



## Inovasi Manajemen K3 Laboratorium Pendidikan Tinggi

**Ariel Natanael Rengkuan**

Jurusan Biologi, FMIPAK, Universitas Negeri Manado, Indonesia

\*Penulis Korespondensi: [arielrengkuan@unima.ac.id](mailto:arielrengkuan@unima.ac.id)

**Abstract.** *Occupational Safety and Health (K3) in university laboratories is a crucial factor in ensuring the smooth running of education, research, and service activities. This research aims to identify and evaluate the K3 management innovations that have been implemented in university laboratories in the last decade to reduce the risk of accidents and build a sustainable safety culture. The methodology used was a systematic literature review of 50 publications for the period 2015–2025, with data sources from Google Scholar, Web of Science, and Scopus indexed journals. The thematic analysis groups innovation into three main categories: digital technology, procedural innovation, and safety culture. The results show that digital technologies such as the Internet of Things, K3 dashboards, and inspection applications can reduce the number of accidents by up to 27%. Procedural innovations, including digital checklists and adaptive SOPs, increased compliance by 35%, while a safety culture based on gamification training and online campaigns increased awareness by up to 40%. These findings confirm that an integrated approach between technology, procedures, and culture provides the most optimal results. This study contributes to the development of an integrated K3 management model and opens up opportunities for further research related to the application of artificial intelligence in laboratory safety systems.*

**Keywords:** *College Laboratories; Digital Technologies; Occupational Safety; Risk Management; Safety Culture.*

**Abstrak.** Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di laboratorium perguruan tinggi merupakan faktor krusial dalam menjamin kelancaran kegiatan pendidikan, penelitian, dan pengabdian. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dan mengevaluasi inovasi manajemen K3 yang telah diimplementasikan di laboratorium perguruan tinggi dalam satu dekade terakhir untuk menurunkan risiko kecelakaan dan membangun budaya keselamatan yang berkelanjutan. Metodologi yang digunakan adalah tinjauan literatur sistematis terhadap 50 publikasi periode 2015–2025, dengan sumber data dari Google Scholar, Web of Science, dan jurnal terindeks Scopus. Analisis tematik mengelompokkan inovasi ke dalam tiga kategori utama: teknologi digital, inovasi prosedural, dan budaya keselamatan. Hasil menunjukkan bahwa teknologi digital seperti Internet of Things, dashboard K3, dan aplikasi inspeksi mampu menurunkan angka kecelakaan hingga 27%. Inovasi prosedural, termasuk digital checklist dan SOP adaptif, meningkatkan kepatuhan 35%, sedangkan budaya keselamatan berbasis pelatihan gamifikasi dan kampanye daring meningkatkan kesadaran hingga 40%. Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan terintegrasi antara teknologi, prosedur, dan budaya memberikan hasil paling optimal. Studi ini berkontribusi pada pengembangan model manajemen K3 terpadu dan membuka peluang penelitian lanjutan terkait penerapan kecerdasan buatan dalam sistem keselamatan laboratorium.

**Kata kunci:** budaya keselamatan; keselamatan kerja; laboratorium perguruan tinggi; manajemen risiko; teknologi digital.

### 1. LATAR BELAKANG

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di laboratorium perguruan tinggi merupakan salah satu pilar utama yang memastikan keberlangsungan proses pendidikan, penelitian, dan pengabdian masyarakat. Laboratorium, sebagai ruang kerja yang memiliki tingkat risiko tinggi, menjadi tempat berkumpulnya beragam potensi bahaya yang berasal dari bahan kimia beracun, peralatan bertegangan tinggi, suhu ekstrem, serta risiko kebakaran dan ledakan (Putra & Sari, 2021). Risiko-risiko ini tidak hanya mengancam keselamatan pengguna laboratorium seperti mahasiswa, teknisi, instruktur, dan peneliti, tetapi juga berpotensi menyebabkan kerugian material, gangguan operasional, dan reputasi institusi. Oleh karena itu, manajemen K3 yang

efektif tidak sekadar menjadi tuntutan regulasi, tetapi merupakan kebutuhan strategis untuk menjamin kelancaran dan keberlanjutan aktivitas akademik di laboratorium perguruan tinggi.

Berbagai penelitian menggarisbawahi bahwa faktor penyebab utama terjadinya kecelakaan di laboratorium pendidikan tinggi meliputi kurangnya fasilitas keselamatan, lemahnya pengawasan, dan kegagalan dalam penerapan protokol kerja (Abdullah et al., 2020). Pergantian pengguna laboratorium yang tinggi, khususnya di kalangan mahasiswa baru setiap tahun ajaran, memperkuat urgensi pelaksanaan program pelatihan keselamatan secara berkelanjutan. Hal ini sejalan dengan temuan Gamage et al. (2017) yang menegaskan bahwa sistem manajemen risiko berbasis pendidikan dan pelatihan dapat secara signifikan mengurangi tingkat insiden di lingkungan laboratorium.

Di era transformasi digital, inovasi teknologi telah membuka peluang besar bagi penguatan sistem K3 di laboratorium perguruan tinggi. Pemanfaatan Internet of Things (IoT) untuk pemantauan parameter lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan kadar gas berbahaya secara real-time menjadi salah satu terobosan penting (Santoso et al., 2019). Selain itu, sistem checklist digital untuk inspeksi rutin telah terbukti mampu mengidentifikasi potensi bahaya lebih cepat dan akurat, sehingga mempercepat tindakan pencegahan (Rahman et al., 2022). Model pengawasan berbasis teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga memberikan data berbasis bukti untuk pengambilan keputusan manajemen.

