

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Peningkatan mutu pendidikan merupakan tantangan kompleks yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk sistem pendidikan, kualitas sumber daya manusia (SDM), sarana dan prasarana, kurikulum, anggaran, serta faktor pendukung lainnya (Arnita Niroha Halawa & Dety Mulyanti, 2023; Karnati, 2017). Faktor-faktor ini saling berinteraksi dan menentukan keberhasilan proses pembelajaran secara keseluruhan. Di antara berbagai faktor tersebut, sarana dan prasarana memiliki peranan yang sangat strategis karena berfungsi sebagai media, fasilitas, dan pendukung utama dalam menciptakan lingkungan belajar yang aman, efektif, inklusif, dan menyenangkan (Dharma, 2022; Melani, 2019; Yahya et al., 2023). Oleh karena itu, pengelolaan sarana dan prasarana yang optimal menjadi kunci dalam mendukung tercapainya mutu pendidikan yang diharapkan. Peraturan Pemerintah Indonesia Nomor 57 Tahun 2021 menegaskan bahwa sarana dan prasarana merupakan bagian dari Standar Nasional Pendidikan yang harus disesuaikan dengan perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi, dan dinamika kebutuhan masyarakat agar dapat berkontribusi maksimal terhadap peningkatan mutu pendidikan di Indonesia (Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2016; Muktiarni et al., 2019; Sadjadi, 2023).

Salah satu sarana prasarana yang sangat penting di sekolah, khususnya pada jenjang pendidikan menengah, adalah laboratorium kimia. Laboratorium kimia dalam konteks pendidikan pada hakikatnya merupakan bagian integral dari sarana pembelajaran yang dirancang khusus untuk menunjang pemahaman konsep-konsep kimia melalui pengalaman langsung. Laboratorium kimia bukan hanya ruang fisik tempat berlangsungnya praktikum, tetapi juga merupakan lingkungan belajar yang memungkinkan siswa melakukan pengamatan, eksperimen, pengukuran, dan analisis terhadap fenomena kimia secara ilmiah (Hofstein, 2004). Di dalamnya, siswa diajak untuk mengembangkan keterampilan proses sains, berpikir kritis, serta menerapkan metode ilmiah dalam menyelesaikan masalah (Shana & Abulibdeh, 2020; Sutiani, 2021; Zabala & Dayaganon, 2023). Selain itu, laboratorium kimia

juga menjadi sarana untuk menanamkan nilai-nilai keselamatan kerja, kedisiplinan, kerja sama, dan tanggung jawab (Alvarez-Chavez et al., 2021). Karena perannya yang strategis tersebut, pengelolaan laboratorium kimia harus mendapat perhatian khusus agar dapat berfungsi secara optimal dalam meningkatkan mutu pendidikan kimia di sekolah.

Kondisi laboratorium kimia yang ideal merupakan elemen esensial dalam menunjang proses pembelajaran kimia yang efektif, aman, dan bermakna di sekolah. Laboratorium ideal tidak hanya ditandai oleh kelengkapan sarana dan prasarana, tetapi juga oleh tata kelola yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan dalam berbagai regulasi, seperti Permendiknas No. 24 Tahun 2007, Permendikbud No. 22 Tahun 2023, dan Permenpan RB No. 3 Tahun 2010. Standar tersebut mencakup tersedianya alat eksperimen kimia yang memadai, bahan kimia dalam kondisi aman, sistem inventarisasi yang terkelola dengan baik, kegiatan praktikum yang dilakukan secara rutin, serta didukung oleh tenaga laboratorium profesional dan guru yang memiliki kompetensi pedagogik serta digital yang relevan. Laboratorium kimia juga harus memenuhi aspek keselamatan dan keamanan kerja, termasuk tata ruang yang sesuai, ventilasi dan pencahayaan yang memadai, ketersediaan alat keselamatan (seperti APAR, *eyewash*, dan alat pelindung diri), serta sistem penyimpanan bahan kimia yang sesuai standar (OECD, 2019). Lebih dari itu, laboratorium ideal harus mendukung pelaksanaan praktikum yang bervariasi—baik eksploratif, demonstratif, maupun investigatif—sebagai bagian dari pendekatan pembelajaran berbasis inkuiri (I. Rahmawati et al., 2017). Pengelolaan laboratorium yang baik juga bergantung pada kompetensi tenaga pengelola, seperti kepala laboratorium, teknisi, dan guru, yang memahami manajemen laboratorium, prosedur keselamatan kerja (K3), serta mampu memanfaatkan teknologi digital dalam pengelolaan dan pelaksanaan praktikum (Boesdorfer & Livermore, 2018; Cossa & Uamusse, 2015; Koç & Çavaş, 2022; Rossete & Ribeiro, 2021; Widodo, 2022). Aspek aksesibilitas dan inklusivitas pun tidak boleh diabaikan, agar seluruh peserta didik, termasuk yang berkebutuhan khusus, dapat memanfaatkan laboratorium secara setara. Dengan memenuhi berbagai aspek tersebut, laboratorium kimia dapat menjadi lingkungan belajar yang kondusif dalam membangun keterampilan ilmiah, berpikir kritis, dan literasi sains

peserta didik secara optimal.

Namun, kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa pengelolaan laboratorium kimia di banyak sekolah masih menghadapi berbagai tantangan yang signifikan. Hasil studi dan laporan menunjukkan bahwa kendala seperti keterbatasan fasilitas laboratorium, keterbatasan pendanaan, tidak tersedianya teknisi laboratorium, dan penggunaan ruang laboratorium yang bersifat multifungsi menjadi kendala utama dalam pengelolaan laboratorium kimia (Evana et al., 2021; Febri Setiya Rini et al., 2024; Pertiwi et al., 2021; Riswanto et al., 2019). Selain itu, pandemi Covid-19 memperburuk situasi dengan membatasi pelaksanaan praktikum langsung, sehingga mengganggu proses pembelajaran berbasis laboratorium (Ismawati et al., 2023; Kennepohl, 2021; Selvaraj, 2015). Kenyataan di lapangan juga menunjukkan bahwa banyak laboratorium yang belum terdigitalisasi dan belum terintegrasi dengan sistem informasi yang mendukung efektivitas pengelolaan dan pemanfaatannya. Kondisi ini mengungkap adanya kesenjangan antara kebutuhan akan laboratorium berbasis digital dengan minimnya pengembangan dan implementasi laboratorium kimia digital di sekolah-sekolah (Kelley, 2021; Link & Gallardo-Williams, 2022). Fenomena ini menunjukkan bahwa meskipun transformasi digital telah menjadi tuntutan zaman, upaya sistematis untuk mentransformasikan laboratorium kimia sekolah ke arah digitalisasi masih sangat terbatas dan memerlukan intervensi yang lebih terstruktur.

