

Faktor yang Mempengaruhi Pengurusan Risiko Keselamatan Di Makmal: Suatu Kajian Kepustakaan Sistematis

(Factors Influencing Safety Risk Management in the Laboratory: A Systematic Literature Review)

ZURAIDA KAMARUDDIN^{1,*}, ZAIDI ISA² & SAIFUL HAFIZAH JAMAAN@SHARMAN²

¹Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

²Jabatan Sains Matematik, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

Diserahkan: 7 Mei 2024/Diterima: 26 Jun 2024

ABSTRAK

Pengurusan risiko keselamatan merupakan aspek kritikal dalam makmal kejuruteraan disebabkan oleh uji kaji yang kompleks dan kemunculan teknologi terkini yang meningkatkan risiko kemungkinan berlakunya kemalangan. Kajian kepustakaan sistematik ini melibatkan 23 artikel yang mematuhi garis panduan PRISMA dan mengkategorikan faktor yang mempengaruhi protokol keselamatan. Kajian ini memfokuskan kepada persoalan kajian iaitu apakah faktor utama yang mempengaruhi amalan pengurusan risiko keselamatan di makmal kejuruteraan dan bagaimanakah faktor ini mempengaruhi persekitaran keselamatan di makmal? Melalui penyelidikan ini, faktor penyumbang telah dikenal pasti dan dikelaskan ke dalam lima tema utama: 1) Protokol Pengurusan Risiko, 2) Faktor Organisasi, 3) Faktor Fizikal dan Persekitaran, 4) Faktor Luar dan Kontekstual dan 5) Hala Tuju Inovatif Baharu. Bidang ini mempengaruhi tindakan keselamatan dengan cara yang kompleks. Hasil kajian ini memaparkan protokol keselamatan yang berkesan, integriti organisasi, pematuhan peraturan dan strategi keselamatan yang inovatif. Pemahaman yang lebih mendalam ini meningkatkan langkah keselamatan, mengurangkan kemalangan, memacu budaya mengutamakan keselamatan dan menjamin pematuhan keselamatan. Kajian ini secara signifikan menyumbang kepada pengetahuan saintifik tentang pengurusan risiko keselamatan di makmal kejuruteraan, menangani keperluan kritikal untuk melindungi kesejahteraan manusia dan alam sekitar.

Kata kunci: Kepustakaan sistematik; keselamatan; makmal kejuruteraan; pengurusan risiko keselamatan; PRISMA

ABSTRACT

Safety risk management is an imperative concern in engineering laboratories, where complex experiments and emerging technologies increase accident potential. This study provides a systematic analysis of factors influencing safety risk management in such settings. This systematic literature review involves 23 articles that adhere to PRISMA guidelines and categorize the factors influencing safety protocols. The study revolves around question research is what are the key factors influencing safety risk management practices in engineering laboratories, and how do these factors impact the overall safety environment? Through this lens, the research identifies and classifies contributing factors into five key domains: 1) Risk Management Protocol, 2) Organizational Factor, 3) Physical and Environmental Factor, 4) External Factors and Contextual, and 5) Innovative Future-Oriented Directions. These domains intricately influence safety measures. Findings highlight effective safety protocols, organizational cohesion, regulatory compliance, and innovative safety strategies. This nuanced understanding enhances safety measures, reduces accidents, fosters a safety-centric culture, and ensures compliance. The study contributes significantly to scientific knowledge on safety risk management in engineering laboratories, addressing the critical need to protect human and environmental well-being.

Keywords: Engineering laboratories; PRISMA; safety; safety risk management; systematic literature

PENGENALAN

Makmal kejuruteraan ialah persekitaran yang kompleks dengan operasi dinamik dan pelbagai risiko keselamatan yang wujud. *The Safety Engineering and Risk Analysis*

Division (SERAD), (2001), menekankan kepentingan pendekatan sistematik terhadap kejuruteraan keselamatan alam sekitar dan analisis risiko. Pendapat ini sekali lagi dinyatakan oleh Sarac, Absi dan Dazere-Pères (2010),

yang mengemukakan kepentingan teknologi kejuruteraan kesihatan dan keselamatan, terutamanya dalam industri seperti petrokimia yang berkait rapat dengan makmal kejuruteraan. Kajian baharu menunjukkan bahawa keadaan keselamatan makmal kejuruteraan awam memerlukan penambahbaikan dalam pengurusan dan penyeliaan (Zhang et al. 2020).

Keperluan kajian ini menjadi jelas apabila mempertimbangkan insiden seperti kebakaran dan letupan di loji minyak *Valero McKee* di Amerika Syarikat. Kejadian tersebut menekankan keperluan pengurusan risiko keselamatan yang cekap dalam persekitaran kejuruteraan. Proses pengurusan keselamatan yang tidak cekap meningkat secara signifikan kemungkinan berlakunya kemalangan yang boleh membawa kepada kerosakan harta benda dan kehilangan nyawa. Oleh itu, kajian dalam bidang pengurusan risiko keselamatan di makmal kejuruteraan adalah penting untuk mengenal pasti dan menganalisis faktor yang boleh meningkatkan keselamatan dan mengurangkan risiko kemalangan (Occupational Safety and Health Administration 2017). Insiden ini menyerlahkan kemungkinan akibat daripada pengurusan risiko keselamatan yang tidak mencukupi dan keperluan untuk pemeriksaan yang menyeluruh. Tambahan pula, kekompleksan yang semakin meningkat dalam projek-projek kejuruteraan, terutamanya dalam konteks rel berkelajuan tinggi, telah membawa kepada penambahan dimensi baharu risiko keselamatan yang masih belum sepenuhnya difahami (Shen et al. 2021).

Engemann dan Abrahamsen (2020) menyatakan pendekatan yang komprehensif dan berasaskan sains adalah penting untuk pengurusan risiko keselamatan yang berkesan dalam persekitaran yang dinamik seperti makmal kejuruteraan. Objektif ini meliputi pemahaman struktur hierarki risiko keselamatan, yang merangkumi dimensi manusia, bahan, alam sekitar dan pengurusan (Du, Han & Shang 2022). Kepentingan kajian ini terletak pada potensinya untuk menyumbang secara signifikan kepada peningkatan protokol keselamatan di makmal kejuruteraan dengan meneliti dan menganalisis faktor yang mempengaruhi pengurusan risiko keselamatan di persekitaran tersebut. Tujuan utama kajian ini adalah untuk meningkatkan pengurusan risiko keselamatan dalam makmal kejuruteraan. Kajian ini adalah untuk mengesahkan faktor utama yang mempengaruhi amalan pengurusan risiko keselamatan di makmal kejuruteraan, termasuk untuk mengkaji bagaimana faktor ini mempengaruhi persekitaran keselamatan makmal.

Dengan mengambil kira perkara ini, kajian kepustakaan sistematik ini bertujuan untuk menangani persoalan kajian utama iaitu apakah faktor utama yang mempengaruhi amalan pengurusan risiko keselamatan di makmal kejuruteraan, dan bagaimanakah faktor ini mempengaruhi persekitaran keselamatan di makmal?

Walaupun terdapat kemajuan dalam pengurusan risiko keselamatan, tetapi masih terdapat jurang penyelidikan yang signifikan dalam kepustakaan tentang faktor yang mempengaruhi pengurusan risiko keselamatan dalam makmal kejuruteraan. Kajian oleh Ali et al. (2023a) meneliti aplikasi sistem penilaian bahaya dalam makmal kejuruteraan petroleum. Namun, penyelidikan ini tidak mengkaji bagaimana sistem tersebut boleh disesuaikan untuk disiplin kejuruteraan lain. Sebaliknya, penyelidikan oleh Ali et al. (2023b) mengenai pengurusan risiko dalam industri pembinaan memerlukan pengesahan dalam konteks makmal kejuruteraan pelbagai disiplin.

Kajian oleh Pertiwi et al. (2021) di Politeknik Bali mengkaji pengurusan risiko dalam makmal bahan dan menekankan keperluan mendesak untuk strategi penilaian risiko yang lebih fleksibel dan dapat disesuaikan bagi makmal kejuruteraan dalam disiplin lain. Namun, kajian ini tidak memberikan panduan khusus mengenai cara mengembangkan strategi tersebut. Di samping itu, Ding (2021) membangunkan model penilaian risiko untuk makmal analisis fizikal dan kimia, tetapi model ini perlu digabungkan ke dalam sistem pengurusan risiko yang lebih komprehensif. Terdapat keperluan untuk model yang tidak hanya berfokus pada aspek teknikal tetapi juga merangkumi faktor tingkah laku, organisasi dan budaya.

Secara keseluruhan, kajian masa depan harus menumpukan pada penyesuaian sistem penilaian risiko untuk pelbagai disiplin kejuruteraan, pengesahan metodologi pengurusan risiko dalam konteks makmal yang berbeza dan pembangunan model penilaian risiko komprehensif yang merangkumi faktor tingkah laku, organisasi dan budaya. Oleh kerana kepentingan keselamatan di makmal kejuruteraan, kajian ini adalah relevan dan penting. Kajian ini selaras dengan perbincangan yang lebih luas mengenai keselamatan industri dan pengurusan risiko, menyumbang kepada penyelidikan yang komprehensif mengenai topik ini. Selain itu, kajian ini menyumbang kepada pengetahuan sedia ada dalam bidang saintifik mengenai faktor yang mempengaruhi pengurusan risiko keselamatan dalam makmal kejuruteraan. Ini selaras dengan kajian lepas yang menekankan keperluan untuk mengamalkan pendekatan komprehensif terhadap keselamatan dalam rangka kerja kejuruteraan (Tziakou, Fragkaki & Platis 2023).

METODOLOGI

Bahagian ini menerangkan enam sub-bahagian utama yang digunakan dalam penyelidikan ini: Merumuskan persoalan kajian, PRISMA, sumber, kriteria kemasukan dan pengecualian, prosedur semakan sistematik dan pengabstrakan dan analisis data.

MERUMUSKAN PERSOALAN KAJIAN

Rangka kerja PICo membantu merumuskan soalan kajian yang tepat dengan memfokuskan pada Populasi, Minat dan Konteks. Bagi persoalan kajian yang bertujuan untuk mengenal pasti faktor utama yang mempengaruhi amalan pengurusan risiko keselamatan, populasi adalah Pengguna Makmal, termasuk pelajar, penyelidik dan juruteknik. Minatnya adalah dalam faktor keselamatan yang penting untuk keselamatan makmal kejuruteraan. Konteksnya, iaitu Makmal Kejuruteraan untuk mengekalkan tumpuan pada persekitaran khusus ini. Menggunakan rangka kerja PICo memastikan soalan kajian adalah tepat dan relevan, seterusnya meningkatkan kualiti keseluruhan kajian berdasarkan Jadual 1. Rangka kerja ini membantu dalam menyusun soalan kajian yang terfokus, memudahkan proses pengumpulan data dan memastikan bahawa kajian yang dijalankan menjawab isu yang paling penting dan berkaitan dalam konteks penyelidikan.

PRISMA

PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), rangka kerja ini adalah panduan yang diiktiraf secara meluas dalam semakan sistematik untuk memastikan pelaporan penyelidikan yang telus dan komprehensif (Page et al. 2021). Dokumen ini termasuk senarai tugas dan carta proses untuk meningkatkan kualiti dan ketelusan proses tinjauan. Penyelidik menggunakan PRISMA untuk mengatur dan melaporkan pelbagai peringkat tinjauan secara sistematik. Pernyataan PRISMA adalah suatu carta aliran yang terdiri daripada empat langkah yang digunakan untuk menilai secara kritis ulasan sistematik yang telah diterbitkan (pengenalpastian, saringan, kemasukan dan pengecualian). PRISMA diperkenalkan oleh Moher et al. (2009) untuk memastikan pelaporan penyelidikan yang telus dan komprehensif.

STRATEGI PENCARIAN SISTEMATIK

Strategi pencarian sistematik adalah komponen penting dalam protokol PRISMA, melibatkan pendekatan sistematik untuk mengenal pasti dan memilih kajian yang berkaitan untuk semakan sistematik. Penyelidik

membangunkan pelan carian yang jelas, memilih kata kunci yang sesuai dengan teliti dan mencari dari pelbagai pangkalan data dan sumber untuk memastikan liputan yang komprehensif (Young et al. 2021). Mengurus hasil carian, termasuk mengeluarkan artikel berulang dan mendokumentasikan proses carian, adalah penting untuk ketelusan dan kebolehlugan (Rethlefsen et al. 2021). Karya yang tidak diterbitkan, seperti ringkasan daripada persidangan dan pelbagai laporan yang termasuk dalam kategori kepustakaan tidak formal, juga diambil kira untuk memastikan tinjauan yang menyeluruh. Walaupun ia adalah pilihan, melaksanakan penilaian terhadap kualiti kajian yang dimasukkan dapat meningkatkan tahap kejutuan tinjauan sistematik. Strategi pencarian secara sistematik ini penting untuk memastikan integriti dan kebolehpercayaan proses tinjauan, yang pada akhirnya akan menyokong proses membuat keputusan yang berasaskan bukti dalam penyelidikan.

PENGENALPASTIAN

Berdasarkan persoalan penyelidikan yang dirumuskan, tiga kata kunci utama telah dikenal pasti: makmal kejuruteraan, amalan pengurusan risiko dan faktor yang mempengaruhi keselamatan. Penyelidik menyelidik secara menyeluruh perkataan sinonim, istilah berkaitan dan variasi untuk mengembangkan kata kunci ini. Proses ini melibatkan penggunaan *thesaurus* secara atas talian, menyemak kata kunci yang digunakan dalam kajian terdahulu, meneliti cadangan *SCOPUS* dan mendapatkan pandangan pakar dalam bidang tersebut. Seterusnya, banyak kata kunci yang serupa dengan pengurusan risiko telah dipertimbangkan, termasuk bahaya, risiko, faktor risiko, kebarangkalian, impak, keselamatan, makmal, bengkel, kolej dan politeknik.

Selain itu, proses pencarian melibatkan kedua-dua teknik automatik dan manual. Pendekatan 'pilihan tangan' manual digunakan untuk memastikan carian menyeluruh dalam pangkalan data tertentu seperti Science Direct, IEEE dan Google Scholar. Adalah penting untuk menyatakan bahawa pengurusan risiko, dalam konteks penyelidikan ini, memberi tumpuan sepenuhnya kepada makmal akademik dan bengkel untuk pelajar di institusi pendidikan. Walaupun pengurusan risiko merangkumi banyak aspek, skop

JADUAL 1. Soalan kajian menggunakan Model PICo

Soalan kajian	Populasi	Minat	Konteks
Apakah faktor utama yang mempengaruhi amalan pengurusan risiko keselamatan di makmal kejuruteraan, dan bagaimanakah faktor ini mempengaruhi persekitaran keselamatan di makmal?	Pelajar, penyelidik, atau juruteknik	Faktor utama yang mempengaruhi amalan pengurusan risiko keselamatan dan memahami kesannya	Makmal kejuruteraan

penyelidikan ini terhad kepada persekitaran pendidikan sahaja. Sebanyak 324 artikel berpotensi telah dikenal pasti daripada pangkalan data yang dipilih. Frasa pencarian untuk pengenalpastian seperti dalam Jadual 2.