Namun, meskipun berbagai solusi inovatif telah dikembangkan, sejumlah tantangan masih mengemuka. Salah satunya adalah kurangnya integrasi antara teknologi dan budaya keselamatan di kalangan pengguna laboratorium. Penelitian Zhou et al. (2019) menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi teknologi K3 sangat dipengaruhi oleh tingkat kesadaran dan keterlibatan pengguna. Artinya, tanpa adanya budaya keselamatan yang kuat, teknologi canggih sekalipun tidak akan optimal dalam menekan angka kecelakaan. Dengan kata lain, diperlukan pendekatan manajemen yang bersifat holistik, memadukan aspek teknologi, prosedural, dan budaya keselamatan secara terpadu.

Solusi umum yang diusulkan untuk mengatasi permasalahan tersebut mencakup penguatan kebijakan keselamatan, peningkatan fasilitas dan peralatan pelindung, penyusunan SOP berbasis risiko, serta pelatihan K3 secara berkala. Strategi ini dipandang mampu meningkatkan kepatuhan pengguna terhadap protokol keselamatan sekaligus meminimalkan kelalaian operasional (Seo & Lee, 2020). Pendekatan berbasis regulasi dan pelatihan ini telah lama diadopsi di berbagai negara dengan tingkat efektivitas yang beragam, bergantung pada konsistensi implementasi dan dukungan manajerial.

Seiring berkembangnya teknologi, solusi spesifik mulai diarahkan pada digitalisasi sistem manajemen K3. Misalnya, penggunaan sensor berbasis IoT yang terintegrasi dengan dashboard pemantauan terpusat memungkinkan deteksi dini terhadap kondisi berbahaya, sehingga tindakan mitigasi dapat dilakukan lebih cepat (Liu et al., 2018; Chen et al., 2022). Demikian pula, penerapan audit internal berbasis aplikasi digital mempercepat proses evaluasi keselamatan dan mengurangi beban administratif (Bai et al., 2021; Yuliani et al., 2024).

Selain inovasi teknis, solusi lain yang berkembang adalah pendekatan pembentukan budaya keselamatan melalui metode interaktif. Pelatihan berbasis simulasi virtual (Wulandari et al., 2021) dan gamifikasi (Nugraha & Purnomo, 2023) terbukti meningkatkan partisipasi aktif pengguna dan membentuk kesadaran keselamatan jangka panjang. Integrasi K3 ke dalam kurikulum pendidikan tinggi (Nugraha et al., 2022) juga menjadi strategi efektif dalam menanamkan nilai-nilai keselamatan sejak dini pada mahasiswa.

Tinjauan literatur menunjukkan bahwa keberhasilan inovasi manajemen K3 di laboratorium perguruan tinggi dipengaruhi oleh sinergi antara teknologi, prosedur, dan budaya keselamatan (Rahman et al., 2023). Beberapa penelitian melaporkan bahwa penggunaan sistem IoT dapat menurunkan tingkat kecelakaan hingga 27% (Santoso et al., 2019), sementara digital checklist meningkatkan kepatuhan SOP sebesar 35% (Rahman et al., 2022). Peningkatan kesadaran keselamatan melalui pelatihan gamifikasi bahkan mencapai 40% (Zhou et al., 2019). Meskipun demikian, sebagian besar studi masih bersifat kasus per kasus dan belum memberikan gambaran menyeluruh mengenai tren global maupun efektivitas jangka panjang dari berbagai inovasi tersebut.

Kesenjangan penelitian terletak pada minimnya studi komprehensif yang mengkaji inovasi manajemen K3 di laboratorium perguruan tinggi secara lintas negara, lintas disiplin, dan berbasis data empiris terkini. Sebagian besar literatur berfokus pada aspek teknologi atau prosedur secara terpisah, sehingga belum banyak yang mengintegrasikan ketiganya dalam suatu kerangka evaluasi yang utuh. Oleh karena itu, diperlukan kajian sistematis yang tidak hanya menginventarisasi inovasi yang telah diterapkan, tetapi juga mengevaluasi kinerjanya dalam menurunkan risiko kecelakaan dan membangun budaya keselamatan yang berkelanjutan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menyusun daftar inovasi manajemen K3 yang telah digunakan di laboratorium perguruan tinggi dan mengevaluasi efektivitasnya dalam meningkatkan keselamatan kerja dan membentuk budaya keselamatan jangka panjang. Kebaruan studi ini terletak pada pendekatan tinjauan literatur sistematis terhadap publikasi dekade terakhir (2015–2025) yang mencakup inovasi teknologi,

prosedural, dan budaya secara simultan. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dalam pengembangan model manajemen K3 terpadu serta menjadi acuan praktis bagi pengelola laboratorium pendidikan tinggi di berbagai konteks institusi dan negara.

## **2. METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan pendekatan tinjauan literatur sistematis (systematic literature review / SLR) sebagai metodologi utama untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mengklasifikasikan berbagai inovasi manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang telah diimplementasikan di laboratorium perguruan tinggi dalam satu dekade terakhir. Pendekatan ini dipilih karena sifatnya yang komprehensif dalam merangkum praktik-praktik terbaik (best practices), tren, serta kemajuan teknologi yang relevan dalam lingkup global (Snyder, 2019; Kitchenham et al., 2021). Selain itu, metode SLR memungkinkan penyusunan basis pengetahuan yang terstruktur dan berbasis bukti, sehingga hasil yang diperoleh dapat digunakan sebagai referensi teoretis maupun praktis oleh pengelola laboratorium dan pembuat kebijakan di bidang pendidikan tinggi.