Pada tahapan analisis kebutuhan, peneliti melaksanakan serangkaian kegiatan survei untuk mengumpulkan data yang relevan, meliputi survei tingkat kepuasan terhadap penggunaan laboratorium kimia, kompetensi pedagogik guru kimia, kompetensi digital guru kimia, serta uji pengetahuan dasar (*pre-knowledge test*) terhadap pengelolaan laboratorium kimia. Data diperoleh melalui penyebaran *pretest* dan kuesioner kepada 43 guru kimia SMA yang tersebar di berbagai wilayah administrasi Kota Jakarta. *Pretest* berupa soal pilihan ganda yang dirancang untuk mengukur pemahaman awal guru mengenai pengelolaan dan pemanfaatan laboratorium kimia berbasis digital dalam mendukung proses pembelajaran. Sementara itu, kuesioner digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kepuasan guru terhadap kondisi fasilitas laboratorium kimia yang tersedia, serta kompetensi mereka dalam menggunakan teknologi digital sebagai bagian dari strategi

pembelajaran. Hasil uji pengetahuan awal guru kimia yang disajikan pada Tabel 1.1 memberikan gambaran lebih rinci mengenai tingkat pemahaman guru kimia terhadap pengelolaan laboratorium kimia berbasis digital, serta relevansinya dengan kebutuhan pembelajaran masa kini.

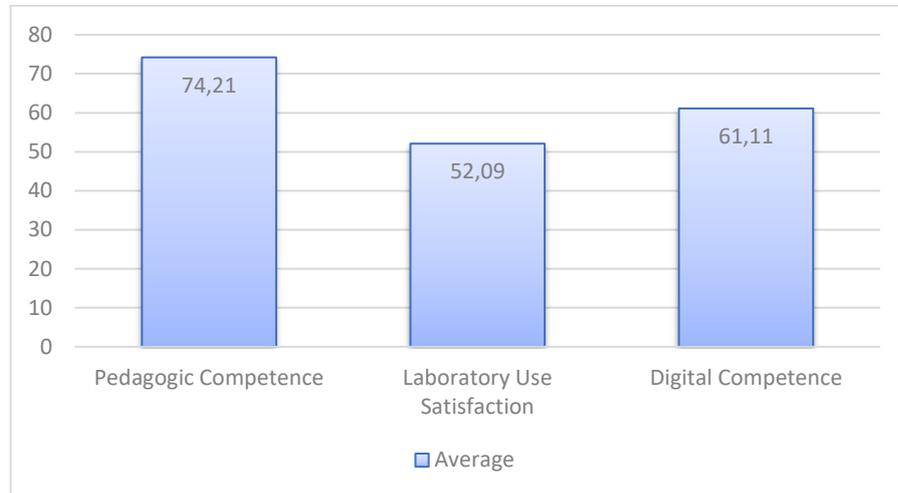
Tabel 1.1. Hasil Uji Pengetahuan Awal Guru Kimia

Jumlah Guru	Rerata	≤ Rerata	%	≥ Rerata	%	Keterangan
43	66,21	26	60,47	17	39,53	60,47% memiliki wawasan di bawah rata-rata

Berdasarkan data pada Tabel 1.1, sebanyak 60,47% guru kimia memperoleh skor di bawah rata-rata pada tes wawasan awal. Temuan ini mengindikasikan perlunya pelatihan tambahan untuk meningkatkan pemahaman guru terkait pengelolaan dan pemanfaatan laboratorium kimia, khususnya dalam mengoptimalkan pelaksanaan praktikum serta integrasi teknologi dalam pembelajaran kimia. Penting bagi guru untuk meluangkan waktu mengikuti seminar dan pelatihan terkait teknologi pendidikan guna memperoleh pemahaman dasar dalam aspek konten, pedagogi, dan didaktik mata pelajaran (Hanafi et al., 2021; Karnati, 2019; Mirzagitova & Akhmetov, 2015; Zimmermann et al., 2021). Selain itu, Boesdorfer dan Livermore (2018) juga merekomendasikan agar guru senantiasa memperbarui pemahaman mereka terhadap reformasi kurikulum kimia, termasuk pemanfaatan kegiatan laboratorium, yang umumnya menjadi fokus dalam pengembangan profesional guru kimia.

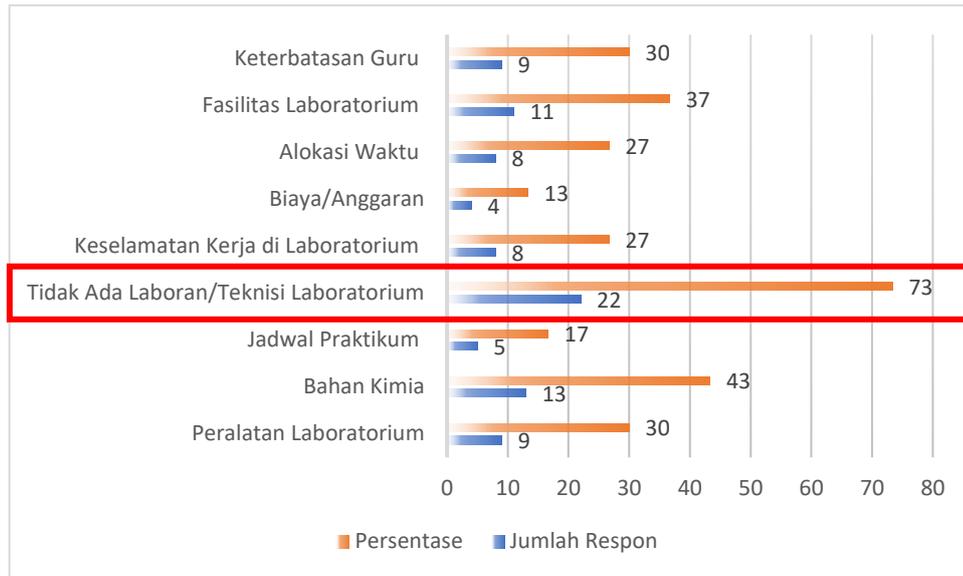
Selain itu, pada tahap analisis kebutuhan ini, hasil survei kompetensi pedagogik, tingkat kepuasan terhadap penggunaan fasilitas laboratorium kimia, serta kompetensi digital guru kimia ditampilkan pada Gambar 1.1. Berdasarkan data tersebut, rata-rata persentase kompetensi pedagogik guru kimia adalah sebesar 74,21%. Hasil ini mengindikasikan bahwa secara umum guru kimia telah memiliki kompetensi pedagogik yang cukup baik. Namun demikian, kompetensi tersebut masih perlu dioptimalkan, khususnya dalam konteks pembelajaran eksperimen kimia di laboratorium. Djalolova et al. (2021) menyatakan bahwa penguasaan pedagogik yang baik merupakan aspek krusial dalam menunjang keberhasilan pembelajaran berbasis eksperimen. Meskipun guru telah menguasai materi kimia,

kemampuan untuk merancang, mengelola, dan mengimplementasikan kegiatan eksperimen secara efektif di laboratorium membutuhkan pelatihan lanjutan serta penguatan kompetensi didaktik (Boesdorfer & Livermore, 2018; Manarisip et al., 2023).