SARINGAN

Saringan merupakan langkah kedua di mana artikel dipilih untuk disertakan dalam kajian atau dikeluarkan daripadanya, sama ada menggunakan pangkalan data atau secara khusus oleh penyelidik, berdasarkan kepada kriteria yang telah ditetapkan terlebih dahulu (Jadual 3).

Penyelidik memilih penerbitan berbentuk penyelidikan empirik kerana ia mengandungi data primer. Hanya penerbitan dalam bahasa Inggeris dipilih untuk mengelak kekeliruan. Pemilihan pengajian sains sosial sebagai salah satu kriteria bertujuan untuk mendapatkan lebih banyak artikel berkaitan pengurusan risiko kerana objektif SLR adalah berkaitan dengan persediaan masyarakat. Tiga ratus artikel telah dikeluarkan kerana tidak memenuhi kriteria, selebihnya hanya 23 artikel untuk dinilai pada peringkat seterusnya.

KELAYAKAN

Para penyelidik menilai semula artikel yang dipilih secara manual untuk menentukan kesesuaian artikel berdasarkan kriteria yang ditetapkan. Penilaian ini termasuk mengenal pasti tajuk, abstrak atau keseluruhan

artikel. Pada mulanya, 238 artikel telah dikeluarkan semasa proses saringan berkaitan tajuk dan 232 lagi semasa saringan abstrak. Secara keseluruhan, 300 artikel telah dikeluarkan kerana tidak memenuhi kriteria dan tidak berkaitan dengan tajuk pengurusan risiko di makmal dan bengkel. Artikel ini termasuk ulasan pelajar kejuruteraan dan kertas berasaskan sains tidak termasuk kajian daripada bidang bukan sains sosial seperti kejuruteraan atau sains alam sekitar. Hasilnya, hanya tinggal 23 artikel dipilih untuk peringkat seterusnya iaitu proses penilaian kualiti.

Berdasarkan Rajah 1, proses pemilihan artikel mengikut Protokol PRISMA yang terdiri daripada empat peringkat penting: Pengenalpastian, Saringan, Kelayakan dan Kemasukan. Pada awalnya, 324 artikel telah dikenal pasti untuk dikaji. Pada peringkat saringan, 238 artikel telah dikeluarkan berdasarkan tajuknya dan 232 lagi berdasarkan abstraknya. Kemudian, pada peringkat kelayakan, penilaian artikel yang selebihnya adalah berdasarkan kriteria tertentu, termasuk memberi tumpuan kepada pengurusan risiko, relevan dengan kejuruteraan atau sains dan tidak termasuk kajian bukan sains sosial. Ini menghasilkan 301 artikel yang dikeluarkan dan hanya 23 artikel dipilih untuk proses penilaian kualiti dalam peringkat kemasukan. Proses ini penting untuk setiap kajian dengan memberikan panduan yang mudah difahami bagi pemilihan artikel (Higgins et al. 2011; Moher et al. 2009; Shamseer et al. 2015).

JADUAL 2. Frasa pencarian

Pangkalan data	Frasa pencarian
Scopus	<i>TITLE-ABS-KEY (("engineering laborator*" OR lab*) AND ("risk* manage*" "practice" OR "risk* manage*" OR "risk* practice") AND ("factor" "influence*" "safer*" OR "safer* factors" OR "inspire" OR "navigate" OR "foster" OR "lead" OR "empower"))</i>
Web of Science	<i>TS = (("engineering laborator*" OR lab*) AND ("risk* manage*" "practice" OR "risk* manage*" OR "risk* practice") AND ("factor" "influence*" "safer*" OR "safer* factors" OR "inspire" OR "navigate" OR "foster" OR "lead" OR "empower"))</i>

JADUAL 3. Kriteria kemasukan dan pengecualian

Kriteria	Kemasukan	Pengecualian
Jenis Dokumen	Artikel (dengan data empirik)	Bab dalam buku, buku, artikel ulasan dan prosiding persidangan
Bahasa	English	Bukan – English
Bidang subjek	Sains sosial, Kejuruteraan	Kajian perubatan, kesihatan awam, sains alam sekitar, geografi dan kajian sains bukan sosial yang lain

PENILAIAN KUALITI

Menurut garis panduan yang dicadangkan oleh Kitchenham dan Charters (2007), selepas memilih kajian utama (KU), penilaian kualiti penyelidikan dalam kajian tersebut adalah penting. Penilaian ini dilakukan melalui Penilaian Kualiti (PK) dengan menetapkan enam soalan penyelidikan untuk membimbing kajian keputusannya sistematik (SLR) adalah seperti berikut:

QA1. *Is the purpose of the study clearly stated?* QA2. *Are the interest and usefulness of the work clearly presented?* QA3. *Is the study methodology clearly established?* QA4. *Are the concepts of the approach clearly defined?* QA5. *Is the work compared and measured with other similar work?* QA6. *Are the limitations of the work clearly mentioned?*

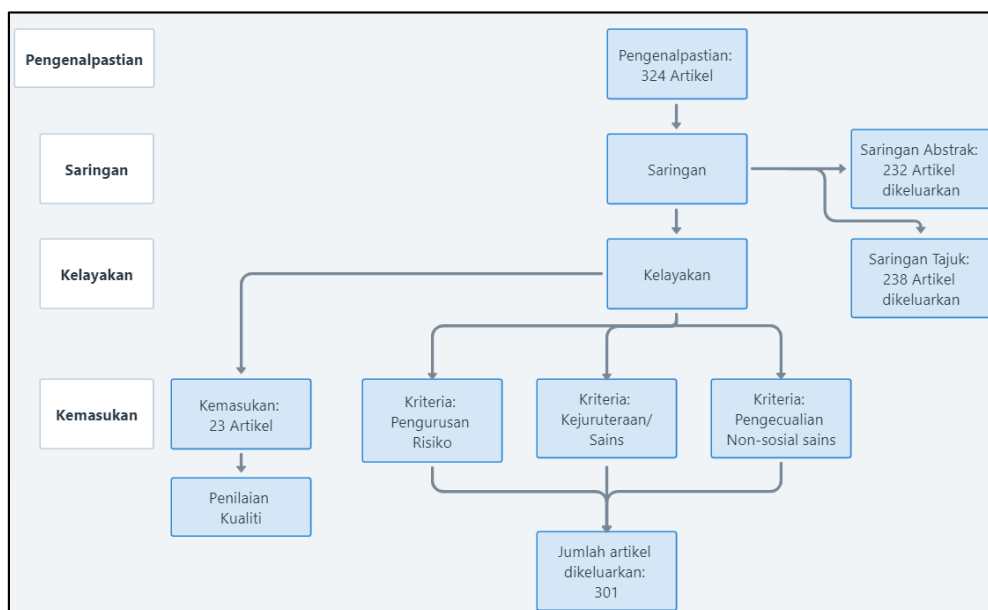
Prosedur penilaian skor yang digunakan untuk menilai setiap QA adalah: Ya (Y) = 1, Sebahagian (P) = 0.5, atau Tidak (No) = 0 (Kitchenham & Charters 2007).

Menurut Abouzahra, Sabraoui dan Afdel (2020), pakar atau profesional dinasihatkan untuk menggunakan sistem penilaian untuk mengkategorikan artikel yang selebihnya kepada tiga tahap kualiti yang berbeza: 'Ya,' 'Sebahagian' dan 'Tidak.' Hanya penerbitan yang mendapat markah 'Ya' dan 'Sebahagian' harus disertakan dalam proses semakan. Fokus utama untuk menilai kedudukan kualiti artikel ialah metodologinya. Untuk artikel dipilih untuk dimasukkan, kedua-dua penyelidik mesti mencapai persetujuan bersama tentang tahap kualiti minimum yang boleh diterima. Individu yang terlibat membincangkan dengan teliti sebarang perselisihan faham sebelum membuat keputusan

mengenai kemasukan atau pengecualian. Selepas memilih kajian kritikal, langkah seterusnya melibatkan penilaian berdasarkan soalan Penilaian Kualiti (QA) yang diterangkan dalam bahagian ini. Jadual 4 membentangkan markah yang diberikan kepada setiap kajian utama pada setiap soalan QA. Keputusan kajian menunjukkan bahawa markah bagi setiap artikel mencapai sekurang-kurangnya 3 daripada 6 mata.

PENGABSTRAKAN DAN ANALISIS DATA

Pengabstrakan data memainkan peranan penting dalam menganalisis dan menilai risiko keselamatan dalam makmal kejuruteraan, membolehkan penyelidik mengasingkan pemboleh ubah berkaitan keselamatan dan membangunkan protokol keselamatan yang lebih berkesan. Sebagai ilustrasi, penyelidikan yang dijalankan oleh Bayer et al. (2023) menunjukkan aplikasi teknik sains data dalam menilai risiko keselamatan. Sementara itu, kajian Dedy, Harahap dan Pradana Syahrana (2023) mengkaji sistem perlindungan kebakaran dalam konteks makmal bangunan, menekankan kepentingan penilaian risiko keselamatan yang komprehensif. Sebaliknya, analisis data melalui pendekatan statistik dan logik menyumbang dengan ketara kepada pengurusan risiko keselamatan. Prosedur ini bukan sahaja memudahkan pengenalpastian corak dan trend dalam insiden keselamatan tetapi juga menyerlahkan bidang yang memerlukan tindakan segera, mengukur kecekapan langkah keselamatan yang telah dilaksanakan dan meramal kemungkinan risiko yang mungkin berlaku pada masa hadapan dengan sokongan teknologi canggih seperti mesin pembelajaran algoritma (Zhang et al. 2020).



RAJAH 1. Jumlah artikel yang dikenal pasti

JADUAL 4. Keputusan proses penilaian kualiti

Penulis	QA1	QA2	QA3	QA4	QA5	QA6	Jumlah	Kemasukan
Zhao et al. (2023)	1	1	1	1	0.5	1	5.5	/
Murcia et al. (2023)	1	1	1	1	0.5	1	5.5	/
Chen et al. (2023)	1	1	1	1	1	1	6	/
Álvarez-Chávez et al. (2019)	1	1	1	1	0.5	0.5	5	/
Zhang et al. (2020)	1	1	1	1	0.5	0.5	5	/
Gong et al. (2020)	1	1	1	1	0.5	0.5	5	/
Corso et al. (2022)	1	1	1	1	0.5	0.5	5	/
Sajorda & Martin (2023)	1	1	1	0	0.5	0	3.5	/
Chiroli et al. (2019)	1	1	1	1	0.5	0	4.5	/
Lin, Wu & Xu (2021)	1	1	1	1	0.5	0	4.5	/
Du, Han & Shang (2022)	1	1	1	1	0.5	0	4.5	/
Shao et al. (2021)	1	1	1	1	1	0	5	/
Pertiwi et al. (2021)	1	1	1	1	1	1	6	/
Tobia et al. (2014)	1	1	1	1	1	0	5	/
Shah et al. (2016)	1	1	1	1	0	1	5	/
Shen et al. (2021)	1	1	1	1	0	1	5	/
Alipour-Bashary et al. (2021)	1	1	1	1	1	1	6	/
He et al. (2021)	1	1	1	1	1	1	6	/
Chen, (2021)	1	1	1	1	1	1	6	/
Shariff & Norazahar (2012)	1	1	1	1	1	1	6	/
Zhang & Luo (2017)	1	1	1	1	1	1	6	/
Mohammadfam, Abdolahi & Karimi (2018)	1	1	1	1	1	1	6	/
Xu et al. (2023b)	1	1	1	1	1	1	6	/

Pengabstrakan dan analisis data saling melengkapi antara satu sama lain. Pengabstrakan data memisahkan pemboleh ubah penting untuk dianalisis, manakala analisis data menggunakan pemboleh ubah tersebut untuk mencipta cerapan praktikal. Menggabungkan kedua-dua kaedah ini memperluaskan pemahaman tentang risiko keselamatan dalam makmal kejuruteraan dan membantu membangunkan strategi keselamatan yang berkesan. Penyelidikan ini dijalankan secara bersama antara pengarang utama dan pengarang bersama untuk menghasilkan tema yang sesuai dengan hasil kajian. Pengarang menjalankan perbincangan mendalam untuk menyelesaikan perbezaan pendapat dan menjelaskan tema. Selepas mencapai persetujuan, dua kumpulan pakar menyemak tema dan subtema yang dihasilkan, mengakui kepentingannya dan kaitannya dengan penemuan penyelidikan.

KEPUTUSAN

CIRI KAJIAN

Jadual 5 menunjukkan maklumat berkaitan kajian pengurusan risiko keselamatan di makmal kejuruteraan di mana kaedah penyelidikan kuantitatif adalah yang paling banyak digunakan dengan 16 kajian (69.57%) menggunakan pendekatan ini. Terdapat juga dua kajian kes, tiga kajian gunaan, satu kajian konseptual dan satu analisis dasar. Trend penerbitan menunjukkan peningkatan minat dalam topik ini, dengan lima kajian diterbitkan pada 2023 dan tujuh pada 2021. Bidang tumpuan kajian berbeza-beza, termasuk kejuruteraan pembinaan (26.09%), makmal universiti (21.74%), makmal khusus (17.39%) serta pengangkutan dan infrastruktur.

Topik penyelidikan termasuk keselamatan makmal dan kesihatan pekerjaan (34.78%), keselamatan pembinaan dan kerjasama manusia-robot (30.43%) dan isu lain seperti alam sekitar dan keselamatan struktur. Keselamatan makmal dan kesihatan pekerjaan adalah subjek yang paling kerap dikaji. Kesimpulannya, data ini memberikan gambaran keseluruhan metodologi, trend penerbitan, kawasan kajian dan topik penyelidikan dalam kajian pengurusan risiko keselamatan di makmal kejuruteraan.

Rajah 2 menunjukkan analisis peratusan terperinci bagi setiap kategori Penilaian Kualiti (QA), menjelaskan kekuatan dan kelemahan kepustakaan sedia ada. Artikel ini secara konsisten cemerlang dalam tiga aspek asas: menerangkan dengan jelas tujuan penyelidikan (QA1), berkesan dalam menyampaikan kepentingan dan faedah penyelidikan (QA2) dan mentakrifkan dengan jelas metodologi (QA3), yang setiap satunya mendapat markah maksimum 100%. Markah tinggi ini membentuk asas yang kukuh untuk pemahaman pembaca, keboleholangan penyelidikan dan kesahan.