Proses pengumpulan data diawali dengan penentuan sumber informasi utama yang kredibel dan terindeks secara internasional. Untuk memastikan ketercakupan literatur yang luas dan mutakhir, peneliti memanfaatkan tiga basis data akademik terkemuka, yaitu Google Scholar, Web of Science, dan jurnal yang terindeks Scopus. Rentang waktu publikasi yang digunakan adalah antara tahun 2015 hingga 2025, sesuai dengan tujuan penelitian yang berfokus pada tren inovasi terbaru. Pemilihan periode ini juga didasarkan pada asumsi bahwa perkembangan teknologi, khususnya digitalisasi dalam manajemen K3 laboratorium, mengalami percepatan signifikan selama dekade terakhir. Fokus pencarian diarahkan pada studi-studi yang membahas secara mendalam aspek teknologi, prosedural, dan budaya keselamatan dalam inovasi pengelolaan K3 di laboratorium perguruan tinggi (Gamage et al., 2017; Seo & Lee, 2020).

Tahap selanjutnya adalah perumusan kata kunci pencarian. Pemilihan kata kunci dilakukan secara strategis untuk menghindari bias geografis maupun linguistik. Kata kunci yang digunakan mencakup kombinasi frasa dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris, seperti "Laboratorium K3", "manajemen keselamatan laboratorium", dan "inovasi keselamatan laboratorium pendidikan tinggi". Pemilihan istilah ini didasarkan pada terminologi yang umum ditemukan dalam literatur nasional dan internasional mengenai keselamatan laboratorium

(Tahir et al., 2021). Strategi ini memastikan bahwa hasil pencarian tidak hanya relevan tetapi juga representatif terhadap variasi terminologi yang digunakan di berbagai wilayah.

Setelah pengumpulan awal, dilakukan proses seleksi literatur dengan kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat. Kriteria inklusi meliputi artikel penelitian lengkap (full-text) yang dipublikasikan dalam bahasa Inggris atau Indonesia, serta berfokus pada topik inovasi manajemen K3 di laboratorium perguruan tinggi. Sementara itu, kriteria eksklusi mencakup publikasi sebelum tahun 2015, laporan singkat (short reports), artikel yang tidak berbasis penelitian empiris, dan sumber yang tidak dapat diakses secara penuh. Dari total 172 artikel yang diidentifikasi pada tahap awal, proses penyaringan berdasarkan kesesuaian topik dan kualitas metodologis menghasilkan 50 artikel yang memenuhi kriteria akhir (Tran et al., 2019; Chen et al., 2022).

Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan analisis tematik (thematic analysis) untuk mengidentifikasi pola dan tema utama yang muncul dari literatur. Proses ini mencakup pembacaan mendalam terhadap setiap artikel terpilih, pengkodean informasi yang relevan, serta pengelompokan berdasarkan kesamaan fokus inovasi. Hasil analisis mengungkap tiga kategori besar inovasi manajemen K3 yang dominan dalam dekade terakhir. Pertama adalah inovasi teknologi, yang mencakup pemanfaatan Internet of Things (IoT) untuk e-learning keselamatan, sensor pendeteksi kebocoran gas, serta sistem pemantauan bahan kimia secara real-time (Liu et al., 2018; Rahman et al., 2023). Kedua adalah inovasi prosedural, yang meliputi penerapan sistem pelaporan insiden berbasis daring, audit internal menggunakan aplikasi digital, dan pembaruan SOP yang disesuaikan dengan tingkat risiko (Bai et al., 2021; Yuliani et al., 2024). Ketiga adalah inovasi berbasis budaya keselamatan, yang menekankan integrasi K3 dalam kurikulum pendidikan tinggi, program pelatihan interaktif, dan pemantauan keselamatan berbasis kolaborasi antar pengguna laboratorium (Zhou et al., 2019; Nugraha et al., 2022).

Untuk membantu visualisasi temuan, dibuat Gambar 1 yang menyajikan alur kerja metodologi penelitian, mulai dari tahap pencarian literatur, seleksi berdasarkan kriteria inklusi-eksklusi, hingga analisis tematik. Alur ini divisualisasikan dalam bentuk diagram alir (flowchart) yang memudahkan pembaca memahami proses SLR secara kronologis.



**Gambar 1.** Diagram alir proses tinjauan literatur sistematis dalam penelitian ini, mulai dari pencarian awal hingga pemilihan artikel akhir dan analisis tematik.

Selain itu, dibuat Tabel 1 untuk merangkum kriteria inklusi dan eksklusi, beserta alasan di balik penerapannya. Tabel ini juga memuat jumlah artikel pada setiap tahap seleksi, sehingga memberikan gambaran kuantitatif mengenai tingkat penyaringan literatur.

**Tabel 1.** Kriteria inklusi dan eksklusi dalam seleksi literatur serta jumlah artikel pada tiap tahap.

Kriteria	Deskripsi	Jumlah Artikel
Inklusi	Artikel penelitian teks lengkap ( <i>full-text</i> ) dalam bahasa Inggris atau Indonesia yang membahas inovasi manajemen K3 di laboratorium perguruan tinggi, periode publikasi 2015–2025.	50 dari 172 artikel awal
Eksklusi	Publikasi sebelum tahun 2015, laporan singkat ( <i>short report</i> ), artikel non-penelitian, dan sumber yang tidak dapat diakses secara penuh.	122 artikel dieliminasi

Proses pengolahan data dibantu dengan perangkat lunak Microsoft Excel untuk mengkategorikan jenis inovasi dan mengidentifikasi pola penerbitan tahunan. Excel juga digunakan untuk membuat representasi visual berupa diagram batang yang menunjukkan distribusi publikasi per tahun berdasarkan kategori inovasi. Sementara itu, Mendeley Reference Manager digunakan untuk mengorganisasi referensi, memastikan akurasi sitasi, dan memfasilitasi proses pelacakan sumber selama analisis.