Gambar 1.1. Hasil Survey Kompetensi dan Kepuasan Guru Kimia

Tingkat rata-rata kepuasan guru kimia dengan penggunaan laboratorium kimia adalah 52%. Persentase ini adalah yang terendah dibandingkan hasil survey aspek lainnya. Hasil ini mengidentifikasi bahwa guru kimia cukup puas dengan fasilitas laboratorium kimia namun menganggap pengelolaan laboratorium kimia di sekolah belum optimal terutama terkait kinerja atau peran laboran kimia di sekolah. Hal ini sejalan dengan fakta yang ditemukan di lapangan pada saat studi observasi awal dimana tidak adanya tenaga laboran menjadi kendala utama dalam pengelolaan laboratorium kimia di sekolah (Gambar 1.2). Penelitian yang dilakukan oleh Asmarany et al. (2024) menyebutkan salah satu aspek penting dalam pengelolaan laboratorium adalah pengembangan kompetensi guru dan teknisi laboratorium, dimana kolaborasi antara guru IPA dan staf laboratorium dalam merancang dan melakukan eksperimen berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan kualitas pembelajaran IPA. Kepuasan guru terhadap fasilitas laboratorium erat kaitannya dengan efektivitas praktikum pengajaran. Laboratorium yang kurang didukung oleh fasilitas dan ahli (teknisi/laboran/guru) dapat menghambat keberhasilan praktikum (Boesdorfer & Livermore, 2018; Cossa & Uamusse, 2015).



Gambar 1.2. Kendala Utama Penggunaan Laboratorium Kimia di SMA

Salah satu aspek penting dalam pengelolaan laboratorium adalah ketersediaan tenaga laboran atau teknisi laboratorium, yang secara formal disebut sebagai Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP). Pengadaan tenaga PLP ini telah diatur dalam Permenpan RB Nomor 3 Tahun 2010, yang menyatakan bahwa PLP merupakan jabatan fungsional yang memiliki tugas, tanggung jawab, dan wewenang untuk mengelola laboratorium pendidikan, serta wajib diisi oleh Pegawai Negeri Sipil dengan kompetensi khusus di bidang laboratorium. Namun, kenyataan di lapangan (Gambar 1.2) menunjukkan bahwa pengadaan tenaga laboran di banyak sekolah masih jauh dari memenuhi standar yang ditetapkan. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara mendalam dengan guru kimia dan pihak sekolah, peneliti menemukan bahwa di sejumlah sekolah, posisi laboran sering kali hanya bersifat administratif. Banyak di antaranya diisi oleh tenaga tata usaha atau staf administrasi dengan latar belakang pendidikan yang tidak relevan, seperti bukan dari jurusan kimia, pendidikan kimia, maupun analisis kimia. Dalam beberapa kasus, bahkan tidak ada tenaga laboran yang khusus ditugaskan, sehingga tanggung jawab pengelolaan laboratorium sepenuhnya dibebankan kepada guru kimia. Kondisi ini menyebabkan beban kerja guru meningkat, menghambat efisiensi pelaksanaan praktikum, serta menurunkan efektivitas pengelolaan laboratorium secara keseluruhan (Andayani et al., 2022; Elseria, 2016; Vendamawan et al., 2015). Fenomena ini mencerminkan adanya kesenjangan serius

antara regulasi yang berlaku dan implementasinya di lapangan, sehingga perlu menjadi bahan evaluasi dan perhatian dalam perencanaan pengadaan tenaga laboran yang profesional dan sesuai standar.

Tingkat kepuasan yang rendah terhadap penggunaan laboratorium kimia di sekolah juga dipengaruhi oleh kondisi laboratorium pasca pandemi Covid-19 yang tidak terurus dengan baik. Selama masa pandemi, pembelajaran yang berlangsung secara daring (*online*) menyebabkan laboratorium kimia jarang dimanfaatkan, sehingga pemeliharaan alat dan bahan praktikum menjadi terbengkalai. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara mendalam dengan guru kimia di sejumlah SMA Negeri Jakarta, ditemukan bahwa banyak bahan kimia mengalami degradasi atau kerusakan, baik sejak maupun sebelum masa pandemi. Namun, hingga kini belum dilakukan proses pembuangan atau penanganan sesuai dengan prosedur keselamatan yang berlaku. Selain itu, proses inventarisasi alat dan bahan laboratorium terakhir kali dilakukan antara lima hingga sepuluh tahun yang lalu, tanpa disertai dengan pengadaan maupun pembaruan peralatan laboratorium. Kondisi tersebut umumnya disebabkan oleh keterbatasan anggaran, waktu, serta kekurangan tenaga pengelola laboratorium yang kompeten, yang secara keseluruhan turut berkontribusi pada rendahnya kualitas pengelolaan laboratorium kimia di sekolah (Asmarany et al., 2024).