JADUAL 5. Ciri kajian bagi artikel yang telah dipilih (n=23)

Kategori	Item	N	%
Jenis penyelidikan	Kuantitatif	16	69.57
	Kajian kes	2	8.7
	Digunakan	3	13.04
	Konseptual	1	4.35
	Analisis Dasar	1	4.35
Tahun penerbitan	2023	5	21.74
	2022	2	8.7
	2021	7	30.43
	2020	2	8.7
	2019	2	8.7
	2018	1	4.35
	2017	1	4.35
	2016	1	4.35
	2014	1	4.35
	2012	1	4.35
Bidang pengajian	Makmal Universiti	5	21.74
	Kejuruteraan pembinaan	6	26.09
	Makmal Khusus	4	17.39
	Pengangkutan dan Infrastruktur	3	13.04
	Metodologi Lanjutan	5	21.74
Subjek	Keselamatan Makmal dan Kesihatan Pekerjaan	8	34.78
	Keselamatan Pembinaan dan Kerjasama Manusia-Robot	7	30.43
	Kimia Alam Sekitar dan Pengurusan Sisa	1	4.35
	Keselamatan Struktur dan Ergonomik	2	8.70
	Keselamatan Kebakaran dan Perobohan	2	8.70
	Penilaian Risiko Kejuruteraan	1	4.35
	Analisis Korelasi Kelabu	1	4.35
	Landasan dan Pengurusan Keselamatan	1	4.35

Walau bagaimanapun, skor menurun sedikit kepada 95.65% apabila mentakrifkan konsep pendekatan dengan jelas (QA4), menunjukkan kawasan kecil untuk penambahbaikan. Bidang yang paling menonjol untuk penambahbaikan ialah membandingkan dan mengukur kerja dengan pekerjaan lain yang serupa (QA5) dan menyebut secara jelas batasan kajian (QA6) dengan masing-masing mendapat markah 65.22% dan 60.87%. Skor rendah ini menunjukkan bahawa penyelidikan masa depan boleh mendapat manfaat daripada analisis perbandingan yang lebih mendalam dan lebih ketelusan dalam membincangkan batasan.

Menurut klasifikasi penyelidikan oleh Creswell dan Creswell (2017) dan Snyder, (2019), analisis metodologi yang digunakan dalam kajian kepustakaan sistematik digambarkan dalam Rajah 3. Metodologi yang sering digunakan ialah analisis statistik, yang diterbitkan dalam enam artikel. Pendekatan ini menggunakan data empirik untuk mengesahkan teori dan hipotesis, merangkumi 26.1% daripada jumlah kajian kepustakaan sistematik oleh Chiroli et al. (2019). Analisis statistik dalam kepustakaan menunjukkan bahawa pendekatan ini membantu memberikan ketepatan empirik kepada pengurusan risiko keselamatan dalam persekitaran makmal kejuruteraan. Tambahan pula, Kajian Kes dan Model Pengiraan Lanjutan sering digunakan, setiap satu disemak dalam lima penerbitan. Kajian Kes menyediakan penerokaan yang mendalam tentang situasi sebenar (Zhang et al. 2020), manakala Model Pengiraan Lanjutan menggunakan analisis teknikal untuk penilaian risiko (Novák et al. 2023). Kedua-dua metodologi ini menyumbang 43.5% daripada jumlah penyelidikan, menunjukkan keseimbangan antara penyelidikan empirik dan pemodelan pengiraan.

Kaedah soal selidik digunakan dalam empat artikel, menilai kesan pengalaman dan pandangan subjektif dan mengarang 17.4% daripada keseluruhan penyelidikan (Eridani et al. 2020). Metodologi ini menyumbang kepada pemahaman unsur manusia yang memainkan peranan dalam pengurusan risiko keselamatan. Akhir sekali, Model Konseptual digunakan dalam tiga artikel, memfokuskan pada kerangka teori untuk menerangkan fenomena dan membentuk 13% daripada jumlah kajian (Guide 2016). Penggunaan Model Konseptual menunjukkan minat yang berterusan dalam membangunkan asas teori untuk amalan pengurusan risiko keselamatan. Kepelbagaian dalam metodologi menggariskan tahap kesukaran pengurusan risiko keselamatan dalam makmal kejuruteraan yang memerlukan pelbagai pendekatan untuk pemahaman menyeluruh tentang bidang tersebut.

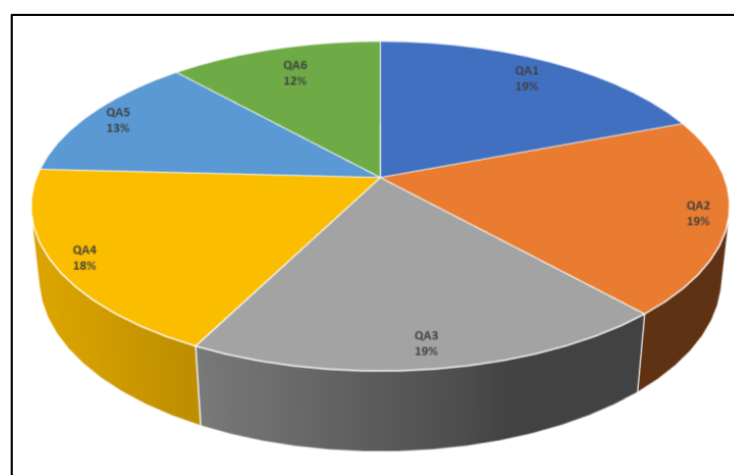
Rajah 4 menggambarkan pelbagai metodologi penyelidikan yang digunakan dalam artikel yang disemak berkaitan dengan pengurusan risiko keselamatan

di makmal kejuruteraan. Penyelidikan kuantitatif adalah pendekatan yang paling dominan, mencakupi 69.57% daripada kajian dengan 16 kajian dalam kategori ini. Penyelidikan kuantitatif dikenal pasti melalui proses mengumpul dan meneliti data berangka untuk mendapatkan kesimpulan berdasarkan statistik dan pengetahuan. Dalam konteks pengurusan risiko keselamatan, kajian kuantitatif ini berkemungkinan akan menggunakan alat statistik dan teknik analisis data untuk menilai dan mengukur risiko keselamatan secara sistematik (Moretti, Cantisani & Caro 2017).

Kajian kes digunakan dalam bidang ini, membentuk 8.7% daripada penyelidikan dengan dua di antaranya tergolong dalam kategori ini. Kajian kes meneroka dan menganalisis secara terperinci kes tertentu. Dalam konteks pengurusan risiko keselamatan, pendekatan ini memberikan pandangan tentang insiden sebenar, menggambarkan amalan keselamatan, cabaran dan kesannya (Herepath, Kitchener & Waring 2015). Penyelidikan gunaan menyumbang 13.04% daripada kajian, dengan tiga dalam kategori ini. Matlamatnya adalah untuk menyelesaikan masalah sebenar dan menyediakan penyelesaian langsung. Dalam pengurusan risiko keselamatan, ini biasanya termasuk membangun dan melaksanakan tindakan keselamatan di lapangan yang membawa kepada penambahbaikan praktikal (Krechowicz 2017).

Penyelidikan konseptual, membentuk 4.35% daripada penyelidikan dengan satu kajian, melibatkan penerokaan dan pembangunan konsep teori. Dalam konteks pengurusan risiko keselamatan, kajian ini bertujuan untuk membangunkan model atau rangka kerja teori baharu untuk meningkatkan pemahaman tentang risiko keselamatan dan pengurusannya (Nixon et al. 2015). Akhir sekali, dengan 4.35% dalam satu kajian, penyelidikan analisis dasar melibatkan penilaian dasar, peraturan dan garis panduan. Dalam konteks pengurusan risiko keselamatan, kajian ini mengkaji keberkesanan peraturan keselamatan atau memberikan cadangan untuk penambahbaikan dasar (Nixon et al. 2015). Pelbagai metodologi penyelidikan ini memberikan pemahaman menyeluruh tentang pengurusan risiko keselamatan di makmal kejuruteraan.

Rajah 5 menunjukkan taburan artikel dalam pelbagai bidang kajian. Bidang yang dikaji ialah Kejuruteraan Pembinaan yang mengandungi enam artikel atau 26.1%, daripada jumlah artikel. Ini diikuti oleh Makmal Universiti dan Metodologi Lanjutan, setiap satu mengandungi lima artikel atau 21.7% daripada jumlah keseluruhan. Makmal khusus juga memegang bahagian penting dengan empat artikel tersebut membentuk 17.4%. Akhir sekali, Pengangkutan dan Infrastruktur diwakili oleh tiga artikel, mewakili 13.0% daripada bidang kajian. Pengagihan ini memberikan pandangan keseluruhan tentang landskap penyelidikan,



RAJAH 2. Analisis Peratusan untuk Setiap Kategori QA

menekankan fokus utama pada Kejuruteraan Pembinaan dan pentingnya persekitaran akademik serta metodologi

yang terkini dalam perbincangan pengurusan risiko keselamatan berdasarkan Jadual 6.

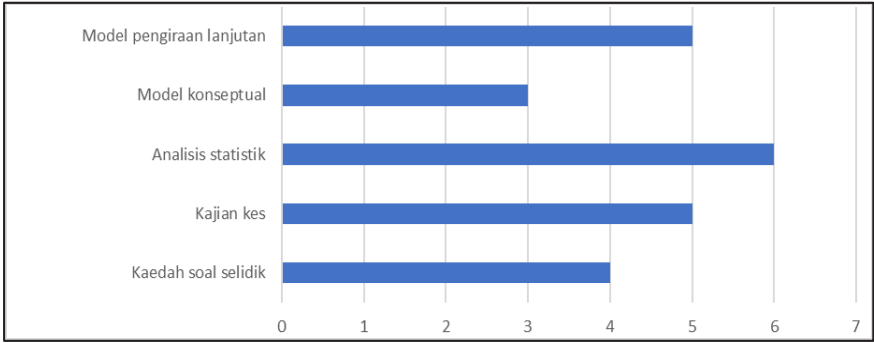
JADUAL 6. Senarai 23 artikel terpilih bagi kajian kepustakaan sistematik

Penulis	Tajuk	Konteks	Bidang
Zhao et al. (2023)	<i>Risk Assessment Of Safety Level In University Laboratories Using Questionnaire And Bayesian Network</i>	Penilaian risiko di makmal universiti menggunakan Bayesian Network dan soal selidik	Makmal Universiti
Murcia et al. (2023)	<i>Risk Assessment And Green Chemistry Applied To Waste Generated In University Laboratories</i>	Penilaian risiko dan pengurusan sisa di makmal universiti	Makmal Universiti
Chen et al. (2023)	<i>Identifying The Risk Factors And Their Interactions Of Human-Robot Collaboration Implementation During Engineering Project Construction: Evidence From China</i>	Faktor risiko dalam kerjasama manusia-robot semasa projek kejuruteraan	Kejuruteraan Pembinaan
Álvarez-Chávez et al. (2019)	<i>Assessing College Students' Risk Perceptions Of Hazards In Chemistry Laboratories</i>	Persepsi risiko dalam kalangan pelajar kolej di makmal kimia	Makmal Khusus
Zhang et al. (2020)	<i>Assessing The Safety Risks Of Civil Engineering Laboratories Based On Lab Criticity Index: A Case Study In Jiangsu Province</i>	Penilaian risiko keselamatan di makmal kejuruteraan awam	Kejuruteraan Pembinaan
Gong et al. (2020)	<i>Safety Risk Evaluations Of Deep Foundation Construction Schemes Based On Imbalanced Data Sets</i>	Penilaian keselamatan dalam pembinaan asas dalam	Kejuruteraan Pembinaan
Corso et al. (2022)	<i>Management Of Occupational Safety And Health (OSH) In University Chemical Laboratories: A Case Study At A University Federal Public Service In The Interior Of Paraná - Brazil</i>	Pengurusan KKP di makmal kimia universiti	Makmal Universiti
Sajorda & Martin (2023)	<i>Composite Laboratory Structural Equipment Safety Factors At The Philippine State College Of Aeronautics</i>	Faktor keselamatan dalam makmal Aeronautik	Makmal Khusus

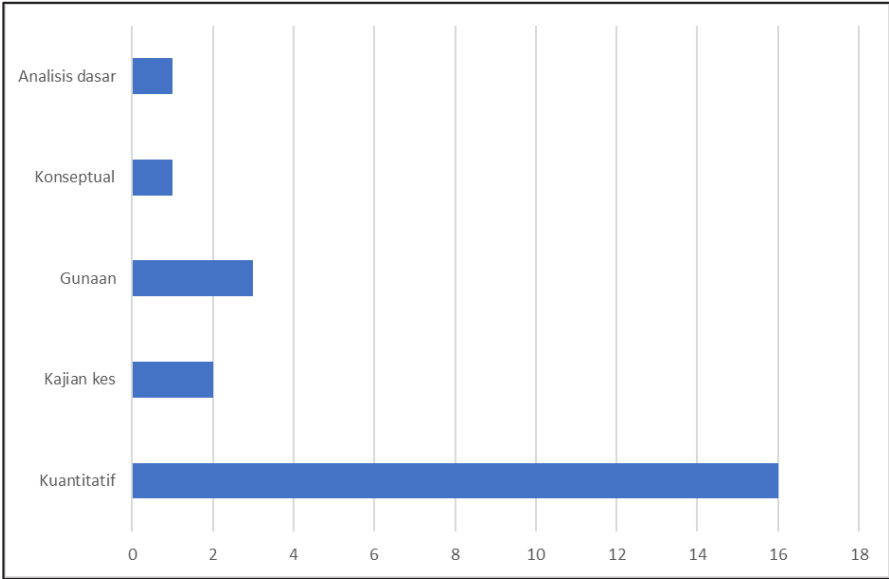
continued...