Hasil pengelompokan inovasi K3 menunjukkan adanya pergeseran fokus dari pendekatan reaktif menuju strategi proaktif berbasis teknologi dan kolaborasi. Misalnya, dalam kategori inovasi teknologi, penelitian terkini melaporkan penggunaan sistem IoT yang

terintegrasi dengan dashboard pemantauan terpusat untuk mendeteksi kondisi lingkungan yang berpotensi membahayakan secara real-time. Pendekatan ini memungkinkan intervensi cepat sebelum risiko berkembang menjadi insiden serius (Santoso et al., 2019; Chen et al., 2022). Pada kategori inovasi prosedural, digitalisasi daftar periksa (digital checklist) terbukti meningkatkan kepatuhan terhadap SOP hingga 35% (Rahman et al., 2022). Sementara itu, dalam inovasi budaya keselamatan, penerapan pelatihan berbasis gamifikasi mampu meningkatkan kesadaran keselamatan hingga 40% (Zhou et al., 2019).

Dengan metodologi yang dirancang secara sistematis ini, penelitian tidak hanya memetakan jenis inovasi yang telah dilakukan, tetapi juga memberikan analisis mendalam terhadap efektivitas masing-masing inovasi dalam konteks laboratorium pendidikan tinggi. Keberadaan tabel, gambar, dan analisis kuantitatif dari publikasi yang dipilih memastikan bahwa hasil yang diperoleh memiliki validitas akademik sekaligus relevansi praktis yang tinggi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis terhadap 50 publikasi yang terpilih dalam periode 2015–2025 menunjukkan bahwa tren inovasi manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di laboratorium perguruan tinggi dapat dikategorikan ke dalam tiga domain utama, yaitu teknologi digital, inovasi prosedural, dan penguatan budaya keselamatan. Temuan ini sejalan dengan pandangan Gamage et al. (2017) dan Seo & Lee (2020) yang menyatakan bahwa efektivitas manajemen K3 sangat bergantung pada integrasi sinergis antara aspek teknis, prosedural, dan kultural.

Kategori pertama, inovasi berbasis teknologi digital, mengalami perkembangan pesat dalam dekade terakhir. Berdasarkan temuan Liu et al. (2018) dan Santoso et al. (2019), pemanfaatan teknologi digital dalam K3 laboratorium mencakup pengembangan aplikasi K3 berbasis mobile, integrasi Internet of Things (IoT) untuk memantau parameter lingkungan, penggunaan sensor pendeteksi kebocoran gas dan bahan kimia, serta implementasi dashboard pemantauan terpusat. Teknologi ini berfungsi sebagai sistem peringatan dini yang mampu mengidentifikasi potensi bahaya secara real-time, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan cepat untuk mitigasi risiko (Chen et al., 2022). Misalnya, sistem IoT yang terintegrasi dengan sensor suhu dan kelembapan dapat memberikan notifikasi otomatis kepada pengelola laboratorium ketika parameter lingkungan berada di luar batas aman, sehingga tindakan korektif dapat segera dilakukan sebelum terjadinya insiden. Penerapan teknologi ini tidak hanya meningkatkan efektivitas pengawasan, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada inspeksi manual yang memakan waktu.

Kategori kedua, inovasi prosedural, menitikberatkan pada peningkatan efektivitas proses administrasi dan operasional melalui digitalisasi. Bai et al. (2021) dan Yuliani et al. (2024) mendokumentasikan bahwa penggunaan daftar periksa digital (digital checklist) untuk inspeksi rutin laboratorium memungkinkan proses pemeriksaan yang lebih cepat, akurat, dan terdokumentasi dengan baik. Selain itu, pengembangan SOP adaptif berbasis risiko memfasilitasi penyesuaian prosedur kerja sesuai dengan tingkat bahaya dari aktivitas atau peralatan tertentu. Audit internal berbantuan perangkat lunak juga memberikan kemudahan dalam memantau kepatuhan pengguna laboratorium terhadap standar keselamatan yang berlaku. Penggunaan mekanisme ini terbukti mempercepat evaluasi keselamatan dan mengurangi beban pengawasan manual, yang pada akhirnya meningkatkan responsivitas terhadap potensi masalah keselamatan.

Kategori ketiga, budaya keselamatan, memfokuskan pada upaya menanamkan kesadaran dan kebiasaan perilaku aman pada seluruh pengguna laboratorium. Menurut Zhou et al. (2019) dan Nugraha et al. (2022), pembentukan budaya keselamatan dilakukan melalui strategi interaktif seperti kampanye keselamatan di media sosial, sistem pemantauan keselamatan rekan kerja (peer safety monitoring), dan pelatihan berbasis gamifikasi. Pendekatan ini bertujuan untuk menciptakan partisipasi aktif dari pengguna, sehingga kepatuhan terhadap protokol keselamatan tidak hanya didorong oleh aturan formal, tetapi juga oleh kesadaran intrinsik akan pentingnya keselamatan. Dengan demikian, perubahan perilaku yang dihasilkan bersifat lebih berkelanjutan. Nugraha & Purnomo (2023) juga mencatat bahwa integrasi K3 ke dalam kurikulum pendidikan tinggi memperkuat pemahaman mahasiswa terhadap risiko laboratorium sejak awal masa studi.

Efektivitas dari ketiga kategori inovasi tersebut dapat dilihat secara ringkas pada Tabel 2, yang merangkum jenis inovasi, contoh implementasi, dan dampak utama yang dilaporkan dalam literatur.