Gambar 1.3. Kondisi Peralatan dan Bahan Kimia Laboratorium yang Tidak Terkelola dengan Baik

Melihat kompleksitas permasalahan dalam pengelolaan dan penggunaan laboratorium kimia di tingkat sekolah, integrasi teknologi digital menjadi sebuah kebutuhan strategis. Sistem laboratorium berbasis digital berpotensi meningkatkan efisiensi dan keteraturan dalam berbagai aspek pengelolaan, seperti inventarisasi alat dan bahan, pemeliharaan aset, perencanaan praktikum, hingga pelaporan kegiatan laboratorium (Fauzi et al., 2024; Fushshilat et al., 2018; Herath et al., 2023). Digitalisasi ini tidak hanya mempermudah akses informasi, tetapi juga mendorong transparansi dan akurasi data yang dibutuhkan oleh berbagai pemangku kepentingan, termasuk guru, laboran, dan peserta didik (Raviv et al., 2019; Riswanto et al., 2019). Namun, keberhasilan implementasi sistem laboratorium digital sangat bergantung pada kesiapan sumber daya manusia (Marais, 2023), terutama kompetensi digital guru sebagai salah satu pengguna kunci dalam proses pembelajaran dan pengelolaan laboratorium kimia. Berdasarkan hasil analisis kebutuhan yang ditunjukkan pada Gambar 1.1, rata-rata kompetensi digital guru kimia berada pada angka 61,11%. Persentase ini menunjukkan bahwa penguasaan guru terhadap keterampilan digital masih berada pada tingkat sedang dan belum memadai untuk mengelola laboratorium secara digital dan optimal. Meskipun sebagian guru telah menguasai teknologi dasar, keterampilan lanjutan seperti penggunaan platform manajemen laboratorium, analisis data eksperimen digital, serta integrasi teknologi dalam perencanaan praktikum masih perlu ditingkatkan.

Secara keseluruhan pengelolaan laboratorium kimia di tingkat sekolah saat ini menghadapi berbagai permasalahan yang muncul akibat adanya kesenjangan antara kondisi ideal yang diharapkan dan kenyataan di lapangan. Laboratorium ideal seharusnya memenuhi standar kelayakan sarana dan prasarana, keberadaan tenaga laboran profesional, dan pelaksanaan praktikum yang mendukung pembelajaran kimia secara kontekstual dan eksperimental (Elzagheid, 2023; Moutsakis et al., 2024; Sepulveda & Young, 2013). Namun, hasil temuan di lapangan menunjukkan bahwa banyak laboratorium belum memenuhi standar tersebut. Secara teoretis, terdapat beberapa variabel yang dapat diidentifikasi sebagai penyebab utama dari permasalahan ini. Pertama, ketersediaan dan kompetensi tenaga laboratorium (laboran/PLP) menjadi faktor penting yang seringkali diabaikan; banyak sekolah tidak memiliki laboran yang sesuai dengan

latar belakang keilmuan dan tugas fungsionalnya. Kedua, kompetensi digital guru kimia juga menjadi variabel krusial, terutama dalam konteks implementasi sistem pengelolaan laboratorium berbasis digital yang membutuhkan kemampuan guru dalam menggunakan teknologi secara efektif. Ketiga, dukungan kebijakan dan manajemen sekolah, termasuk aspek pendanaan, perencanaan, dan supervisi laboratorium, berperan dalam memastikan kelangsungan kegiatan praktikum dan pemeliharaan alat serta bahan. Keempat, ketersediaan dan kondisi sarana dan prasarana laboratorium, yang mencakup alat, bahan kimia, dan ruang laboratorium, sangat memengaruhi keberlangsungan praktik pembelajaran. Terakhir, frekuensi dan kualitas pelaksanaan praktikum kimia juga menjadi variabel yang menunjukkan efektivitas pemanfaatan laboratorium.

Sementara itu, sebagian besar penelitian terdahulu lebih banyak berfokus pada efektivitas media pembelajaran kimia berbasis digital, seperti laboratorium virtual (*virtual laboratory*) dan *augmented reality*, namun belum secara mendalam mengkaji aspek pengelolaan laboratorium secara sistemik (Cahyana et al., 2024; Ferrell et al., 2019; Hernández-de-Menéndez et al., 2019; Mateu, 2014). Kajian yang menelusuri keterkaitan antara manajemen laboratorium kimia berbasis digital, kesiapan kompetensi digital guru, dan pelaksanaan praktikum yang efektif masih sangat terbatas (Cattaneo et al., 2022; Karmanova et al., 2024; Pfeiffer & Uckelmann, 2019; Redecker C., 2017; Tisoglu et al., 2021). Berdasarkan hasil studi sebelumnya yang menggunakan teknik analisis bibliometrik terhadap database CrossRef, PubMed, dan Google Scholar untuk rentang tahun 2012–2022, dengan bantuan perangkat lunak *Publish or Perish* dan *VOSviewer*, diperoleh representasi visual mengenai tren penelitian dalam pengelolaan laboratorium berbasis teknologi digital (Gambar 1.4). Dari analisis terhadap 197 item yang relevan dengan kata kunci *Laboratory Information Management System* dan *Digital Laboratory*, terlihat pembagian topik ke dalam tiga klaster utama, dengan topik *system* dan *virtual laboratory* sebagai tema yang paling dominan.

learning process). Hal ini ditandai dengan dominasi warna kuning pada data tahun 2020 dalam Gambar 1.4, yang menunjukkan bahwa pandemi Covid-19 menjadi salah satu pendorong utama meningkatnya perhatian terhadap laboratorium virtual sebagai solusi pembelajaran jarak jauh (Yeşilöğlü, 2021). Temuan ini menunjukkan adanya *research gap* yang signifikan. Meskipun penelitian mengenai *virtual laboratory* mulai berkembang sebagai arah yang relevan dan penting dalam pendidikan kimia, sebagian besar studi tersebut belum disertai dengan pengembangan sistem pengelolaan laboratorium kimia berbasis teknologi digital secara menyeluruh. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang merancang dan mengembangkan model pengelolaan laboratorium kimia berbasis digital yang bersifat kontekstual, adaptif terhadap kondisi sekolah, serta mampu mengintegrasikan pemanfaatan teknologi dengan peningkatan kompetensi guru dan efektivitas pembelajaran kimia.

Dengan demikian, penelitian ini memusatkan perhatian pada kendala utama dalam pengelolaan laboratorium kimia berbasis digital di SMA Negeri Kota Jakarta, yang meliputi: (1) sumber daya manusia, khususnya pengelola dan pengguna laboratorium kimia sekolah, (2) kondisi fasilitas laboratorium, terutama dalam hal pemeliharaan peralatan dan bahan kimia, serta (3) pelaksanaan kegiatan praktikum kimia yang belum optimal. Jika permasalahan ini tidak ditangani dengan baik, hal tersebut berpotensi menurunkan kualitas penggunaan laboratorium dan berdampak negatif pada proses pembelajaran kimia secara keseluruhan.