...continuing

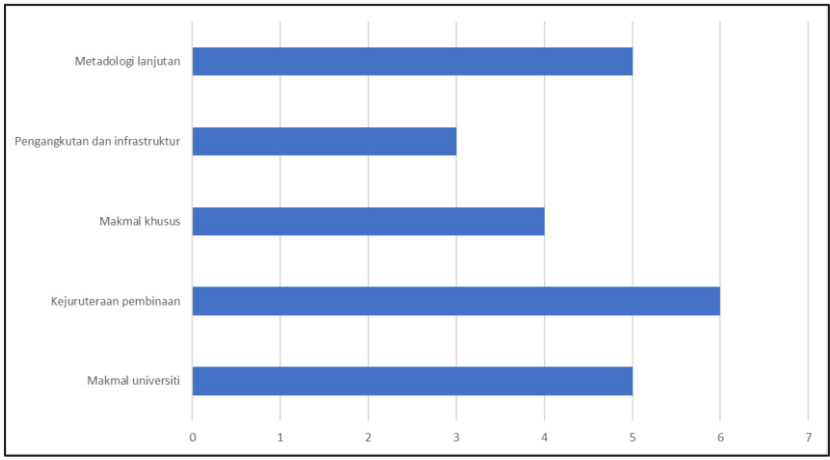
Chiroli et al. (2019)	<i>Work Safety Management Applied To A Lab Used By A Junior Company Of Chemical Engineering</i>	Keselamatan kerja di makmal kejuruteraan kimia	Makmal Khusus
Lin, Wu & Xu (2021)	<i>Investigation Of Factors Influencing The Construction Safety Of High-Speed Railway Stations Based On DEMATEL And ISM</i>	Faktor yang mempengaruhi keselamatan dalam pembinaan kereta api laju	Pengangkutan dan Infrastruktur
Du, Han & Shang (2022)	<i>Safety Risk Control In Construction Engineering Based On The Interval Analytic Hierarchy Process And Technique For Order Preference By Similarity To Ideal Solution</i>	Kawalan risiko keselamatan dalam kejuruteraan pembinaan	Kejuruteraan Pembinaan
Shao et al. (2021)	<i>Integrating Ergonomics Into Safety Management: A Conceptual Risk Assessment Model For Tower Controllers At Multiple Altitudes</i>	Ergonomik dan keselamatan dalam kawalan menara	Pengangkutan dan Infrastruktur
Pertiwi et al. (2021)	<i>Risk Management Of Material Laboratory, Department Of Civil Engineering, Bali State Polytechnic For Preparation Of Occupational Safety And Health Program</i>	Pengurusan risiko dalam makmal bahan untuk kejuruteraan awam	Kejuruteraan Pembinaan
Tobia et al. (2014)	<i>Fire Risk Analysis With A Performance-Based Fire Safety Engineering Approach And FDS Models For Underground Facilities In Gran Sasso National Laboratories</i>	Analisis risiko kebakaran di kemudahan bawah tanah	Makmal Khusus
Shah et al. (2016)	<i>Risk Management Policy Of Telecommunication And Engineering Laboratory</i>	Pengurusan risiko dalam makmal telekomunikasi dan kejuruteraan	Makmal Khusus
Shen et al. (2021)	<i>Research On The Influence Mechanism Of Safety Risk Factors On Traffic Organization Of High-Speed Railway Construction</i>	Faktor risiko keselamatan dalam pembinaan kereta api berkelajuan tinggi	Pengangkutan dan Infrastruktur
Alipour-Bashary et al. (2021)	<i>A Hybrid Fuzzy Risk Assessment Framework For Determining Building Demolition Safety Index</i>	Rangka kerja penilaian risiko untuk perobohan bangunan	Kejuruteraan Pembinaan
He et al. (2021)	<i>Risk Assessment Of Pipeline Engineering Geological Disaster Based On GIS And WOE-GA-BP Models</i>	Penilaian risiko dalam kejuruteraan saluran paip	Kejuruteraan Pembinaan
Chen (2021)	<i>Research Of The Safety Path Of Colleges And Universities Laboratory Basing On The Analysis Of Grey Correlation Degree</i>	Penyelidikan laluan keselamatan di makmal universiti	Makmal Universiti
Shariff & Norazahar (2012)	<i>At-Risk Behaviour Analysis And Improvement Study In An Academic Laboratory</i>	Analisis tingkah laku dalam makmal akademik	Makmal Universiti
Zhang & Luo (2017)	<i>Influencing Factors Of Runway Incursion Risk And Their Interaction Mechanism Based On Dematel-Ism</i>	Faktor yang mempengaruhi risiko pencerobohan landasan	Pengangkutan dan Infrastruktur
Mohammadfam, Abdolahi & Karimi (2018)	<i>Assessment And Risk Management In The Laboratories Of The School Of Public Health, A Medical University Using The Achil Technique</i>	Pengurusan risiko di makmal kesihatan awam	Makmal Khusus
Xu et al. (2023b)	<i>Identification And Analysis Of Influencing Factors On Construction Quality Management For Rural Drinking Water Safety Projects</i>	Faktor yang mempengaruhi kualiti pembinaan dalam projek air luar bandar	Kejuruteraan Pembinaan



RAJAH 3. Pengagihan artikel berdasarkan metodologi



RAJAH 4. Pengagihan artikel berdasarkan jenis metodologi kajian



RAJAH 5. Pengagihan artikel berdasarkan bidang kajian

Persoalan Kajian:

Apakah faktor utama yang mempengaruhi amalan pengurusan risiko keselamatan di makmal kejuruteraan, dan bagaimanakah faktor ini mempengaruhi persekitaran keselamatan di makmal?

TEMA

Analisis tematik mengenal pasti lima tema utama dan lapan belas subtema: 1) Protokol Pengurusan Risiko, 2) Faktor Organisasi, 3) Faktor Fizikal dan Persekitaran, 4) Faktor Luaran dan Kontekstual, serta 5) Hala Tuju Inovatif Baharu untuk tema utama. Ringkasan tema utama dan subtema adalah berdasarkan Jadual 7.

JADUAL 7. Tema dan Subtema

Penulis	Protokol Pengurusan Risiko				Faktor Organisasi				Faktor Fizikal dan Persekitaran			Faktor Luaran dan Kontekstual			Faktor Hala Tuju Inovatif Baharu				
	PI	TD	PM	PKTK	DP	KK	ABT	DTU	PP	ME	JK	UU	W	PB	GT	IT	KKA	KP	IP
Zhao et al. (2023)	/	/	/	/	/				/	/									/
Murcia et al. (2023)	/	/	/		/			/	/		/				/		/		/
Chen et al. (2023)		/	/		/	/	/	/	/	/		/	/	/	/			/	/
Álvarez-Chávez et al. (2019)		/	/		/		/	/	/	/									/
Zhang et al. (2020)	/				/	/	/	/	/	/		/		/				/	/
Gong et al. (2020)	/	/	/		/			/			/					/			/
Corso et al. (2022)			/	/	/	/	/	/	/	/	/	/		/	/				/
Sajorda & Martin (2023)	/	/							/					/	/				
Chiroli et al. (2019)	/		/				/	/	/	/		/			/				
Lin, Wu & Xu (2021)	/	/	/	/	/	/	/	/	/		/	/	/	/	/	/	/	/	/
Du, Han & Shang (2022)			/		/		/		/	/					/				/
Shao et al. (2021)			/		/		/		/	/				/	/			/	
Pertiwi et al. (2021)					/	/	/	/	/	/					/				/
Tobia et al. (2014)	/	/		/				/	/	/		/		/	/	/			
Shah et al. (2016)	/								/										
Shen et al. (2021)		/		/	/	/			/		/			/			/		/
Alipour-Bashary et al. (2021)	/	/			/				/										
He et al. (2021)	/		/						/							/			
Chen (2021)	/	/		/	/		/	/	/			/							
Shariff & Norazahar (2012)			/	/	/	/		/	/	/		/			/			/	/
Zhang & Luo (2017)				/			/		/	/					/			/	/
Mohammadfam, Abdolahi & Karimi (2018)				/			/												
Xu et al. (2023b)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/					/		/		/

PI = Pengenalpastian Risiko; TD = Teknologi Data; PM = Penilaian dan Maklumbalas; PKTK = Pengurusan Krisis dan Tindak Balas Kecemasan; DP = Dasar dan Prosedur Pengurusan; KK = Komunikasi dan Kerjasama; ABT = Aspek Budaya dan Tingkah Laku; DTU = Dasar dan Tadbir Urus Institusi; PP = Peralatan dan Persekitaran; ME = Faktor Manusia dan Ergonomik; JK = Jaminan dan Kawalan Kualiti; UU = Pertimbangan Undang-Undang dan Etika; W = Kewangan; PB = Faktor Luaran dan Penglibatan Pihak Berkepentingan; GT = Konteks Global dan Tempatan; IT = Inovasi Teknologi; KKA = Kemampanan dan Kesan Alam Sekitar; KP = Keselamatan Psikologi; IP = Inovasi dan Penyelidikan dalam Keselamatan

PROTOKOL PENGURUSAN RISIKO PENGENALPASTIAN RISIKO

Subtema pengenalanpastian risiko dalam protokol pengurusan risiko menekankan kepentingan mengenal pasti risiko dalam pelbagai tetapan, terutamanya makmal universiti. Soal selidik dan analisis rangkaian Bayesian mengenal pasti risiko (Zhao et al. 2023), memfokuskan pada kesedaran keselamatan yang tidak mencukupi dan kegagalan peralatan (Zhang et al. 2020). Risiko kimia, mekanikal dan kebakaran dikenal pasti sebagai bidang perhatian yang paling utama (Gong et al. 2020; Murcia et al. 2023; Tobia et al. 2014). Faktor manusia dan pengurusan, termasuk kemerosotan kognitif dan sistem pengurusan keselamatan yang tidak sempurna, diiktiraf mempengaruhi risiko (Lin, Wu & Xu 2021). Peta risiko dan analisis korelasi kelabu digunakan untuk penilaian dan pengurusan risiko yang lebih dinamik (Chiroli et al. 2019; Chen 2021). Kesimpulannya, pengenalanpastian risiko memerlukan pendekatan yang berstruktur dan sistematik, menekankan latihan yang tepat dan pengurusan dinamik untuk mitigasi yang berkesan.

TEKNOLOGI DATA

Subtema ini menekankan peranan kritikal teknologi data dalam pengenalanpastian dan penilaian risiko dalam pelbagai sektor dengan tumpuan khusus kepada makmal universiti. Model rangkaian Bayesian, *Globally Harmonized System* (GHS) dan *Social Network Analysis* (SNA) digunakan untuk analisis risiko yang mendalam (Chen et al. 2023; Murcia et al. 2023; Zhao et al. 2023). Algoritma pembelajaran mesin dan pelbagai kaedah tinjauan menyokong penilaian keselamatan praktikal (Gong et al. 2020; Sajorda & Martin 2023). Pendekatan seperti model *System Dynamics* (SD), *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menambah dimensi baharu kepada analisis risiko (Lin, Wu & Xu 2021; Shen et al. 2021; Tobia et al. 2014). Analisis korelasi kelabu dan penggunaan Sistem Maklumat Geografi (GIS) dan Algoritma Genetik (GA) mengukuhkan penilaian risiko (Chen 2021; He et al. 2021). Secara keseluruhannya, menggabungkan teknologi data dengan mengukuhkan ketepatan empirik dan memudahkan pelaksanaan strategi pengurusan keselamatan yang lebih berfokus, mencerminkan perkembangan dalam penilaian risiko dan tadbir urus keselamatan.

PENILAIAN DAN MAKLUM BALAS

Subtema ketiga menggariskan kepentingan penilaian dan maklum balas yang rapi untuk meningkatkan keselamatan, terutamanya di makmal universiti. Penyelidikan menunjukkan penggunaan data soal

selidik untuk penilaian risiko (Chen et al. 2023; Zhao et al. 2023) dan pengesahan garis panduan keselamatan (Murcia et al. 2023). Inovasi seperti penggunaan Realiti Maya (VR) untuk penilaian latihan (Lin, Wu & Xu 2021) dan analisis sentraliti untuk pengurusan keselamatan menyerlahkan pendekatan penilaian. Kajian lain menilai dan menambah baik latihan dan amalan keselamatan berdasarkan persepsi risiko (Álvarez-Chávez et al. 2019; Corso et al. 2022) dan menggunakan algoritma klasifikasi untuk penilaian risiko (Gong et al. 2020). *Balanced Scorecard* memantau parameter keselamatan (Chiroli et al. 2019), manakala maklum balas digital mengukuhkan tingkah laku selamat (Shariff & Norazahar 2012; Xu et al. 2023b). Kesimpulannya, penyelidikan ini menekankan penilaian berterusan dan mekanisme maklum balas sebagai kunci untuk meningkatkan keselamatan dalam persekitaran akademik di makmal kejuruteraan.

PENGURUSAN KRISIS DAN TINDAK BALAS KECEMASAN

Subtema pengurusan krisis dan tindak balas kecemasan di makmal universiti menekankan kepentingan pelbagai aspek keselamatan. Zhao et al. (2023) menekankan isu pengurusan yang luas sebagai kebimbangan utama, manakala Corso et al. (2022) mencadangkan latihan komprehensif dalam pertolongan cemas dan prosedur kecemasan. Lin, Wu dan Xu (2021) mencadangkan menggunakan Realiti Maya (VR) untuk latihan keselamatan yang lebih interaktif dan realistik. Tobia et al. (2014) menekankan kepentingan penyediaan untuk senario kecemasan tertentu, manakala Shen et al. (2021) mengenal pasti keupayaan tindak balas kecemasan kakitangan sebagai salah satu faktor kritikal sementara itu, Chen (2021) memfokuskan pada pengurangan risiko melalui pemeriksaan keselamatan tanpa mendalami pengurusan krisis atau tindak balas kecemasan secara khusus. Secara keseluruhannya, penyelidikan menunjukkan keperluan untuk pendekatan komprehensif terhadap pengurusan krisis dan tindak balas kecemasan yang melibatkan latihan, teknologi dan persediaan untuk senario tertentu dalam pengurusan risiko.

FAKTOR ORGANISASI DASAR DAN PROSEDUR PENGURUSAN

Subtema dasar dan prosedur pengurusan dalam konteks faktor organisasi memaparkan faktor utama yang mempengaruhi keselamatan di makmal universiti. Murcia et al. (2023) dan Zhao et al. (2023) mengenal pasti latihan keselamatan yang tidak mencukupi dan struktur pengurusan yang lemah sebagai isu utama, manakala Chen et al. (2023) menekankan kepentingan budaya dan sumber organisasi. Álvarez-Chávez et al. (2019) dan

Zhang et al. (2020) memerlukan dasar pengurusan yang lebih mantap dan sistem keselamatan yang lebih baik.

Corso et al. (2022) menambah perspektif kawal selia dengan Lin, Wu dan Xu (2021) dan Du, Han dan Shang (2022) mencadangkan penstrukturan dan integrasi ergonomik dalam pengurusan keselamatan. Pertiwi et al. (2021) menyerlahkan penggunaan HIRARC dan Shen et al. (2021) dan Alipour-Bashary et al. (2021) menekankan kepentingan kawalan keselamatan dan latihan PPE. Shariff dan Norazahar (2012) dan Zhang dan Luo (2017) menggariskan kepentingan latihan dan pemantauan keselamatan, dengan Mohammadfam, Abdolahi dan Karimi (2018) dan Xu et al. (2023b) menutup perbincangan dengan menekankan keperluan untuk sistem kawal selia dan pemeriksaan yang menarik. Secara ringkasnya, penyelidikan ini menunjukkan kepentingan dasar dan prosedur pengurusan yang kukuh, budaya organisasi yang menyokong dan peraturan yang berkesan dalam memastikan keselamatan di makmal universiti.

