutuagung Lestari melalui pendekatan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA). Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Identifikasi potensi bahaya menunjukkan bahwa laboratorium masih menghadapi berbagai risiko, terutama terkait paparan radiasi UV, kebocoran gas, bahaya bahan kimia, dan desain ruang kerja yang tidak memenuhi standar ISO/IEC 17025. Data kecelakaan kerja tahun 2023 menegaskan bahwa sebagian besar insiden dipicu oleh kegagalan peralatan dan tata letak ruang yang kurang aman.
2. Hasil analisis FMEA mengidentifikasi tiga mode kegagalan dengan tingkat risiko tertinggi, yaitu kebocoran radiasi dari alat sinar UV (RPN 162), kebocoran gas pada pipa (RPN 160), dan desain ruang kerja yang buruk (RPN 150). Ketiga mode ini menyumbang lebih dari 40% total nilai risiko laboratorium, sehingga menjadi prioritas utama dalam strategi mitigasi.
3. Analisis FTA memastikan bahwa akar penyebab utama dari risiko tersebut berasal dari kegagalan pemeliharaan peralatan, kualitas material yang tidak memadai, kurangnya inspeksi rutin, keterbatasan ruang dan ergonomi, serta kompetensi pekerja yang belum optimal. Faktor-faktor ini saling berkontribusi dalam meningkatkan peluang terjadinya insiden.
4. Rekomendasi perbaikan yang disusun mencakup peningkatan program preventive maintenance untuk peralatan kritis, penggantian komponen tua atau berisiko, penguatan sistem deteksi kebocoran, redesain tata letak laboratorium agar memenuhi aspek ergonomi dan keselamatan, serta pelatihan K3 yang lebih intensif dan berkelanjutan bagi seluruh pekerja. Implementasi rekomendasi ini diharapkan mampu menurunkan tingkat risiko secara signifikan dan meningkatkan keandalan operasional laboratorium.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam memperkuat sistem manajemen risiko K3 di laboratorium dengan menunjukkan bahwa integrasi metode FMEA dan FTA dapat mengidentifikasi sumber risiko secara komprehensif serta menghasilkan strategi mitigasi yang lebih tepat sasaran.

5. REFERENSI

1. Aditya, R. & Nugroho, A. 2022. Implementasi Analisis FMEA dan FTA untuk Meningkatkan Keselamatan Kerja di Industri Otomotif. *Jurnal Teknik dan Manajemen Industri*, 24(3), 112-124.
2. Alijoyo, E., Santoso, T. B. & Wibowo, S. 2020. Penggunaan Skala Peringkat dalam Penilaian Risiko: Pendekatan Kualitatif dan Kuantitatif. *Jurnal Metode dan Teknik Penelitian*, 18(1), 55-66.
3. Ericson, C. A. 2015. Fault Tree Analysis: A History. *Risk Analysis*, 35(6), 1178-1184.
4. Goetsch, D. L. 2014. *Occupational Safety and Health for Technologists, Engineers, and Managers*. Edisi ke-8. Pearson.

5. International Organization for Standardization (ISO). 2017. *ISO/IEC 17025:2017 - General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. ISO.
6. Lestari, N. A. 2020. Analisis Risiko Keselamatan Kerja Berdasarkan Standar Internasional. *Jurnal Keselamatan dan Kesehatan Lingkungan*, 17(2), 78-89.
7. Liu, C. H., Lee, C. Y. & Chang, H. J. 2013. Application of Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) and (FTA) in the Automotive Industry. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27(4), 1139-1147.
8. Nuchpho, P., Khedari, J. & Chirarattananon, S. 2014. Application of Fuzzy Logic for Risk Assessment in Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(8), 04014047.
9. Priest, S. 1996. *Risk Assessment and Management: A Guide for Engineers and Managers*. John Wiley & Sons.
10. Sari, L. R. & Hasanah, U. 2022. Analisis Risiko Kesehatan dan Keselamatan Kerja di Industri Manufaktur dengan Metode FMEA dan FTA. *Jurnal Teknik Industri*, 23(1), 55-65.
11. Setiawan, B. & Kurniawan, A. 2019. Evaluasi dan Analisis Risiko Keselamatan Kerja di Sektor Konstruksi Menggunakan FMEA dan FTA. *Jurnal Kesehatan dan Keselamatan Kerja*, 14(1), 45-57.
12. Sullivan, T. & Miller, L. 2020. *Hazard Identification and Risk Assessment: A Comprehensive Guide*. Edisi ke-3. CRC Press.
13. Susanto, Y. & Indriani, R. 2021. Penerapan Metode FMEA dan FTA dalam Manajemen Risiko di Laboratorium Kimia: Studi Kasus di PT XYZ. *Jurnal Manajemen Risiko*, 16(2), 72-84.