Sebagai solusi atas kendala tersebut, penelitian ini mengembangkan model pengelolaan laboratorium kimia berbasis digital yang terintegrasi dengan sistem informasi manajemen laboratorium, yang kami namakan Model CHEMLIS (*Chemistry Education Management Laboratory Information System*). Model CHEMLIS dirancang untuk mempermudah pengelolaan laboratorium kimia secara digital dan menyeluruh, sekaligus menjadi jawaban atas berbagai tantangan yang sering dihadapi, seperti keterbatasan tenaga laboran, kebutuhan peningkatan kompetensi laboran dan guru kimia, kendala inventarisasi alat dan bahan, aspek keselamatan dan keamanan kerja di laboratorium, keterbatasan waktu pengelolaan, serta kesulitan menyediakan praktikum yang efektif bagi peserta didik.

Fitur-fitur dalam CHEMLIS tidak hanya menggantikan proses pengelolaan

manual, tetapi juga meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan laboratorium, termasuk mengoptimalkan peran guru kimia dan peserta didik dalam kegiatan laboratorium. Pengembangan model ini merupakan langkah strategis dalam menyediakan fasilitas pendidikan yang memadai dan mendukung keberhasilan pembelajaran kimia yang efektif, efisien, dan sesuai dengan perkembangan teknologi serta tuntutan zaman. Dengan demikian, Model CHEMLIS diharapkan dapat berkontribusi signifikan dalam meningkatkan mutu pengelolaan laboratorium kimia dan kualitas pendidikan di Indonesia.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Terdapat kesenjangan antara kondisi laboratorium kimia yang ideal dengan kondisi laboratorium yang terdapat di sekolah, baik dari aspek fasilitas, pengelolaan, maupun pemanfaatannya dalam pembelajaran.
2. Ketersediaan dan kompetensi tenaga laboratorium (laboran atau Pranata Laboratorium Pendidikan) belum sepenuhnya memenuhi standar yang dibutuhkan; banyak sekolah tidak memiliki tenaga laboratorium yang sesuai dengan latar belakang pendidikan maupun tugas fungsionalnya.
3. Kompetensi digital guru kimia masih menjadi tantangan, terutama dalam mendukung implementasi sistem pengelolaan laboratorium berbasis digital yang membutuhkan penguasaan teknologi informasi secara efektif.
4. Ketersediaan serta kondisi sarana dan prasarana laboratorium, seperti alat, bahan kimia, dan ruang laboratorium, masih belum merata dan memadai, sehingga memengaruhi pelaksanaan pembelajaran praktik kimia.
5. Pelaksanaan praktikum kimia di sekolah menunjukkan variasi dalam hal frekuensi dan kualitas, yang mencerminkan tingkat efektivitas pemanfaatan laboratorium dalam mendukung pencapaian tujuan pembelajaran.

C. Pembatasan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah dijabarkan, penelitian ini difokuskan pada pengembangan model dan prototipe CHEMLIS

(*Chemistry Education Management Laboratory Information System*), yaitu sebuah sistem informasi berbasis digital yang dirancang untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan laboratorium kimia di SMA Negeri Kota Jakarta. Fokus penelitian ini mencakup upaya penanganan terhadap sejumlah kendala yang ditemukan di lapangan, terutama terkait dengan sumber daya manusia, yakni pengelola dan pengguna laboratorium kimia yang belum memiliki kompetensi memadai. Selain itu, penelitian ini juga membatasi ruang lingkupnya pada permasalahan kondisi fasilitas laboratorium, khususnya dalam aspek pemeliharaan dan pengelolaan peralatan serta bahan kimia, serta pada pelaksanaan kegiatan praktikum kimia yang masih belum optimal dalam mendukung pembelajaran. Dalam pengembangannya, penelitian ini mengkaji berbagai teori yang relevan, seperti teori manajemen sarana dan prasarana pendidikan, hakikat laboratorium pendidikan kimia, sistem informasi laboratorium, teori pengembangan model, serta teori efektivitas model dalam konteks pengelolaan laboratorium.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah dan fokus penelitian yang telah dijabarkan sebelumnya, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimanakah model pengelolaan laboratorium pendidikan kimia yang selama ini dilaksanakan di SMA Negeri Kota Jakarta?
2. Bagaimanakah model pengelolaan laboratorium pendidikan kimia berbasis digital yang sesuai dengan kebutuhan di SMA Negeri Kota Jakarta?
3. Bagaimanakah kelayakan dan efektivitas dari model pengelolaan laboratorium pendidikan kimia berbasis digital yang dikembangkan di SMA Negeri Kota Jakarta?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini yaitu untuk:

1. Menganalisis dan menghasilkan model faktual pengelolaan laboratorium pendidikan kimia yang selama ini dilaksanakan di SMA Negeri Kota Jakarta.

2. Menganalisis dan menghasilkan model hipotetik pengelolaan laboratorium pendidikan kimia berbasis digital yang sesuai dengan kebutuhan di SMA Negeri Kota Jakarta.
3. Menguji dan menganalisis kelayakan serta efektivitas dari model pengelolaan laboratorium pendidikan kimia berbasis digital yang dikembangkan di SMA Negeri Kota Jakarta.

F. State of The Art

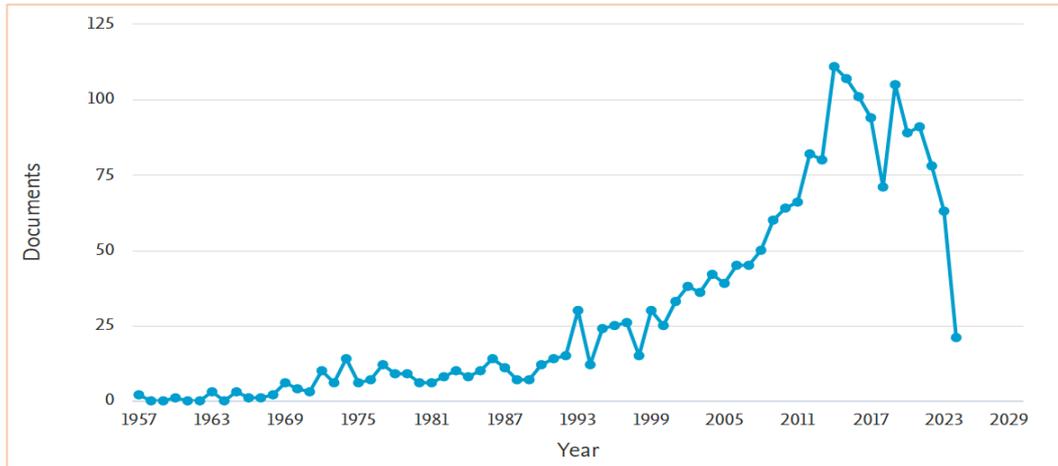
Untuk menunjukkan kekhasan dan kebaruan penelitian ini, peneliti menggunakan dua metode analisis. Pertama, analisis bibliometrik untuk mengidentifikasi karakteristik unik bidang penelitian, termasuk topik yang jarang dikaji atau sudut pandang berbeda dari studi sebelumnya. Kedua, tinjauan literatur terhadap penelitian relevan guna memperkuat pemahaman menyeluruh tentang topik. Rangkuman hasil kedua analisis tersebut disajikan sebagai berikut.