KOMUNIKASI DAN KERJASAMA

Subtema komunikasi dan kerjasama menekankan kepentingan aspek ini dalam meningkatkan keselamatan di makmal universiti. Chen et al. (2023) dan Zhang et al. (2020) menekankan kepentingan hubungan organisasi yang baik dan pembentukan saluran komunikasi yang berkesan untuk keselamatan teknologi dan prosedur. Corso et al. (2022) menambah bahawa maklumat latihan dan keselamatan harus disampaikan dengan berkesan kepada semua pengguna makmal. Lin, Wu dan Xu (2021) dan Pertiwi et al. (2021) menggariskan keperluan untuk komunikasi dan kerjasama dalam menguruskan risiko yang saling berkaitan dengan Pertiwi et al. (2021) menawarkan model komunikasi praktikal melalui sesi ceramah pagi. Shen et al. (2021) menunjukkan penyelarasan kerja sebagai kunci kepada keselamatan, manakala Shariff dan Norazahar (2012) menggalakkan pemantauan rakan sebaya sebagai sebahagian daripada tanggungjawab kolektif. Xu et al. (2023b) mengenal pasti komunikasi sebagai faktor kritikal yang dipengaruhi oleh pemboleh ubah lain, menekankan kepentingan komunikasi di semua peringkat pengurusan. Penyelidikan ini mengesahkan bahawa komunikasi dan kerjasama adalah penting untuk pengurusan keselamatan yang berkesan dalam persekitaran di makmal universiti.

ASPEK BUDAYA DAN TINGKAH LAKU

Subtema ini menekankan pengaruh aspek budaya dan tingkah laku terhadap keselamatan di makmal universiti. Penyelidikan oleh Álvarez-Chávez et al. (2019) dan Chen et al. (2023) menunjukkan bahawa penentangan terhadap perubahan, celik teknologi yang agak terhad dan dimensi emosi seperti ketakutan dan keberkesanan diri adalah faktor risiko yang paling penting. Zhang

et al. (2020) menambah bahawa keadaan fizikal dan psikologi pengendali sangat mempengaruhi kesedaran keselamatan. Kajian oleh Chirolu et al. (2019) dan Corso et al. (2022) menekankan kepentingan membangunkan budaya yang mengutamakan kesihatan dan pencegahan risiko, manakala Lin, Wu dan Xu (2021) dan Du, Han dan Shang (2022) menggariskan kesedaran keselamatan sebagai salah satu komponen kritikal. Shao et al. (2021) dan Pertiwi et al. (2021) mengenal pasti beban kerja mental, keletihan dan sikap kerja sebagai faktor keselamatan. Chen (2021) dan Shariff dan Norazahar (2012) mencadangkan pendidikan keselamatan dan pemerhatian rutin untuk meningkatkan kesedaran. Xu et al. (2023b) menunjukkan persekitaran manusia sebagai faktor pengaruh yang signifikan dalam keselamatan. Kesimpulannya, penyelidikan ini mengesahkan keperluan untuk pendekatan integratif mempertimbangkan aspek budaya dan tingkah laku pengurusan keselamatan di makmal universiti.

DASAR DAN TADBIR URUS INSTITUSI

Subtema terakhir menekankan bagaimana dasar dan tadbir urus institusi memainkan peranan penting dalam mempengaruhi amalan pengurusan keselamatan di makmal universiti. Kajian oleh Chen et al. (2023) dan Murcia et al. (2023) menyerlahkan kepentingan mempertimbangkan polisi insurans dan cabaran dalam keselamatan projek. Álvarez-Chávez et al. (2019) dan Zhang et al. (2020) menekankan peranan kritikal kakitangan dan penyeliaan dalam mengenal pasti risiko, manakala Gong et al. (2020) menunjukkan potensi penyelesaian teknologi melalui tadbir urus. Chirolu et al. (2019) dan Corso et al. (2022) menggariskan kepentingan program K3 dan piawai kawal selia dalam pengurusan keselamatan. Kajian lain seperti Lin, Wu dan Xu (2021) dan Pertiwi et al. (2021) menyokong pendekatan berstruktur dan HIRARC dalam sistem K3. Penyelidikan ini menunjukkan bahawa dasar dan tadbir urus institusi memainkan peranan penting dalam menentukan hasil keselamatan di makmal universiti.

FAKTOR FIZIKAL DAN PERSEKITARAN PERALATAN DAN PERSEKITARAN

Subtema pertama bagi faktor fizikal dan persekitaran ini menekankan kepentingan peralatan dan faktor persekitaran dalam pengurusan risiko di makmal universiti. Murcia et al. (2023) dan Zhao et al. (2023) menekankan analisis risiko yang mempertimbangkan peralatan dan pemboleh ubah persekitaran, termasuk kesan sisa kimia. Álvarez-Chávez et al. (2019) dan Chen et al. (2023) mengenal pasti teknologi robot pembinaan dan bahan kimia sebagai faktor risiko utama. Penyelidikan lain seperti Corso et al. (2022) dan Zhang et al. (2020) menunjukkan risiko daripada kegagalan peralatan dan keadaan persekitaran, manakala Chirolu et

al. (2019) dan Sajorda dan Martin (2023) menyerlahkan kekurangan peralatan dan keperluan untuk Peralatan Pelindung Diri (PPE) manakala Du, Han dan Shang (2022) dan Shao et al. (2021) dengan memperluaskan rangka kerja penilaian risiko untuk menyepadukan mesin dan faktor khusus alam sekitar. Penyelidikan ini secara kolektif menekankan kepentingan memahami interaksi antara peralatan dan persekitaran dalam membangunkan strategi pengurusan risiko yang berkesan.

FAKTOR MANUSIA DAN ERGONOMIK

Subtema tentang faktor manusia dan ergonomik dalam struktur organisasi menyerlahkan sumbangan kesilapan operasi dan tingkah laku yang menyalahi undang-undang kepada risiko. Zhao et al. (2023) dan Chen et al. (2023) menggariskan kepentingan persepsi keselamatan dan kesejahteraan individu. Álvarez-Chávez et al. (2019) dan Zhang et al. (2020) menekankan tingkah laku tidak selamat dan keupayaan untuk mengurangkan risiko. Corso et al. (2022) dan Chirolì et al. (2019) mengenal pasti sikap dan ergonomik manusia sebagai faktor utama dalam kemalangan makmal dan kesejahteraan psikofizikal. Kajian oleh Lin, Wu dan Xu (2021), Du, Han dan Shang (2022) dan Shao et al. (2021) menunjukkan bahawa kesihatan mental, penilaian risiko dan ergonomik memainkan peranan penting dalam pengurusan keselamatan. Pertiwi et al. (2021) dan Tobia et al. (2014) membincangkan penggunaan PPE dan keadaan penglihatan, manakala Shen et al. (2021) dan Shariff dan Norazahar (2012) menekankan kepakaran dan tingkah laku berisiko. Zhang dan Luo (2017) dan Xu et al. (2023b) menerangkan kesilapan manusia dan tingkah laku pekerja sebagai faktor kritikal dalam keselamatan. Kesimpulannya, penyelidikan ini mengesahkan bahawa faktor manusia dan ergonomik adalah penting dalam strategi pengurusan risiko, memerlukan pemahaman mendalam tentang tingkah laku, sikap dan kesejahteraan untuk meningkatkan keselamatan.

JAMINAN DAN KAWALAN KUALITI

Subtema jaminan kualiti dan kawalan dalam pengurusan risiko menekankan pelbagai pendekatan untuk meningkatkan amalan dan keselamatan di makmal universiti. Murcia et al. (2023) mencadangkan menggunakan prinsip Kimia Hijau untuk kualiti dan kemampunan. Gong et al. (2020) membangunkan kualiti penilaian risiko keselamatan dengan algoritma pembelajaran mesin. Corso et al. (2022) menekankan keperluan untuk penyeliaan yang ketat dan pematuhan kepada peraturan keselamatan. Kajian oleh Lin, Wu dan Xu (2021) dan Shen et al. (2021) mengenal pasti pengaruh panduan ralat dan pengurusan risiko terhadap

kualiti. Model Lab-ARBAIS oleh Shariff dan Norazahar (2012) bertujuan untuk meningkatkan langkah keselamatan dengan memantau tingkah laku berisiko. Zhang dan Luo (2017) berusaha untuk mengurangkan risiko dengan mengenal pasti faktor punca dan pengaruh langsung, manakala Xu et al. (2023b) menekankan kepentingan pengurusan penerimaan dalam memenuhi piawaian kualiti. Kesimpulannya, penyelidikan ini menunjukkan kepentingan pendekatan yang pelbagai, daripada inovasi teknologi kepada pengawasan tingkah laku, dalam memastikan kualiti dan keselamatan dalam pengurusan risiko.

FAKTOR LUARAN DAN KONTEKSTUAL UNDANG-UNDANG DAN ETIKA

Subtema undang-undang dan etika dalam konteks faktor luaran dan kontekstual adalah faktor utama dalam amalan keselamatan dan kesihatan. Corso et al. (2022) menjelaskan kepentingan peraturan kerajaan dalam menentukan dasar keselamatan institusi. Kajian oleh Chirolì et al. (2019) menambah perspektif antarabangsa dengan merujuk kepada undang-undang buruh Brazil dan piawaian keselamatan, menekankan kepentingan memahami rangka kerja kawal selia khusus bidang kuasa. Lin, Wu dan Xu (2021) menyerlahkan masalah pendedahan keselamatan yang tidak mencukupi sebagai kekurangan peraturan dan dilema etika, menunjukkan implikasi luasnya terhadap kepercayaan dan akauntabiliti. Kesimpulannya, kajian ini mengesahkan bahawa pematuhan terhadap piawaian undang-undang dan etika bukan sahaja mengenai pematuhan tetapi adalah asas dalam membina budaya yang mengutamakan keselamatan. Pemahaman mendalam tentang undang-undang dan etika domestik dan antarabangsa adalah penting untuk strategi pengurusan risiko kesihatan dan keselamatan yang berkesan.

KEWANGAN

Subtema kewangan adalah asas utama untuk pengurusan risiko dan kecekapan operasi bagi inisiatif keselamatan. Chen et al. (2023) menonjolkan pengaruh penghadan fiskal terhadap pelaksanaan langkah keselamatan. Zhang et al. (2020) menekankan kepentingan pelaburan yang mencukupi dalam peralatan pelindung makmal. Kajian oleh Lin, Wu dan Xu (2021) dan Tobia et al. (2014) menggariskan kesan kewangan memilih peralatan dan penyelesaian keselamatan, manakala Chen (2021) membincangkan keperluan untuk jaminan dana. Shariff dan Norazahar (2012) meneroka kecekapan kos dengan membangunkan sistem Lab-ARBAIS untuk mengurangkan kos pemantauan keselamatan. Secara keseluruhan, kajian ini menunjukkan kepentingan perancangan kewangan dan peruntukan sumber dalam menyokong operasi keselamatan jangka panjang yang berkesan.

FAKTOR LUARAN DAN PENGLIBATAN PIHAK BERKEPENTINGAN

Subtema faktor luaran dan penglibatan pihak berkepentingan merupakan aspek kritikal pengurusan risiko keselamatan. Chen et al. (2023) menunjukkan bagaimana tekanan luar dan keengganan pihak berkepentingan menghalang inisiatif keselamatan. Corso et al. (2022) menekankan keperluan ketelusan akademik untuk melibatkan pihak berkepentingan dalam menghadapi risiko. Kajian oleh Sajorda dan Martin (2023) menekankan kepentingan kerjasama merentas sektor dengan melibatkan *Lufthansa Technik Philippines* dan *Wide-Aero Aviation Services Corporation* dalam usaha keselamatan. Lin, Wu dan Xu (2021) memerhatikan bahawa projek yang lebih besar memerlukan strategi penglibatan pihak berkepentingan yang lebih kompleks. Kesimpulannya, penglibatan pihak berkepentingan dan tekanan luaran adalah unsur penting yang menentukan kejayaan protokol keselamatan, memerlukan ketelusan dan kerjasama pelbagai sektor untuk mengatasi cabaran keselamatan.

KONTEKS GLOBAL DAN TEMPATAN

Subtema konteks global dan tempatan dalam kajian risiko keselamatan menekankan kepentingan kebolehgeneralisasian dan kebolegunaan hasil penyelidikan. Penyelidikan oleh Murcia et al. (2023) di *Universiti Santo Tomas* yang mengikut piawaian GHS global dan kajian di China oleh Chen et al. (2023) dan di Brazil (Chiroli et al. 2019; Corso et al. 2022), menunjukkan bagaimana kajian tempatan boleh meningkatkan pemahaman global dengan mematuhi atau mengkritik piawaian antarabangsa.

Sebaliknya, penyelidikan setempat, seperti di *Philippine State College of Aeronautics* (Sajorda & Martin 2023) atau makmal bahan tertentu (Pertiwi et al. 2021) menawarkan pemahaman yang mendalam tentang persekitaran tertentu tanpa menangani konteks global. Kajian lain mengakui kerumitan projek global dan tempatan, seperti pembinaan rel berkelajuan tinggi (Shen et al. 2021) dan projek keselamatan air luar bandar (Xu et al. 2023b), menonjolkan cabaran unik yang dihadapi. Faktor global dan tempatan menentukan skop dan kaitan strategi risiko keselamatan, memperkaya pemahaman berkaitan pengurusan risiko dalam pelbagai konteks.

FAKTOR HALA TUJU INOVATIF BAHARU INOVASI TEKNOLOGI

Subtema pertama ialah inovasi teknologi dalam tema faktor hala tuju baharu yang semakin digunakan untuk mengatasi kebimbangan keselamatan dengan kemajuan transformatif. Chen et al. (2023) membincangkan kebolehpercayaan dan kefungsi teknologi robot, menonjolkan potensi revolusinya jika digunakan dengan

betul. Kajian oleh Gong et al. (2020) memperkenalkan algoritma pembelajaran mesin untuk meningkatkan penilaian risiko keselamatan yang membawa kepada analisis berasaskan data dalam pengurusan keselamatan. Kajian oleh Lin, Wu dan Xu (2021) menyokong penggunaan Realiti Maya (VR) dalam latihan keselamatan, manakala Du, Han dan Shang (2022) dan Shao et al. (2021) melanjutkan metodologi dengan IAHP, TOPSIS, dan model penilaian risiko dua dimensi dengan kiub risiko. Tobia et al. (2014) menggunakan alat interaktif untuk analisis risiko kebakaran. He et al. (2021) memperkenalkan model WOE-GA-BP untuk penilaian risiko, manakala Lab-ARBAIS seperti yang dibincangkan oleh Shariff dan Norazahar (2012), ialah platform berasaskan data untuk meningkatkan keselamatan makmal. Zhang dan Luo (2017) memperkenalkan kaedah DEMATEL-ISM untuk menganalisis faktor insiden landasan. Secara keseluruhan, penyelidikan ini menekankan pendekatan multidimensi kepada inovasi teknologi yang memperkaya pemahaman dan mengurus risiko keselamatan.