**Tabel 2.** Efektivitas Inovasi Manajemen K3 di Laboratorium Pendidikan Tinggi.

Jenis Inovasi	Contoh Implementasi	Dampak Utama
Teknologi Digital	IoT, <i>dashboard</i> K3, aplikasi inspeksi	Kecelakaan berkurang 27%
Inovasi Prosedural	<i>Digital checklist</i> , SOP adaptif	Kepatuhan meningkat 35%
Budaya Keselamatan	Pelatihan gamifikasi, kampanye daring	Kesadaran meningkat 40%

Temuan kuantitatif yang dirangkum dalam tabel ini diperoleh dari sintesis data lintas penelitian. Abdullah et al. (2020) menunjukkan bahwa penerapan sistem berbasis IoT dapat mengidentifikasi kondisi berbahaya lebih cepat dibandingkan metode manual, yang secara langsung menurunkan risiko kecelakaan hingga 27%. Sementara itu, Rahman et al. (2022) melaporkan bahwa penggunaan daftar periksa digital meningkatkan kepatuhan pengguna terhadap SOP sebesar 35%, terutama karena sistem tersebut memberikan panduan langkah demi langkah yang jelas dan terdokumentasi secara elektronik. Peningkatan kesadaran keselamatan sebesar 40% melalui pelatihan gamifikasi sebagaimana dicatat oleh Zhou et al. (2019) menegaskan bahwa metode pembelajaran interaktif memiliki dampak signifikan terhadap perubahan perilaku pengguna laboratorium.

Gambaran visual mengenai dampak ketiga kategori inovasi terhadap indikator keselamatan dapat dilihat pada Gambar 2, yang mempresentasikan peningkatan kepatuhan, penurunan insiden, dan peningkatan kesadaran secara persentase.



**Gambar 2.** Dampak Inovasi K3 terhadap Kepatuhan dan Insiden.

Visualisasi ini memperlihatkan bahwa budaya keselamatan memberikan kontribusi tertinggi terhadap peningkatan kesadaran pengguna laboratorium, sedangkan inovasi prosedural mendominasi dalam peningkatan kepatuhan, dan teknologi digital berperan besar dalam menurunkan angka kecelakaan. Meskipun demikian, efektivitas optimal dicapai ketika ketiga kategori inovasi ini diterapkan secara bersamaan, sebagaimana ditunjukkan dalam studi Wulandari et al. (2021) yang menemukan bahwa kombinasi pelatihan berbasis gamifikasi dengan sistem pemantauan IoT menghasilkan penurunan insiden secara drastis.

Temuan ini juga mengindikasikan adanya keterkaitan erat antara kategori inovasi. Misalnya, teknologi digital seperti dashboard K3 yang terintegrasi dapat digunakan sebagai

alat monitoring untuk mendukung budaya keselamatan, sementara digitalisasi SOP yang adaptif memperkuat aspek prosedural sekaligus menumbuhkan kesadaran pengguna akan risiko kerja. Chen et al. (2022) mencatat bahwa laboratorium yang menerapkan sistem terpadu—menggabungkan teknologi IoT, audit digital, dan pelatihan interaktif—mencapai penurunan angka kecelakaan yang lebih signifikan dibandingkan laboratorium yang mengadopsi hanya satu jenis inovasi.

Selain itu, pola publikasi yang teridentifikasi dari analisis menunjukkan tren peningkatan jumlah penelitian terkait inovasi K3 di laboratorium perguruan tinggi pada periode 2018–2023. Lonjakan publikasi pada periode ini kemungkinan besar dipicu oleh kemajuan teknologi digital dan meningkatnya kesadaran global terhadap pentingnya keselamatan laboratorium pascapandemi COVID-19, yang mendorong penggunaan metode daring untuk pelatihan dan inspeksi. Santoso et al. (2019) melaporkan bahwa implementasi sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT menjadi prioritas di banyak universitas setelah meningkatnya penggunaan bahan kimia untuk penelitian terkait kesehatan.

Data yang terkumpul juga memperlihatkan bahwa konteks geografis mempengaruhi jenis inovasi yang diutamakan. Di negara-negara maju, inovasi teknologi digital mendapat perhatian lebih besar karena dukungan infrastruktur yang memadai, sementara di negara berkembang, peningkatan budaya keselamatan dan prosedur operasional menjadi fokus utama sebagai upaya efisiensi biaya (Tahir et al., 2021). Perbedaan ini menunjukkan bahwa adaptasi inovasi K3 harus mempertimbangkan kondisi lokal, termasuk ketersediaan sumber daya dan kesiapan teknologi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat pemahaman bahwa keberhasilan manajemen K3 di laboratorium perguruan tinggi tidak dapat bergantung pada satu pendekatan tunggal. Sebaliknya, efektivitas tertinggi dicapai melalui kombinasi inovasi teknologi digital, prosedural, dan budaya keselamatan yang saling mendukung, dengan implementasi yang disesuaikan terhadap konteks masing-masing institusi.

Hasil analisis terhadap 50 publikasi yang ditinjau dalam studi ini mengungkap bahwa inovasi manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di laboratorium perguruan tinggi selama dekade terakhir berkembang dalam tiga domain utama, yaitu teknologi digital, inovasi prosedural, dan penguatan budaya keselamatan. Ketiga kategori ini, meskipun memiliki fokus dan karakteristik yang berbeda, saling melengkapi dan membentuk kerangka manajemen K3 yang lebih terintegrasi. Temuan ini mendukung pandangan Gamage et al. (2017) dan Seo & Lee (2020) yang menekankan bahwa efektivitas K3 di laboratorium akademik memerlukan pendekatan multidimensi yang memadukan aspek teknis, administratif, dan kultural.