1. Analisis Bibliometrik

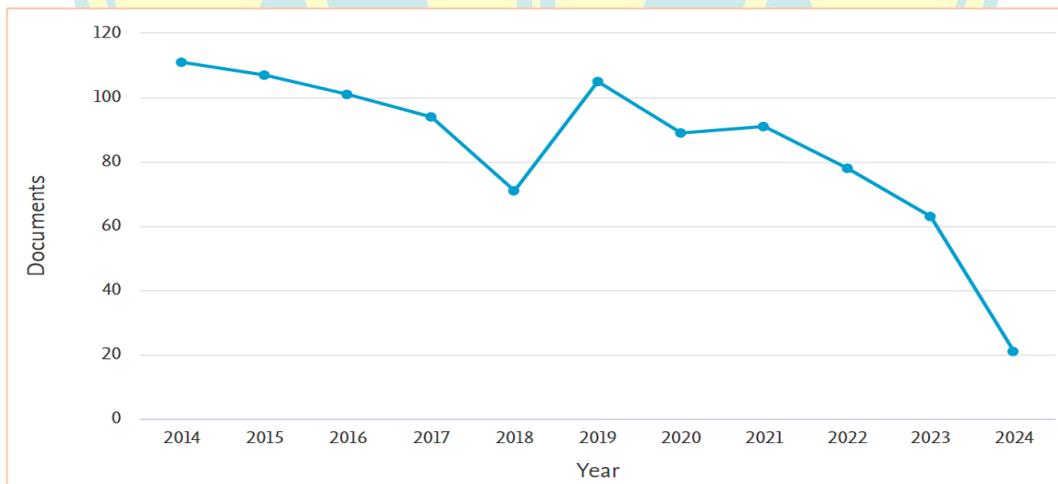
Analisis bibliometrik merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi tren, posisi, area fokus, serta celah (*gap*) dalam suatu topik penelitian berdasarkan publikasi sebelumnya. Metode ini dikombinasikan dengan analisis jaringan (*network analysis*) dan teknik visualisasi data melalui pemetaan bibliometrik, yaitu pendekatan kuantitatif berbasis prinsip matematika dan statistika yang merepresentasikan literatur ilmiah secara visual berdasarkan data bibliografis (Xue et al., 2021). Data bibliografis dalam penelitian ini diperoleh dari basis data Scopus dengan menggunakan strategi pencarian: TITLE(*chemistry AND laboratory AND information AND system*) yang diterapkan pada judul artikel, abstrak, dan kata kunci. Berdasarkan hasil pencarian, diperoleh sebanyak 2.439 dokumen yang terbit antara tahun 1957 hingga 2024.

Berdasarkan Gambar 1.6, kajian terkait sistem informasi laboratorium kimia mulai muncul sejak tahun 1957, dan menunjukkan peningkatan tren signifikan setelah memasuki era Revolusi Industri 4.0 pada tahun 2011, dengan puncak jumlah publikasi tercatat pada tahun 2014. Tren ini mengalami penurunan tajam pada tahun 2018 (Gambar 1.7), namun kembali meningkat pada periode 2019–2020. Peningkatan ini berkorelasi dengan masa pandemi Covid-19, yang mendorong

adopsi teknologi digital secara masif di berbagai sektor, termasuk dalam manajemen laboratorium. Sejumlah studi merekomendasikan pemanfaatan teknologi digital di laboratorium untuk terus dikembangkan bahkan setelah pandemi berakhir (Al Husaeni & Nandiyanto, 2022; Fushshilat et al., 2018).



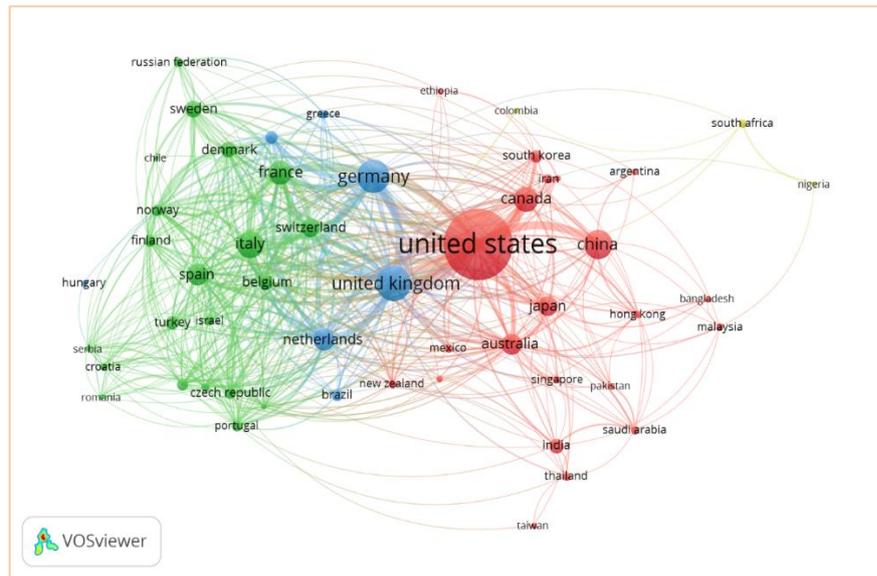
Gambar 1.6. Tren Penelitian Sistem Informasi Laboratorium



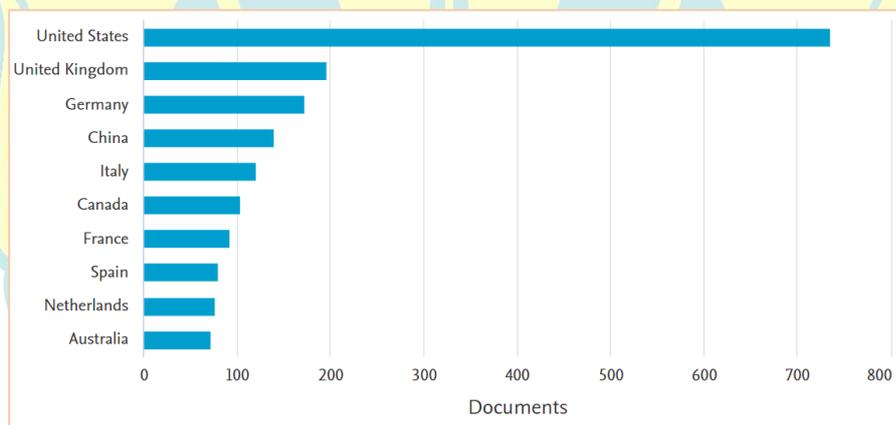
Gambar 1.7. Tren Penelitian Sistem Informasi Laboratorium Sepuluh Tahun Terakhir