KEMAMAPAN DAN KESAN ALAM SEKITAR

Subtema kemampanan dan kesan alam sekitar terhadap pelbagai sektor dipaparkan dalam kajian lepas. Kajian oleh Murcia et al. (2023) menekankan trend ini, memberi tumpuan kepada mengurangkan kesan alam sekitar melalui pengurusan sisa kimia dengan betul. Lin, Wu dan Xu (2021) mengenal pasti persekitaran pembinaan yang kompleks dan faktor hidrogeologi sebagai unsur risiko yang ketara. Shen et al. (2021) mendalami kepentingan keadaan geografi dan iklim dalam kemampanan projek. Xu et al. (2023b) menekankan keperluan untuk membangunkan projek air minuman luar bandar yang mampan. Kajian ini membentuk naratif yang menarik untuk menyepadukan pertimbangan kemampanan dan alam sekitar ke dalam pelbagai aspek amalan pengurusan risiko dan keselamatan sektor.

KESELAMATAN PSIKOLOGI

Subtema keselamatan psikologi semakin mendapat perhatian akademik kerana implikasinya yang mendalam terhadap pengurusan risiko dan kesejahteraan keseluruhan. Chen et al. (2023) membincangkan persepsi individu tentang keselamatan dan keselesaan, manakala Álvarez-Chávez et al. (2019) meneroka pengalaman emosi pelajar kolej, terutamanya ketakutan dan kelemahan mereka. Zhang et al. (2020) menonjolkan pengaruh keadaan fizikal dan psikologi yang lemah terhadap prestasi operasi dan keselamatan individu. Lin, Wu dan Xu (2021) mengenal pasti kemerosotan kognitif sebagai faktor keselamatan psikologi yang kritikal. Kajian oleh Shao et al. (2021) menganggap beban kerja mental dan keletihan, mengaitkannya

dengan keselamatan psikologi. Shariff dan Norazahar (2012) menunjukkan potensi intervensi berstruktur dalam mempengaruhi tabiat psikologi pelajar. Zhang dan Luo (2017) menonjolkan kekurangan penyelidikan mengenai aspek psikologi dalaman seperti kesedaran tentang keselamatan dan keletihan bekerja. Kajian ini menekankan kesulitan dan kepentingan keselamatan psikologi sebagai komponen bersepadu dalam strategi pengurusan keselamatan yang lebih komprehensif.

INOVASI DAN PENYELIDIKAN DALAM KESELAMATAN

Subtema terakhir di bawah hala tuju inovatif baharu ialah inovasi dan penyelidikan dalam keselamatan. Penyelidikan oleh Corso et al. (2022) dan Zhao et al. (2023) mengkaji dimensi keselamatan makmal akademik dengan fokus yang berbeza. Álvarez-Chávez et al. (2019) dan Murcia et al. (2023) memperkenalkan konsep Kimia Hijau dan pendidikan kimia untuk meningkatkan keselamatan makmal. Chen et al. (2023) dan Du, Han dan Shang (2022) membangunkan kaedah baharu dalam pengurusan risiko, termasuk kerjasama manusia-robot dan menambah baik pengurusan keselamatan secara umum. Pertiwi et al. (2021) dan Zhang et al. (2020) mencadangkan model keselamatan makmal kejuruteraan baharu. Gong et al. (2020) dan Shen et al. (2021) menawarkan metodologi untuk pengendalian data dan analisis risiko dalam penilaian keselamatan.

Secara keseluruhan, penyelidikan ini memberikan pandangan penting tentang keselamatan makmal, daripada dimensi akademik kepada aplikasi praktikal dalam pengurusan risiko. Memahami faktor organisasi yang mempengaruhi keselamatan makmal kejuruteraan adalah penting untuk merancang strategi yang berkesan untuk mengatasi cabaran keselamatan ini. Jadual 8 mengkategorikan faktor utama yang mempengaruhi keselamatan di makmal kejuruteraan kepada lima tema utama: Protokol Pengurusan Risiko, Faktor Organisasi, Faktor Fizikal dan Persekitaran, Faktor Luaran dan Kontekstual, serta Faktor Hala Tuju Baharu. Subtema yang disokong oleh kesan melengkapkan setiap tema utama. Jadual ini berfungsi sebagai panduan komprehensif dalam usaha meningkatkan keselamatan di makmal.

PERBINCANGAN

Analisis statistik ialah metodologi yang paling biasa, terdapat dalam 26.1% daripada 23 kajian mengenai pengurusan risiko keselamatan makmal kejuruteraan (Creswell & Creswell 2017; Snyder 2019). Kejuruteraan Pembinaan adalah bidang yang paling banyak dikaji, menyumbang 26.1% daripada jumlah kajian (Murcia et al. 2023; Zhao et al. 2023). Kepelbagaian dalam metodologi dan bidang kajian menunjukkan landskap yang kompleks yang memerlukan pendekatan yang

pelbagai untuk pemahaman yang komprehensif tentang subjek (Álvarez-Chávez et al. 2019; Gong et al. 2020). Dalam era teknologi yang pesat membangun, pengurusan risiko dalam makmal kejuruteraan memerlukan pendekatan holistik dan dinamik meliputi pelbagai aspek daripada protokol pengurusan hinggalah kepada inovasi. Protokol pengurusan risiko yang teguh dan fleksibel menjadi sangat penting, menurut Zhao et al. (2023) yang sepatutnya disertakan dengan fleksibiliti untuk menyesuaikan diri dengan perubahan dinamik risiko. Ini memastikan makmal boleh bertindak responsif terhadap ancaman keselamatan yang mungkin berlaku (Lin, Wu & Xu 2021). Gupta et al. (2021) menekankan bahawa aplikasi teknologi baharu seperti kecerdasan buatan (AI) dan *Internet of Things* (IoT) boleh mengukuhkan pengurusan risiko dengan membolehkan pengesanan awal dan tindak balas yang lebih pantas terhadap potensi bahaya.

Faktor organisasi yang menyokong proses komunikasi dan pelaporan adalah penting dalam membentuk struktur organisasi yang kukuh dan cekap. Seperti yang diterangkan oleh Chen et al. (2023) dan Xu et al. (2023b), keupayaan untuk memudahkan pertukaran maklumat yang berkaitan dengan risiko dan insiden keselamatan secara berkesan membolehkan pelaksanaan tindakan pencegahan dan tindak balas yang cepat dan berkesan. Xu et al. (2023a) seterusnya menekankan kepentingan komunikasi risiko yang berkesan, yang dipertingkatkan melalui latihan dan pendidikan berstruktur. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kesedaran dan kesiapsiagaan pengguna makmal menghadapi risiko. Hasil kajian ini menekankan bahawa sistem pengurusan keselamatan yang mantap dan menggunakan pendekatan proaktif dalam latihan dan pendidikan adalah unsur penting untuk menjamin persekitaran kerja yang selamat dan produktif.

Tambahan pula, faktor fizikal dan persekitaran oleh Murcia et al. (2023), menekankan kepentingan unsur fizikal dan persekitaran yang mematuhi piawaian keselamatan, termasuk penggunaan peralatan yang mematuhi norma keselamatan, pengendalian bahan kimia yang selamat dan penyediaan kemudahan yang direka khas untuk meminimumkan risiko kepada pengguna dan alam sekitar. Wang et al. (2021) menggariskan strategi untuk menghadapi cabaran alam sekitar dan keselamatan di makmal, yang termasuk pengurusan selamat bahan kimia dan sisa berbahaya. Penyelidikan ini mengesahkan bahawa pemahaman mendalam tentang alam sekitar, ketoksikan dan strategi pengurusan risiko nanoplastik dalam alam sekitar merupakan langkah penting untuk mengatasi potensi bahayanya.

Faktor luaran dan kontekstual, termasuk peraturan dan polisi, memastikan makmal mematuhi keperluan undang-undang dan menerima pakai amalan terbaik yang disyorkan oleh industri dan komuniti akademik.

JADUAL 8. Faktor Utama dan Kesannya terhadap Pengurusan Risiko Keselamatan di Makmal Kejuruteraan: Analisis Komprehensif Berdasarkan Kajian Kepustakaan Sistematik

Tema Utama	Faktor Utama	Impak	Rujukan
Protokol Pengurusan Risiko	Pengenalpastian risiko	Berfungsi sebagai asas untuk pengurusan risiko yang berkesan	Lin, Wu & Xu (2021); Murcia et al. (2023); Zhang et al. (2020); Zhao et al. (2023)
	Teknologi data	Berikan perspektif yang mendalam tentang faktor risiko dan hubungannya	Gong et al. (2020); Lemiale, Prakash & Cruz (2020); Zhao et al. (2023)
	Penilaian dan maklum balas	Membolehkan pelarasan masa nyata dan penambahbaikan dalam strategi pengurusan risiko	Shao et al. (2021); Shariff & Norazahar (2012); Xu et al. (2023b)
	Pengurusan krisis dan tindak balas kecemasan	Menekankan peranan latihan komprehensif dalam pertolongan cemas dan prosedur kecemasan	Corso et al. (2022); Lin, Wu & Xu (2021)
Faktor Organisasi	Dasar dan prosedur pengurusan	Dasar yang tidak mencukupi mengakibatkan struktur organisasi yang lemah yang menjejaskan keselamatan	Zhao et al. (2023); Murcia et al. (2023)
	Komunikasi dan kerjasama	Medium dan hasil dalam pengurusan keselamatan	Chen et al. (2023); Zhang et al. (2020); Xu et al. (2023b)
	Aspek budaya dan tingkah laku	Kesejahteraan psikologi dan emosi pengguna (penyelia dan pelajar) makmal	Zhang et al. (2020); Álvarez-Chávez et al. (2019); Shao et al. (2021)
	Dasar dan tadbir urus institusi	Mengenal pasti dan mengutamakan risiko	Murcia et al. (2023); Corso et al. (2022); Shariff & Norazahar (2012); Tobia et al. (2014)
Faktor Fizikal dan Persekitaran	Peralatan dan persekitaran	Asas kepada pengurusan risiko	Zhao et al. (2023); Murcia et al. (2023)
	Faktor manusia dan ergonomik	Kunci dalam mengenal pasti dan mengurangkan potensi bahaya yang berkaitan dengan reka bentuk stesen kerja	Zhao et al. (2023); Chen et al. (2023); Goulding & McLeod (2023); Abdullah et al. (2023)
	Jaminan dan kawalan kualiti	Ketidakpatuhan boleh mengakibatkan kesan undang-undang	Murcia et al. (2023); Gong et al. (2020); Gumba et al. (2022); Material, (2014)
Faktor Luaran dan Kontekstual	Undang-undang dan etika	Kerja asas untuk peraturan keselamatan	Corso et al. (2022); Lin, Wu & Xu 2021; Dunn et al. (2023); Kort et al. (2020)
	Kewangan	Pelaburan awal dalam keselamatan boleh menghasilkan penjimatan kos jangka panjang	Chen et al. (2023); Zhang et al. (2020); Ayu et al. (2020)
	Faktor luaran dan penglibatan pihak berkepentingan	Cabaran dan keperluan kerjasama pelbagai sektor	Chen et al. (2023); Corso et al. (2022); Horner & Wilmshurst (2016)
	Konteks global dan tempatan	Menyelaras piawaian keselamatan antara pelbagai bidang kuasa	Murcia et al. (2023); Tobia et al. (2014); Urata, Kuroda & Tonegawa (2023)
Faktor Hala Tuju Inovatif Baharu	Inovasi teknologi	Memudahkan penilaian risiko dalam konteks masa kini	Chen et al. (2023); Gong et al. (2020); Peng, Li & Zhou (2019)
	Kemampuan dan kesan alam sekitar	Meminimumkan kesan alam sekitar sambil memaksimumkan keselamatan	Murcia et al. (2023); Lin, Wu & Xu (2021); Stuart et al. (2022)
	Keselamatan psikologi	Mengurangkan kesilapan manusia	Chen et al. (2023); Álvarez-Chávez et al. (2019); Galasso, Luo & Zhu (2023)
	Inovasi dan penyelidikan dalam keselamatan	Memajukan bidang melalui rangka kerja dan reka bentuk yang inovatif	Zhao et al. (2023); Murcia et al. (2023); Galasso, Luo & Zhu (2023); Hermanto, Syahrul & Yuliharsi (2023)

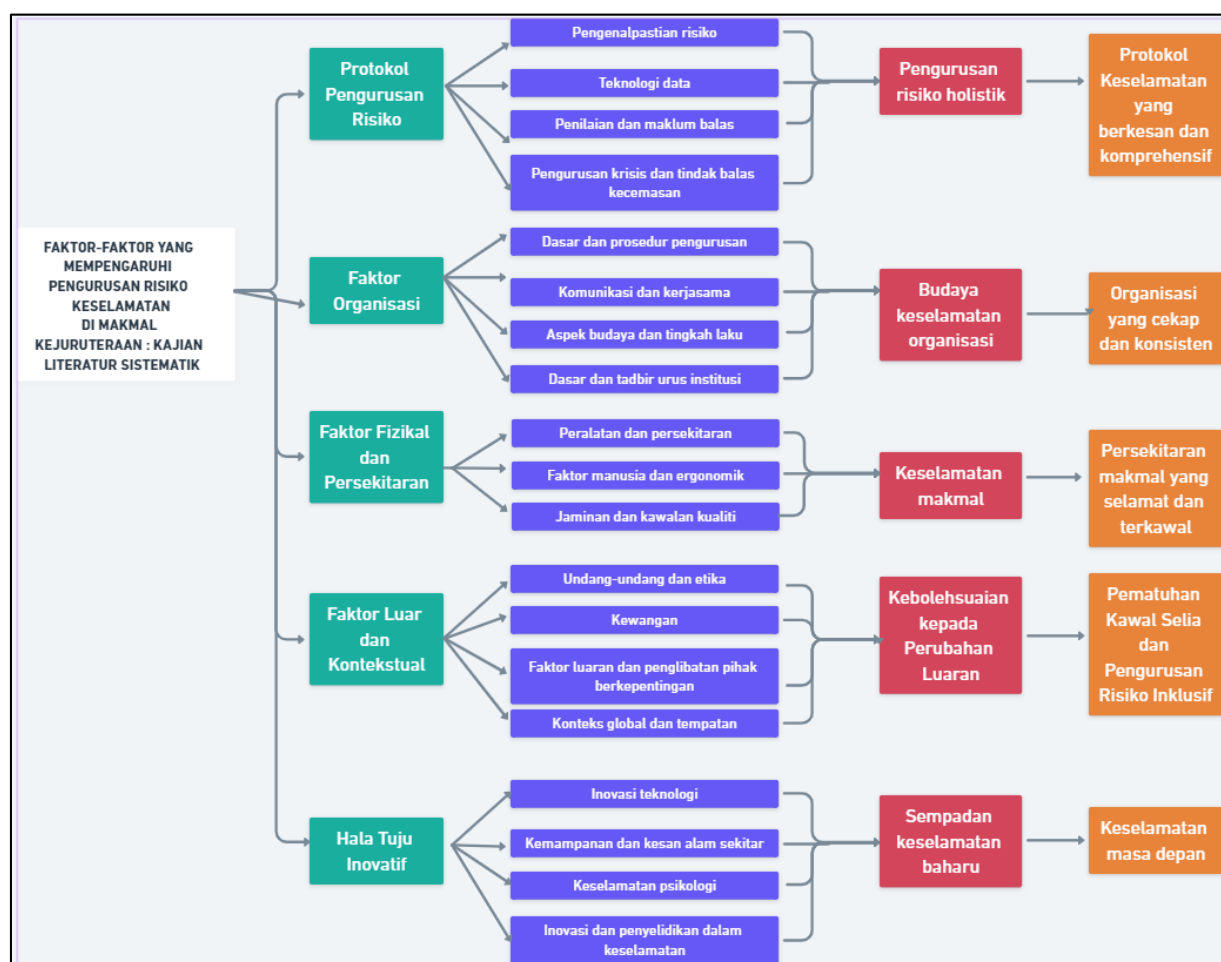
Kajian oleh Corso et al. (2022) dan Kort et al. (2020) menekankan kepentingan pematuhan terhadap peraturan, undang-undang dan dasar keselamatan yang berkaitan. Tambahan pula, kajian oleh Yang et al. (2022) meluaskan pemahaman ini dengan mencadangkan rangka kerja pengurusan keselamatan untuk makmal universiti, menekankan kepentingan penyepaduan sistematik faktor luaran dan kontekstual dalam strategi keselamatan. Rangka kerja ini direka bentuk untuk memudahkan penggunaan piawai keselamatan yang konsisten, sambil mempertimbangkan keunikan setiap persekitaran makmal, sekali gus membolehkan penyesuaian dan penggunaan peraturan dan dasar yang lebih berkesan.