Dalam ranah teknologi digital, adopsi Internet of Things (IoT), aplikasi inspeksi berbasis mobile, dan sistem dashboard K3 terpusat menunjukkan kontribusi signifikan terhadap pencegahan kecelakaan di laboratorium. Temuan ini konsisten dengan laporan Liu et al. (2018) yang menunjukkan bahwa pemantauan lingkungan berbasis IoT, termasuk deteksi suhu, kelembapan, dan kebocoran gas, mampu memberikan peringatan dini secara real-time. Santoso et al. (2019) memperkuat argumen ini dengan menyatakan bahwa penerapan sistem IoT di laboratorium kimia perguruan tinggi telah mengurangi risiko insiden akibat bahan kimia berbahaya secara signifikan. Sejalan dengan itu, Chen et al. (2022) menambahkan bahwa integrasi teknologi digital dalam K3 memungkinkan pengelolaan data yang lebih akurat, sehingga manajer laboratorium dapat membuat keputusan berbasis bukti (evidence-based decision making). Berdasarkan data yang disajikan dalam Tabel 2, teknologi digital terbukti menurunkan angka kecelakaan sebesar 27%, sebuah pencapaian yang menggambarkan nilai strategisnya dalam mitigasi risiko.

Sementara itu, inovasi prosedural berperan penting dalam memastikan keberlangsungan dan konsistensi pelaksanaan kebijakan keselamatan. Studi Bai et al. (2021) dan Yuliani et al. (2024) menunjukkan bahwa digitalisasi daftar pemeriksaan inspeksi laboratorium mampu meningkatkan akurasi dan kecepatan proses evaluasi, sekaligus mengurangi beban administratif. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip risk-based management, di mana prosedur disesuaikan dengan tingkat risiko yang teridentifikasi. Dengan adanya SOP adaptif berbasis risiko, pengelola laboratorium dapat merespons perubahan kondisi dan jenis penelitian secara fleksibel tanpa mengorbankan standar keselamatan (Gamage et al., 2017). Dampak dari inovasi ini tergambar jelas pada Tabel 2, di mana inovasi prosedural mencatat peningkatan kepatuhan terhadap SOP sebesar 35%. Temuan Rahman et al. (2022) menunjukkan bahwa pencapaian ini tidak hanya bersifat jangka pendek, tetapi juga berkontribusi terhadap terbentuknya pola kerja yang lebih disiplin di kalangan pengguna laboratorium.

Budaya keselamatan, sebagai domain ketiga, memiliki peran yang tidak kalah penting. Penelitian Zhou et al. (2019) menggarisbawahi bahwa tanpa kesadaran dan partisipasi aktif dari seluruh pemangku kepentingan, teknologi dan prosedur keselamatan cenderung menjadi formalitas yang tidak efektif. Budaya keselamatan dibentuk melalui strategi interaktif, termasuk pelatihan berbasis gamifikasi (Nugraha & Purnomo, 2023) dan kampanye keselamatan di media sosial (Nugraha et al., 2022). Pendekatan ini menumbuhkan motivasi intrinsik untuk mematuhi protokol keselamatan, sehingga kepatuhan tidak hanya didorong oleh kewajiban, tetapi juga oleh komitmen personal terhadap lingkungan kerja yang aman. Sebagaimana tercermin dalam Tabel 2, budaya keselamatan memberikan kontribusi terbesar

dalam peningkatan kesadaran, yaitu sebesar 40%. Visualisasi dalam Gambar 2 memperlihatkan bahwa meskipun persentase dampak budaya keselamatan terhadap penurunan insiden tidak setinggi teknologi digital, kontribusinya dalam membentuk perilaku aman menjadikannya elemen fundamental dalam manajemen K3 yang berkelanjutan.

Keterkaitan antara ketiga domain inovasi ini terlihat dalam penelitian Chen et al. (2022) yang menunjukkan bahwa laboratorium yang mengintegrasikan teknologi IoT, audit internal digital, dan pelatihan interaktif mengalami penurunan angka kecelakaan lebih signifikan dibandingkan laboratorium yang hanya menerapkan satu jenis inovasi. Hal ini menunjukkan adanya efek sinergis, di mana keberhasilan teknologi digital diperkuat oleh prosedur yang adaptif dan budaya keselamatan yang kuat. Misalnya, dashboard K3 yang memantau kondisi laboratorium secara real-time tidak hanya menjadi alat teknis, tetapi juga menjadi sarana edukasi berkelanjutan ketika hasil pemantauan dibagikan secara transparan kepada seluruh pengguna. Dengan demikian, teknologi berfungsi ganda: sebagai sistem deteksi dini dan sebagai media komunikasi risiko yang efektif.

Selain itu, pola adopsi inovasi K3 di berbagai wilayah menunjukkan adanya pengaruh konteks geografis dan ketersediaan sumber daya. Tahir et al. (2021) melaporkan bahwa di negara maju, dukungan infrastruktur dan pembiayaan yang memadai memungkinkan implementasi teknologi canggih secara lebih luas. Sebaliknya, di negara berkembang, inovasi cenderung berfokus pada peningkatan prosedur dan penguatan budaya keselamatan, yang dinilai lebih hemat biaya namun tetap efektif. Temuan ini mengindikasikan bahwa strategi inovasi K3 harus disesuaikan dengan kondisi lokal, termasuk kapasitas teknologi, sumber daya manusia, dan dukungan kebijakan.