Analisis tren penelitian sistem informasi laboratorium kimia dilanjutkan dengan identifikasi kontribusi berdasarkan negara dan institusi afiliasi, serta divisualisasikan menggunakan perangkat lunak VOSviewer. Gambar 1.8 menunjukkan empat klaster yang mencakup 53 negara/wilayah dalam jaringan kolaborasi penelitian. Warna simpul menggambarkan rata-rata waktu publikasi, ukuran simpul menunjukkan jumlah publikasi, dan ketebalan garis tautan merefleksikan intensitas kolaborasi internasional. Semakin besar simpul dan tebal

garis, semakin signifikan kontribusi dan hubungan kerja sama suatu negara dalam bidang ini.



Gambar 1.8. Analisis Jaringan Kutipan Berdasarkan Asal Negara



Gambar 1.9. Sepuluh Negara Teratas dengan Dokumen Berperingkat Tinggi

Berdasarkan Gambar 1.8, Gambar 1.9, dan Tabel 1.2, Amerika Serikat, Inggris, dan Jerman merupakan tiga negara teratas dalam publikasi dan sitasi pada bidang sistem informasi laboratorium kimia, dengan masing-masing mencatat 737, 196, dan 174 publikasi, serta total sitasi sebesar 31.999, 10.892, dan 8.591. Amerika Serikat memiliki jaringan kolaborasi luas, terutama dengan Kanada, Tiongkok, Jepang, dan Australia, sementara Inggris berkolaborasi erat dengan Jerman, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya. Kolaborasi paling signifikan tercatat antara Amerika Serikat dan Tiongkok. Selain itu, Inggris dan Swiss mencatat rata-

rata kutipan tahunan tertinggi, masing-masing sebesar 55,57 dan 74,25. Temuan ini menegaskan pentingnya penguatan kolaborasi internasional dalam memperluas penyebaran pengetahuan secara global.

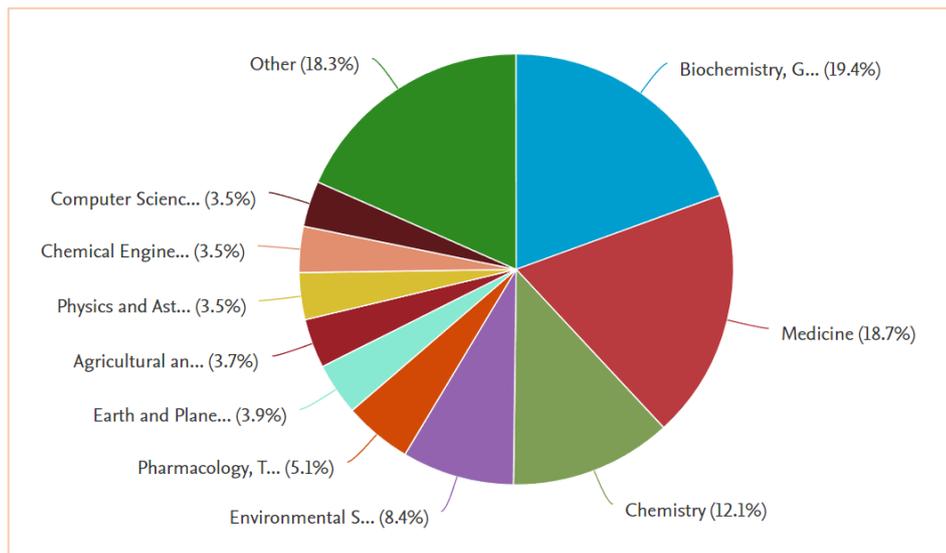
Tabel 1.2. Negara Terkemuka Berdasarkan Rangking Publikasi dan Kutipan

Rank	Country/Region	Continent	NP	TC	CPP
1	United States	North America	737	31999	43.42
2	United Kingdom	Europe	196	10892	55.57
3	Germany	Europe	174	8591	49.37
4	China	Asia	141	4015	28.48
5	Italy	Europe	119	3514	29.53
6	Canada	North America	103	4532	44.00
7	France	Europe	92	2982	32.41
8	Spain	Europe	80	2459	30.74
9	Netherlands	Europe	77	2989	38.82
10	Australia	Oceania	71	2779	39.14
11	Japan	Asia	67	2383	35.57
12	Switzerland	Europe	59	4381	74.25
13	Sweden	Europe	48	1101	22.94
14	Denmark	Europe	45	1147	25.49
15	Belgium	Europe	39	1743	44.69

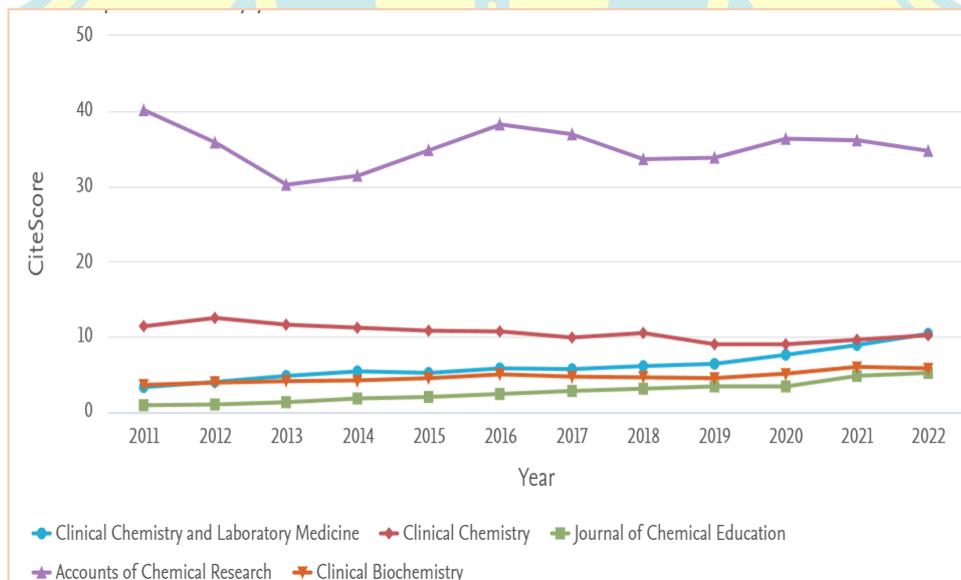
Note: NP = number of publications, TC = total citations, CPP = citations per paper = TC/NP.