Akhir sekali, faktor hala tuju inovatif baharu, seperti yang dijelaskan oleh Gong et al. (2020) dan Stuart et al. (2022), menggalakkan penciptaan budaya inovasi dan penerokaan hala tuju baharu dalam pengurusan risiko. Penggunaan teknologi canggih untuk simulasi dan latihan risiko, serta pendekatan yang mampan dan mesra alam, boleh meningkatkan keselamatan makmal. Di samping itu, Pollini et al. (2022) mengetengahkan

bagaimana integrasi faktor manusia dalam keselamatan siber melalui pendekatan metodologi bersepadu adalah satu lagi contoh inovasi yang mengukuhkan keselamatan dan keselamatan. Inovasi ini, yang terdiri daripada penggunaan teknologi baharu kepada pendekatan yang mampan dan pemahaman yang mendalam tentang faktor manusia, menunjukkan bagaimana hala tuju inovatif boleh membuka jalan kepada strategi pengurusan risiko yang lebih berkesan dan adaptif.

Dengan mengintegrasikan faktor ini, makmal kejuruteraan boleh mewujudkan persekitaran yang lebih selamat dan kondusif untuk penyelidikan dan pembelajaran sambil memastikan pematuhan kepada peraturan dan mengekalkan inovasi. Pendekatan holistik ini menekankan kepentingan penyesuaian dan inovasi dalam menghadapi risiko, memastikan makmal kejuruteraan boleh beroperasi dengan selamat dan berkesan dalam persekitaran yang dinamik dan sentiasa mengalami perubahan.

Berdasarkan Rajah 6, kerangka konseptual yang dibangunkan memberikan pandangan yang komprehensif dan pelbagai dimensi tentang faktor



RAJAH 6. Kerangka konseptual

yang mempengaruhi pengurusan risiko keselamatan di makmal kejuruteraan. Kerangka konseptual bermula dengan aspek penting seperti pengenalanpastian risiko dan prinsip pengurusan dan kemudian berkembang dengan pendekatan dan mekanisme teknologi data untuk pengurusan krisis dan tindak balas kecemasan. Kerangka konseptual ini juga menetapkan matlamat kritikal seperti pendekatan pengurusan risiko holistik, protokol keselamatan yang berkesan dan struktur organisasi yang cekap. Ia juga mempertimbangkan faktor seperti perubahan luaran, pematuhan peraturan dan inovasi dalam keselamatan. Subtema dalam kerangka konseptual ini termasuk dasar pengurusan, struktur organisasi, komunikasi, faktor manusia dan ergonomik dan jaminan kualiti.

Dalam kajian sistematik terhadap faktor yang mempengaruhi pengurusan risiko keselamatan di makmal kejuruteraan, pengurusan risiko holistik, budaya keselamatan organisasi, keselamatan makmal, kebolehsuaian kepada perubahan luaran dan sempadan keselamatan baharu merujuk kepada kesan atau pencapaian langsung yang diperoleh daripada pelaksanaan protokol, strategi dan pendekatan pengurusan risiko keselamatan di makmal. Sebaliknya, protokol keselamatan yang berkesan dan komprehensif, organisasi yang cekap dan konsisten, persekitaran makmal yang selamat dan terkawal, pematuhan kawal selia, pengurusan risiko inklusif dan keselamatan masa depan merujuk kepada matlamat jangka panjang atau keadaan ideal yang ingin dicapai melalui pelaksanaan strategi dan langkah-langkah yang telah dikenal pasti. Pendekatan ini memastikan pengurusan risiko keselamatan yang menyeluruh, berkesan, dan relevan dengan perkembangan semasa serta keperluan masa depan. Kesimpulannya, kerangka konseptual ini memberikan pandangan holistik yang sejajar dengan pemahaman faktor keselamatan dalam makmal kejuruteraan.

KESIMPULAN

Kajian ini mengukuhkan kepentingan pengurusan risiko keselamatan dalam makmal kejuruteraan, masalah kritikal semasa menjalankan uji kaji yang semakin kompleks dan aplikasi teknologi baharu. Kemalangan yang berpotensi memerlukan perhatian khusus terhadap amalan pengurusan risiko untuk memastikan persekitaran yang selamat untuk penyelidik dan pelajar. Dengan tujuan utama penyelidikan adalah untuk mengkaji dan memahami pemboleh ubah yang memberi kesan kepada keberkesanan pengurusan risiko keselamatan dan untuk memberikan pandangan yang boleh membantu mengoptimumkan protokol keselamatan di makmal kejuruteraan. Hasil kajian telah mendedahkan lima tema utama yang mempengaruhi pengurusan risiko keselamatan dengan dalam makmal kejuruteraan, iaitu: (1) Protokol Pengurusan Risiko

yang kukuh dan fleksibel, (2) Faktor Organisasi yang menyokong komunikasi dan pelaporan, (3) Faktor Fizikal dan Persekitaran yang memenuhi piawaian keselamatan, (4) Faktor Luaran dan Kontekstual termasuk peraturan dan dasar serta (5) Faktor Hala Tuju Inovatif Baharu yang mengambil kira evolusi teknologi dan amalan makmal. Hasil kajian ini menawarkan sumbangan teori kepada kepustakaan pengurusan risiko dan implikasi praktikal untuk pengurus dan penyelia makmal kejuruteraan. Hasil kajian ini menekankan kepentingan menggabungkan teori pengurusan risiko dengan amalan harian di makmal, terutamanya dalam merancang dan melaksanakan protokol keselamatan yang boleh menyesuaikan diri dengan kemajuan teknologi dan perubahan dalam dinamik kerja praktikal di makmal kejuruteraan.

BATASAN KAJIAN

Kajian ini mungkin mempunyai kekurangan. Ia hanya tertumpu pada makmal kejuruteraan tertentu, menghadkan penggunaan yang lebih meluas. Tambahan pula, kaedah yang digunakan, seperti tinjauan atau kajian kes, mungkin tidak merangkumi sepenuhnya semua faktor keselamatan. Ketersediaan dan kualiti data juga boleh menjadi sebagai salah satu penghalang, terutamanya bergantung pada langkah yang dinyatakan oleh penyelidik. Teknologi yang berkembang pesat juga boleh membuat hasil penyelidikan menjadi usang dengan cepat. Walaupun tumpuan diberikan kepada unsur yang berkaitan dengan peralatan, kemungkinan dimensi manusia, seperti keselamatan psikologi, tidak mendapat perhatian yang mencukupi. Faktor luaran, seperti peraturan undang-undang, boleh mempengaruhi hasil dan relevan dalam pelbagai konteks. Keadaan kewangan dan masa juga boleh menghadkan skop kajian. Akhir sekali, kajian itu mungkin tidak merangkumi sepenuhnya kesukaran pelbagai disiplin keselamatan yang berkaitan dengan makmal kejuruteraan.

PENYELIDIKAN MASA DEPAN

Penyelidikan masa depan harus merangkumi pelbagai makmal kejuruteraan yang boleh meningkatkan pemahaman keseluruhan hasil penyelidikan. Menggabungkan pelbagai kaedah penyelidikan dapat membawa pemahaman yang lebih mendalam mengenai faktor keselamatan yang kompleks. Penggunaan inovasi terkini seperti kecerdasan buatan dalam protokol keselamatan juga memberikan manfaat dalam teknologi pada masa kini. Menyelidik lebih lanjut mengenai aspek psikologi yang mempengaruhi keselamatan di makmal, seperti tekanan dan budaya organisasi, merupakan suatu keperluan yang penting. Dalam konteks perubahan undang-undang, kajian masa depan boleh meneroka kesan peraturan baharu terhadap keselamatan

makmal. Di samping itu, penyelidikan masa depan juga harus memberi tumpuan kepada membangunkan penilaian yang tepat untuk mengukur keberkesanan jangka panjang bagi setiap langkah keselamatan. Dengan memberi tumpuan kepada perkara ini, kajian masa depan boleh memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang pengurusan risiko keselamatan dalam makmal kejuruteraan.

RUJUKAN

- Abdullah, K.H., Roslan, M.F., Riza, H. & Hadi, A. 2023. Fit for work: A bibliometric review of laboratory ergonomics. *International Journal of Advanced Research in Education and Society* 5(2): 16-28. <https://doi.org/10.55057/ijares.2023.5.2.2>
- Abouzahra, A., Sabraoui, A. & Afdel, K. 2020. Model composition in Model Driven Engineering: A systematic literature review. *Information and Software Technology* 125: 106316. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2020.106316>
- Ali, S.I., Lalji, S.M., Haneef, J., Yousufi, M., Bashir, K., Sohail, S. & Cheema, L.S. 2023a. HSE hazard ranking of chemicals related to Petroleum Drilling Laboratory of University using Fuzzy TOPSIS. *Opsearch* 60(3): 1386-1406. <https://doi.org/10.1007/s12597-023-00666-9>
- Ali, S.I., Lalji, S.M., Haider, S.A., Haneef, J., Syed, A. ul H., Husain, N., Yahya, A., Rashid, Z. & Arfeen, Z.A. 2023b. Risk prioritization in a core preparation experiment using fuzzy VIKOR integrated with Shannon entropy method. *Ain Shams Engineering Journal* 2023: 102421. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102421>
- Alipour-Bashary, M., Ravanshadnia, M., Abbasianjahromi, H. & Asnaashari, E. 2021. A hybrid fuzzy risk assessment framework for determining building demolition Safety Index. *KSCE Journal of Civil Engineering* 25(4): 1144-1162. <https://doi.org/10.1007/s12205-021-0812-4>
- Álvarez-Chávez, C.R., Marín, L.S., Perez-Gamez, K., Portell, M., Velazquez, L. & Munoz-Osuna, F. 2019. Assessing college students' risk perceptions of hazards in chemistry laboratories. *Journal of Chemical Education* 96(10): 2120-2131. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00891>
- Ayu, I., Lestari, I.D., Lestari, F. & Tejamaya, M. 2020. Cost and benefit analysis of laboratory health and safety management system. *Indian Journal of Public Health Research & Development* 11(03): 2293-2297.
- Bayer, S., Neumann, O., Raj, D., Savva, Y. & Scagliotti, C.M.D.A. 2023. TUM Data Innovation Lab Munich Data Science Institute (MDSI) Technical University of Munich & PROCON IT GmbH.
- Chen, L. 2021. Research of the safety path of colleges and universities laboratory basing on the analysis of grey correlation degree. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems* 40(4): 7755-7762. <https://doi.org/10.3233/JIFS-189596>
- Chen, Z., Zhao, Y., Zhou, X., Hao, S. & Li, J. 2023. Identifying the risk factors and their interactions of human-robot collaboration implementation during engineering project construction: Evidence from China. *Engineering, Construction and Architectural Management* 30(7): 3073-3094. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2021-0461>
- de Genaro Chiroli, D.M., Baú, A.C., Deschamps, F., Sakakibara, E. & Christóforo, L.C. 2019. Work safety management applied to a lab used by a junior company of chemical engineering. *Independent Journal of Management & Production* 10(1): 281. <https://doi.org/10.14807/ijmp.v10i1.787>
- Creswell, J.W. & Creswell, J.D. 2017. *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. California: Sage Publications.
- Corso, M., Cardoso, F.A.R., de Andrade, P.R., Rezende, L.C.S.H. & Sastre, R.M. 2022. Management of occupational safety and health (OSH) in university chemical laboratories: A case study at a University Federal Public service in the interior of Paraná - Brazil. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science* 9(6): 145-151. <https://doi.org/10.22161/ijaers.96.14>
- Dedy Ruzwardy, Harahap, J. & Pradana Syahran, H. 2023. Analysis of fire protection system on the multifunctional laboratory building of Ar-Raniry State Islamic University Banda Aceh Indonesia. *Lingkar: Journal of Environmental Engineering* 4(1): 45-56. <https://doi.org/10.22373/ljee.v4i1.2722>
- Ding, C. 2021. Risk assessment of physical and chemical analysis laboratory based on the laboratory risk assessment model. *Proceedings - 2021 2nd International Conference on Urban Engineering and Management Science*. pp. 293-296. <https://doi.org/10.1109/ICUEMS52408.2021.00070>
- Du, M., Han, T. & Shang, Y. 2022. Safety risk control in construction engineering based on the interval analytic hierarchy process and technique for order preference by similarity to ideal solution. *Engineering Reports* 4(4): e12473. <https://doi.org/10.1002/eng2.12473>
- Dunn, A.L., Decker, D.M., Cartaya-Marin, C.P., Cooley, J., Finster, D.C., Hunter, K.P., Jacques, D.R.N., Kimble-Hill, A., Maclachlan, J.L., Redden, P., Sigmann, S.B. & Situma, C. 2023. Reducing risk: Strategies to advance laboratory safety through diversity, equity, inclusion, and respect. *Journal of the American Chemical Society* 145(21): 11468-11471. <https://doi.org/10.1021/jacs.3c03627>
- Engemann, K.J. & Abrahamsen, E.B. 2020. Advances in safety risk management: Introduction. *Safety Risk Management: Integrating Economic and Safety Perspectives* <https://doi.org/10.1515/9783110638189-202>
- Eridani, D., Windasari, I.P., Septiana, R., Purba, J.K., Hasbi, F. & Reviana, D.A.E. 2020. Occupational health and safety management system in Engineering Faculty of Diponegoro University using scrum model. *ACM International Conference Proceeding Series*. <https://doi.org/10.1145/3429789.3429793>
- Galasso, A., Luo, H. & Zhu, B. 2023. Laboratory safety and research productivity. *Research Policy* 52(8): 104827. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2023.104827>
- Gong, P., Guo, H., Huang, Y. & Guo, S. 2020. Safety risk evaluations of deep foundation construction schemes based on imbalanced data sets. *Journal of Civil Engineering and Management* 26(4): 380-395. <https://doi.org/10.3846/jcem.2020.12321>
- Goulding, L. & McLeod, R. 2023. Spotlights: Understanding human behavior following an accident. *ACS Chemical Health & Safety* 30(1): 3-6. <https://doi.org/10.1021/acs.chas.2c00091>