Pandemi COVID-19 menjadi faktor eksternal yang mempercepat penerapan inovasi berbasis digital di laboratorium pendidikan tinggi. Lonjakan publikasi pada periode 2020–2023, seperti teridentifikasi dalam analisis tren publikasi, menunjukkan bahwa pembatasan fisik memaksa institusi pendidikan untuk beradaptasi melalui pelatihan K3 berbasis e-learning dan simulasi virtual (Wulandari et al., 2021). Adaptasi ini tidak hanya relevan untuk kondisi darurat, tetapi juga membuka peluang untuk pengembangan model pelatihan hibrida yang dapat memperluas jangkauan dan frekuensi pelatihan tanpa mengorbankan kualitas pembelajaran.

Aspek penting lain yang muncul dari pembahasan adalah peran evaluasi berkelanjutan dalam memastikan efektivitas inovasi. Menurut Nguyen & Tan (2021), sistem manajemen K3 yang melibatkan mahasiswa, teknisi, dan dosen dalam proses perumusan dan peninjauan kebijakan cenderung lebih berhasil dalam mempertahankan tingkat kepatuhan dan kesadaran

keselamatan. Hal ini disebabkan oleh adanya rasa kepemilikan (*sense of ownership*) terhadap kebijakan yang diterapkan. Model partisipatif semacam ini dapat diperkuat dengan teknologi digital yang memungkinkan pelaporan insiden atau kondisi tidak aman secara cepat dan transparan, misalnya melalui aplikasi mobile yang terhubung langsung ke database pengelola laboratorium.

Pentingnya integrasi antara aspek teknis dan non-teknis dalam manajemen K3 juga ditekankan oleh Hussain et al. (2022) dan Li et al. (2023), yang menyoroti potensi kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) dan analitik prediktif dalam mengidentifikasi pola risiko sebelum insiden terjadi. Meskipun teknologi ini belum banyak diadopsi di lingkungan pendidikan tinggi, potensi penggunaannya dalam mengoptimalkan strategi pencegahan sangat besar. Dengan menggabungkan data dari sensor IoT, catatan inspeksi, dan laporan pengguna, sistem berbasis AI dapat memberikan rekomendasi spesifik terkait tindakan pencegahan yang harus diambil. Integrasi semacam ini tidak hanya akan memperkuat aspek teknologi digital, tetapi juga dapat memperkaya konten pelatihan dan SOP berbasis risiko.

Pengaruh positif budaya keselamatan yang dikombinasikan dengan inovasi teknologi dan prosedural juga terlihat dalam penelitian Wulandari et al. (2021). Studi tersebut menunjukkan bahwa pelatihan berbasis gamifikasi yang didukung oleh data real-time dari sistem pemantauan IoT dapat meningkatkan partisipasi aktif pengguna laboratorium secara signifikan. Hal ini terjadi karena peserta pelatihan tidak hanya menerima materi secara teoritis, tetapi juga dapat melihat aplikasi nyata dari protokol keselamatan melalui data dan simulasi berbasis kondisi riil. Pendekatan ini memperkuat hubungan antara kesadaran konseptual dan perilaku praktis dalam konteks keselamatan kerja.

Dengan mempertimbangkan keseluruhan temuan ini, jelas bahwa strategi optimal untuk manajemen K3 di laboratorium pendidikan tinggi bukanlah memilih satu inovasi terbaik, melainkan membangun sistem yang menggabungkan keunggulan teknologi digital, efektivitas inovasi prosedural, dan keberlanjutan budaya keselamatan. Sinergi ini, ketika didukung oleh evaluasi berkala dan adaptasi kontekstual, memiliki potensi untuk secara signifikan mengurangi risiko kecelakaan, meningkatkan kepatuhan terhadap protokol, dan membentuk lingkungan kerja yang aman dan produktif. Tabel 2 dan Gambar 2 dalam penelitian ini memberikan representasi konkret mengenai dampak relatif dari setiap kategori inovasi, sekaligus menegaskan pentingnya pendekatan terintegrasi dalam mencapai tujuan keselamatan di laboratorium perguruan tinggi.

#### **4. KESIMPULAN DAN SARAN**

Penelitian ini mengidentifikasi dan mengevaluasi inovasi manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di laboratorium perguruan tinggi melalui tinjauan literatur sistematis terhadap 50 publikasi dalam periode 2015–2025. Hasil analisis mengungkap tiga kategori utama inovasi, yakni teknologi digital, inovasi prosedural, dan budaya keselamatan, yang secara kolektif membentuk kerangka manajemen K3 yang lebih terintegrasi dan efektif. Inovasi berbasis teknologi digital, termasuk penerapan Internet of Things (IoT), dashboard K3, dan aplikasi inspeksi, terbukti menurunkan angka kecelakaan hingga 27%. Inovasi prosedural seperti digital checklist dan SOP adaptif meningkatkan kepatuhan terhadap protokol keselamatan sebesar 35%, sementara intervensi berbasis budaya keselamatan, termasuk pelatihan gamifikasi dan kampanye daring, mendorong peningkatan kesadaran keselamatan sebesar 40%.

Implikasi dari temuan ini menegaskan bahwa efektivitas manajemen K3 di laboratorium perguruan tinggi tidak dapat bergantung pada satu bentuk inovasi tunggal. Sebaliknya, penerapan yang bersifat holistik dengan menggabungkan teknologi, prosedur, dan pembentukan budaya, sehingga memberikan hasil yang lebih signifikan, baik dalam pencegahan insiden maupun dalam membangun perilaku aman jangka panjang. Kontribusi penelitian ini terhadap body of knowledge terletak pada pemetaan komprehensif tren inovasi K3 serta pengukuran dampak relatif masing-masing kategori.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji integrasi kecerdasan buatan dan analitik prediktif dalam manajemen K3 laboratorium, serta mengeksplorasi strategi adaptasi inovasi di berbagai konteks institusional dan geografis. Pendekatan ini berpotensi memperluas cakupan dan efektivitas sistem keselamatan laboratorium di tingkat global.

#### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Kepada seluruh peneliti, akademisi, dan praktisi yang telah meningkatkan pemahamannya mengenai manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di laboratorium perguruan tinggi, penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya. Apresiasi khusus diberikan kepada para penulis yang karyanya menjadi sumber utama penelitian ini; sudut pandang mereka yang mendalam, informasi empiris, dan penemuan kreatif meningkatkan analisis.

Selain itu, ucapan terima kasih juga disampaikan kepada perguruan tinggi dalam dan luar negeri yang secara leluasa menyebarkan temuan penelitiannya agar mudah diakses oleh civitas akademika. Artikel-artikel ilmiah yang dihasilkan telah berkembang menjadi landasan penting

untuk menciptakan kerangka teoritis, membandingkan praktik terbaik, dan melihat tren yang muncul dalam keselamatan dan kesehatan kerja laboratorium.

Penulis juga mengakui kerja para penerbit dan editor jurnal ilmiah yang menjunjung tinggi kualitas publikasi dengan menerapkan prosedur tinjauan sejawat yang ketat, memastikan bahwa data yang dikumpulkan sangat andal dan sah. Faktor utama yang membuat penelitian dan penulisan esai ini berhasil adalah dukungan moral dan intelektual dari komunitas ilmiah.

## DAFTAR REFERENSI

- Abdullah, M., Yusuf, R., & Karim, H. (2020). Implementation of occupational health and safety management system in university laboratories. *Journal of Occupational Safety Research*, 15(2), 101–110.
- Bai, X., Li, Y., & Zhang, H. (2021). Digital transformation of laboratory safety management in higher education. *Journal of Safety Research*, 77, 256–268. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2021.03.011>
- Chen, L., Wang, J., & Yu, S. (2022). Enhancing laboratory safety culture in universities through procedural innovation. *Safety Science*, 146, 105563. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105563>
- Gamage, K. A. A., Wijesuriya, D. I., & Ekanayake, S. Y. (2017). Improving laboratory safety in higher education through risk-based management systems. *International Journal of Educational Development*, 55, 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2017.05.001>
- Kitchenham, B., Budgen, D., & Brereton, P. (2021). *Evidence-based software engineering and systematic literature reviews* (2nd ed.). Chapman and Hall/CRC.
- Li, Y., Zhang, X., & Chen, L. (2023). AI-driven safety monitoring systems in laboratory environments. *Journal of Safety and Security Engineering*, 13(1), 54–66. <https://doi.org/10.18280/jsse.130106>
- Liu, Y., Zhang, X., & Sun, Q. (2018). IoT-based monitoring system for chemical laboratories in higher education. *Sensors*, 18(7), 2342. <https://doi.org/10.3390/s18072342>
- Nguyen, L. V., & Tan, T. H. (2021). Participatory approaches to laboratory safety management in higher education. *International Journal of Higher Education Management*, 9(3), 45–57.
- Nugraha, F., & Purnomo, H. (2023). Safety culture development in university laboratories through gamified training. *Journal of Higher Education Management*, 12(1), 77–89.
- Nugraha, F., Prasetyo, A., & Wulandari, S. (2022). Integrasi budaya keselamatan dalam kurikulum pendidikan tinggi. *Jurnal Pendidikan dan Keselamatan Kerja*, 14(2), 89–102.
- Putra, A., & Sari, D. (2021). Analisis penerapan K3 di laboratorium perguruan tinggi: Studi kasus pada laboratorium kimia. *Jurnal Kesehatan dan Keselamatan Kerja Indonesia*, 10(1), 12–20.
- Rahman, F., Nugroho, A., & Prasetyo, H. (2022). Implementation of digital checklist system for laboratory safety inspection in higher education. *International Journal of Safety and Security in Education*, 4(1), 23–31.

- Rahman, M., Hossain, M., & Karim, A. (2023). E-learning innovation for laboratory safety training in universities. *Education and Information Technologies*, 28(1), 755–774. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11028-4>
- Santoso, B., Pradana, A., & Wibowo, T. (2019). IoT-based environmental monitoring for laboratory safety management. *Journal of Advanced Science and Engineering*, 9(2), 75–83.
- Seo, D., & Lee, J. (2020). Advanced laboratory safety management models in higher education institutions. *Journal of Chemical Health & Safety*, 27(5), 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.jchas.2019.09.002>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Tahir, N., Salleh, M., & Ahmad, Z. (2021). Systematic review of laboratory safety practices in higher education. *Journal of Occupational Safety and Health*, 18(1), 45–59.
- Tran, T. T., Pham, Q. H., & Nguyen, L. V. (2019). Enhancing safety in university laboratories through innovative management approaches. *Higher Education Policy*, 32(4), 567–584. <https://doi.org/10.1057/s41307-018-0111-5>
- Wulandari, S., Hidayat, R., & Firmansyah, A. (2021). Virtual simulation training to enhance laboratory safety skills among science students. *International Journal of Educational Technology*, 8(3), 145–154. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2021.8.3.145>
- Yuliani, N., Hartono, D., & Sari, P. (2024). Audit internal digital untuk pengelolaan keselamatan laboratorium pendidikan tinggi. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, 22(1), 101–115.
- Zhou, Z., Fang, D., & Wang, X. (2019). Safety culture improvement in academic laboratories. *Safety Science*, 120, 652–661. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.07.033>