- Guide, R. 2016. *Resilience Resource Guide*.
- Gumba, H., Opiyo, M., Musyoki, J., Mutunga, M., Ngetsa, C., Mwarumba, S., Mosobo, M., Njuguna, S., Kai, O., Lambisia, A.W., Kimani, D., Cheruiyot, R., Kiyuka, P., Lewa, C., Gicheru, E., Tendwa, M., Said Mohammed, K., Osoti, V., Makale, J., Tawa, B., Odundo, C., Cheruiyot, W., Nyamu, W., Gumbi, W., Mwacharo, J., Nyamako, L., Otieno, E., Amadi, D., Ouma, N., Karia, B., Thoya, J., Karani, A., Mugo, D., Gichuki, B.M., Riako, D., Mutua, S., Gitonga, J.N., Ominde, K., Wanjiku, P., Mutiso, A., Mwanzu, A., Sein, Y., Bartilol, B., Mwangi, S., Omuoyo, D.O., Morobe, J.M., de Laurent, Z.R., Mitsanze, F., Mwakubia, A., Rono, M., Nyaguara, A., Tsofa, B., Bejon, P., Agoti, C.N. & Ochola-Oyier, L.I. 2022. Maintaining laboratory quality assurance and safety in a pandemic: Experiences from the KEMRI-Wellcome Trust Research Programme laboratory's COVID-19 response. *Wellcome Open Research* 6: 205. <https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.16704.2>
- Gupta, S., Kumar, A., Patel, R. & Kumar, V. 2021. Genetically modified crop regulations: Scope and opportunity using the CRISPR-Cas9 genome editing approach. *Molecular Biology Reports* 48(5): 4851-4863.
- He, B., Bai, M., Shi, H., Li, X., Qi, Y. & Li, Y. 2021. Risk assessment of pipeline engineering geological disaster based on gis and woe-ga-bp models. *Applied Sciences (Switzerland)* 11(21): 9919. <https://doi.org/10.3390/app11219919>
- Herepath, A., Kitchener, M. & Waring, J. 2015. A realist analysis of hospital patient safety in Wales: Applied learning for alternative contexts from a multisite case study. *Health Services and Delivery Research* 3(40): 1-242. <https://doi.org/10.3310/hsdr03400>
- Hermanto, B., Syahrul, L. & Yuliharsi, Y. 2023. The influence of organizational culture, work environment, and competence on Safety Health Occupation (SHO) laboratory employees with safety behavior as a mediation variable. *Journal of Social Research* 2(8): 2773-2789. <https://doi.org/10.55324/josr.v2i8.1335>
- Higgins, J.P.T., Altman, D.G., Gøtzsche, P.C., Jüni, P., Moher, D., Oxman, A.D., Savović, J., Schulz, K.F., Weeks, L. & Sterne, J.A.C. 2011. The Cochrane collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ (Online)* 343: 7829. <https://doi.org/10.1136/bmj.d5928>
- Horner, C.A. & Wilmschurst, T.D. 2016. Stakeholder engagement and the GRI: Implications for effective risk management. *Corporate Ownership and Control* 13(3Cont1): 209-218. <https://doi.org/10.22495/cocv13i3c1p7>
- International Auditing and Assurance Standards Board (IAASB). 2014. *International Standard on Quality Control (ISQM) 1 Quality Control for Firms that Perform Audits and Reviews of Financial Statements, or Other Assurance or Related Services Engagement*. 610 <https://www.iaasb.org/publications/international-standard-quality-management-isqm-1-quality-management-firms-perform-audits-or-reviews>
- Kitchenham, B. & Charters, S.M. 2007. *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*. Version 2.3. EBSE Technical Report EBSE-2007-01. Software Engineering Group, Keely University & School of Computer Science, University of Durham.
- Kort, N.P., Zagra, L., Barrena, E.G., Tandogan, R.N., Thaler, M., Berstock, J.R. & Karachalios, T. 2020. Resuming hip and knee arthroplasty after COVID-19: Ethical implications for wellbeing, safety and the economy. *HIP International* 30(5): 492-499. <https://doi.org/10.1177/1120700020941232>
- Krechowicz, M. 2017. Risk management in complex construction projects that apply renewable energy sources: A case study of the realization phase of the energis educational and research intelligent building. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 245(6): 062007. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/6/062007>
- Lemiale, V., Prakash, M. & Cruz, A.M. 2020. Data-driven approaches to integrated disaster risk management: Special Issue of the 9th Conference of the International Society for Integrated Disaster Risk Management. *International Journal of Disaster Risk Science* 11(6): 693-695. <https://doi.org/10.1007/s13753-020-00324-4>
- Lin, F., Wu, P. & Xu, Y. 2021. Investigation of factors influencing the construction safety of high-speed railway stations based on DEMATEL and ISM. *Advances in Civil Engineering* <https://doi.org/10.1155/2021/9954018>
- Mohammadfam, I., Abdolahi, F. & Karimi, S. 2018. Assessment and risk management in the laboratories of the School of Public Health, a Medical University Using the ACHIL technique. *Journal of Occupational Hygiene Engineering* 5(2): 20-27. <https://doi.org/10.21859/johe.5.2.20>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. & Altman, D.G. 2009. Academia and clinic annals of internal medicine preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses. *Annals of Internal Medicine* 151(4): 264-269.
- Moretti, L., Cantisani, G. & Caro, S. 2017. Airport veer-off risk assessment: An Italian case study. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* 12(3): 900-912.
- Murcia, J.E., Martinez, S., Martins, V., Herrera, D., Buitrago, C., Velasquez, A., Ruiz, F. & Torres, M. 2023. Risk assessment and green chemistry applied to waste generated in university laboratories. *Heliyon* 9(5): e15900. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15900>
- Nixon, J., Nelson, E.A., Rutherford, C., Coleman, S., Muir, D., Keen, J., McCabe, C., Dealey, C., Briggs, M., Brown, S., Collinson, M., Hulme, C.T., Meads, D.M., McGinnis, E., Patterson, M., Czoski-Murray, C., Pinkney, L., Smith, I.L., Stevenson, R., Stubbs, N., Wilson, L. & Brown, J.M. 2015. Pressure Ulcer Programme of reSearch (PURPOSE): Using mixed methods (systematic reviews, prospective cohort, case study, consensus and psychometrics) to identify patient and organisational risk, develop a risk assessment tool and patient-reported outcome. *Programme Grants for Applied Research* <https://doi.org/10.3310/pgfar03060>
- Novák, D., Strauss, A., Novák, L., Lehký, D., Šomodíková, M., Lipowczan, M., Slowik, O., Doležel, J., Pukl, R. & Sattler, F. 2023. Nonlinear probabilistic structural assessment: Findings from Austrian and Czech bridges. *EUROSTRUCT 2023: European Association on Quality Control of Bridges and Structures: Digital Transformation in Sustainability* 6(5): 1242-1251. <https://doi.org/10.1002/cepa.2195>

- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 2017. Process Safety Management for Petroleum Refineries: Lessons Learned from the Petroleum Refinery Process Safety Management National Emphasis Program. www.osha.gov. pp. 3-40.
- Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J.M., Akl, E.A., Brennan, S.E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J.M., Hróbjartsson, A., Lalu, M.M., Li, T., Loder, E.W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L.A., Stewart, L.A., Thomas, J., Tricco, A.C., Welch, V.A., Whiting, P. & Moher, D. 2021. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic Reviews* 372: n71. <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>
- Peng, T., Li, C. & Zhou, X. 2019. Application of machine learning to laboratory safety management assessment. *Safety Science* 120: 263-267. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.07.007>
- Pertiwi, I.G.A.I.M., Aryawan, I.G.M.O., Kristinayanti, W.S., Andayani, K.W., Indrayanti, A.A.P. & Sudiarta, K. 2021. Risk management of Material Laboratory, Department of Civil Engineering, Bali State Polytechnic for preparation of Occupational Safety and Health Program. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 626(1): 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/626/1/012027>
- Pollini, A., Callari, T.C., Tedeschi, A., Ruscio, D., Save, L., Chiarugi, F. & Guerri, D. 2022. Leveraging human factors in cybersecurity: An integrated methodological approach. *Cognition, Technology & Work* 24(2): 371-390.
- Rethlefsen, M.L., Kirtley, S., Waffenschmidt, S., Ayala, A.P., Moher, D., Page, M.J., Koffel, J.B. & PRISMA-S Group. 2021. PRISMA-S: An extension to the PRISMA statement for reporting literature searches in systematic reviews. *Systematic Reviews* 10(1): 39. <https://doi.org/10.1186/s13643-020-01542-z>
- Sajorda, M.B.B. & Martin, M.L.A. 2023. Composite laboratory structural equipment safety factors at the Philippine State College of Aeronautics. *Iconic Research and Engineering Journal* 6(12): 495-504.
- Sarac, A., Absi, N. & Dauzere-Pérès, S. 2010. A literature review on the impact of RFID technologies on supply chain management. *International Journal of Production Economics* 128(1): 77-95. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.07.039>
- Shah, A.S., Fayaz, M., Shah, A. & Shah, S. 2016. Risk management policy of telecommunication and engineering laboratory. *International Journal of Hybrid Information Technology* 9(4): 281-290. <https://doi.org/10.14257/ijhit.2016.9.4.24>
- Shamseer, L., Moher, D., Clarke, M., Gherzi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L.A. & PRISMA-P Group. 2015. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (prisma-p) 2015: Elaboration and explanation. *BMJ (Online)* 350: g7647. <https://doi.org/10.1136/bmj.g7647>
- Shao, Q., Dong, M., Shen, Z., Yang, R. & Wang, H. 2021. Integrating ergonomics into safety management: A conceptual risk assessment model for tower controllers at multiple altitudes. *IEEE Access* 9: 93364-93383. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3091528>
- Shariff, A.M. & Norazahar, N. 2012. At-risk behaviour analysis and improvement study in an academic laboratory. *Safety Science* 50(1): 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.06.008>
- Shen, Z., Zhang, M., Liu, Y. & Jiang, C. 2021. Research on the influence mechanism of safety risk factors on traffic organization of high-speed railway construction. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 647: 012174. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/647/1/012174>
- 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>
- Stuart, R., Sweet, E., Labosky, M., Box, M. & Mulcahy, M.B. 2022. Introduction to a virtual special issue: Safe lab design. *ACS Chemical Health and Safety* 29(5): 387-388. <https://doi.org/10.1021/acs.chas.2c00067>
- The Safety Engineering and Risk Analysis Division (SERAD). 2001. Description of Sessions Organized by the Safety Engineering and Risk Analysis Division (SERAD). *International Mechanical Engineering Congress & Exposition* 6: 91-95. <https://doi.org/10.1115/imece2001/ts-23418>
- Tobia, M., Tartaglia, R., Giampaoli, A., Perruzza, R. & Farina, G. 2014. Fire risk analysis with a performance-based fire safety engineering approach and FDS models for underground facilities in Gran Sasso National Laboratories. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies* 47: 193-204. <https://doi.org/10.2495/RISK140171>
- Tziakou, E., Fragkaki, A.G. & Platis, A. 2023. Identifying risk management challenges in laboratories. *Accreditation and Quality Assurance* 28(4): 167-179. <https://doi.org/10.1007/s00769-023-01540-3>
- Urata, S., Kuroda, K. & Tonegawa, Y. 2023. *Sustainable Development Disciplines for Society: Breaking Down the 5Ps - People, Planet, Prosperity, Peace, and Partnerships*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-5145-9>
- Wang, L., Wu, W.M., Bolan, N.S., Tsang, D.C., Li, Y., Qin, M. & Hou, D. 2021. Environmental fate, toxicity and risk management strategies of nanoplastics in the environment: Current status and future perspectives. *Journal of Hazardous Materials* 401: 123415. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123415>
- Xu, C., Guo, L., Wang, K., Yang, T., Feng, Y., Wang, H., Li, D. & Fu, G. 2023a. Current challenges of university laboratory: Characteristics of human factors and safety management system deficiencies based on accident statistics. *Journal of Safety Research* 86: 318-335. <https://doi.org/10.1016/J.JSR.2023.07.010>
- Xu, S., Chen, M., Zhou, Y. & Wang, Y. 2023b. Identification and analysis of influencing factors on construction quality management for rural drinking water safety projects. *Water Supply* 23(7): 2814-2832. <https://doi.org/10.2166/ws.2023.162>
- Yang, J., Xuan, S., Hu, Y., Liu, X., Bian, M., Chen, L., Lv, S., Wang, P., Li, R., Zhang, J., Shu, C.M. & Dou, Z. 2022. The framework of safety management on university laboratory. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 80: 104871. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104871>

- Young, S., Bethel, A., Keenan, C., Ghezzi-Kopel, K., Moreton, E., Pickup, D., Premji, Z.A., Rogers, M. & Viinholt, B.C.A. 2021. PROTOCOL: Searching and reporting in Campbell Collaboration systematic reviews: An assessment of current methods. *Campbell Systematic Reviews* 17(4): e1208. <https://doi.org/10.1002/cl2.1208>
- Zhang, P. & Luo, F. 2017. Influencing factors of runway incursion risk and their interaction mechanism based on DEMATEL-ISM. *Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette* 24(6): 1853-1861. <https://doi.org/10.17559/tv-20170928105858>
- Zhang, Y., Mao, P., Li, H., Xu, Y., You, D., Liu, H., Huang, W. & Yuan, J. 2020. Assessing the safety risks of civil engineering laboratories based on lab criticality index: A case study in Jiangsu Province. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(17): 6244. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176244>
- Zhao, J., Cui, H., Wang, G., Zhang, J. & Yang, R. 2023. Risk assessment of safety level in university laboratories using questionnaire and Bayesian network. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 83: 105054. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2023.105054>
- *Pengarang untuk surat-menyurat; email: p115610@siswa.ukm.edu.my