Tabel 1.2 menunjukkan bahwa 15 negara teratas dalam publikasi dan kutipan didominasi oleh negara maju. Amerika Serikat menempati posisi terdepan dalam inisiasi dan pengembangan studi sistem informasi laboratorium kimia, disusul oleh Inggris, Jerman, dan Tiongkok. Negara-negara ini berkontribusi dalam pengembangan sistem informasi berbasis digital untuk manajemen laboratorium yang lebih efektif. Sebaliknya, negara-negara berkembang masih minim kontribusi, yang diduga disebabkan oleh keterbatasan sumber daya dan tingginya kebutuhan investasi untuk adopsi sistem informasi digital. Oleh karena itu, negara berkembang perlu memanfaatkan peluang digitalisasi untuk mempercepat pengembangan sistem

informasi laboratorium kimia.



Gambar 1.10. Sumber Dokumen Berdasarkan Bidang Keilmuan

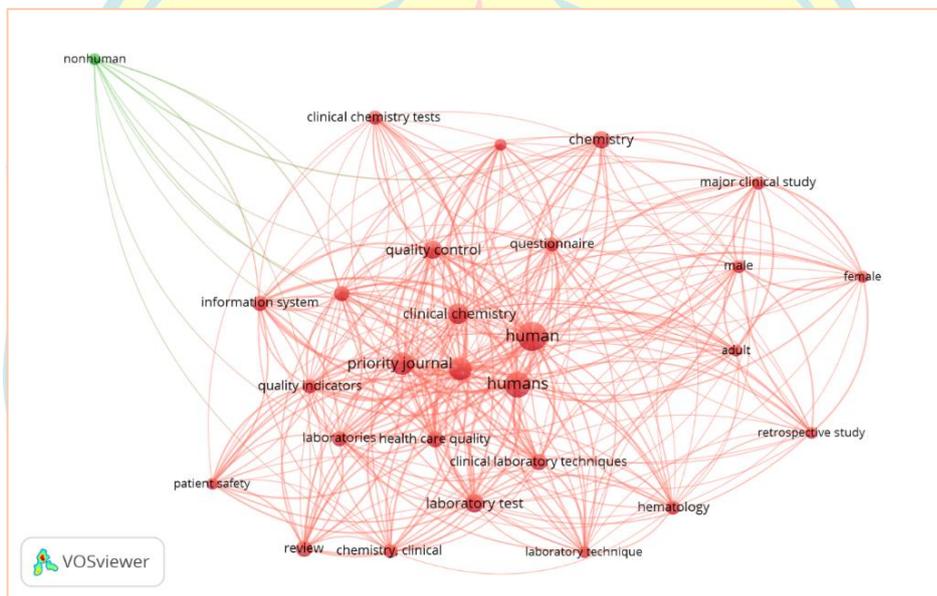


Gambar 1.11. Sumber Dokumen Jurnal

Analisis selanjutnya difokuskan pada sumber dokumen dan bidang keilmuan. Meskipun menggunakan kata kunci “kimia,” penelitian dalam bidang ini paling banyak ditemukan di biokimia (19,4%), kedokteran (18,7%), dan kimia (12,1%), serta bidang ilmu terapan lainnya. Disiplin lain yang juga terlibat meliputi teknik (18,3%), profesi kesehatan, ilmu material, ilmu sosial, imunologi dan mikrobiologi, keperawatan, multidisiplin, kedokteran hewan, matematika, dan ilmu saraf. Fokus

utama penelitian cenderung diarahkan pada kebutuhan laboratorium kesehatan dan penelitian, sedangkan pengembangan di laboratorium kimia, khususnya dalam konteks pendidikan, masih terbatas. Temuan ini sejalan dengan pola sitasi jurnal (Gambar 1.11), yang menunjukkan dominasi jurnal *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine* serta *Accounts of Chemical Research* dalam mendiseminasi hasil-hasil penelitian terkait.

Analisis bibliometrik berdasarkan kata kunci digunakan untuk merepresentasikan isi utama artikel. Kata kunci mencerminkan elemen penting seperti tujuan, metode, dan perspektif penelitian, sehingga analisis frekuensi kata kunci menjadi langkah strategis untuk mengidentifikasi tren dan perkembangan terbaru dalam suatu bidang (Tian & Li, 2019).



Gambar 1.12. Kata Kunci yang Terhubung dengan Sistem Informasi Laboratorium

Kata kunci penulis merepresentasikan konsep, metode, atau topik penelitian yang digunakan untuk menyampaikan pesan ilmiah kepada komunitas akademik. Namun, sebagian besar kata kunci hanya muncul satu atau dua kali, sehingga kurang berkontribusi dalam membentuk tema utama sistem informasi laboratorium kimia. Untuk mempertajam fokus analisis, hanya kata kunci dengan frekuensi minimal lima yang dianalisis dalam pemetaan keterkaitan (*co-occurrence*) guna mengidentifikasi topik penelitian utama. Dari total 827 kata kunci, sebanyak 30 memenuhi ambang batas tersebut. Jaringan *co-occurrence* ditampilkan pada

Gambar 1.12, di mana ukuran node dan font mencerminkan frekuensi kemunculan kata kunci—semakin besar ukuran dan font, semakin tinggi frekuensinya.

Berdasarkan Gambar 1.12, teridentifikasi dua klaster utama yang ditandai dengan warna hijau dan merah. Klaster hijau merepresentasikan penelitian dengan subjek non-manusia, sedangkan klaster merah berkaitan dengan subjek manusia. Mayoritas penelitian sistem informasi laboratorium kimia berfokus pada subjek manusia, selaras dengan temuan sebelumnya bahwa sistem ini banyak diterapkan di laboratorium medis, klinis, dan laboratorium uji untuk mendukung pengujian kesehatan manusia. Hal ini mengindikasikan bahwa penerapan sistem informasi laboratorium umumnya dirancang untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan sumber daya manusia di lingkungan laboratorium.

Secara keseluruhan, hasil analisis bibliometrik menunjukkan bahwa dominasi penerapan sistem informasi laboratorium kimia masih berada pada konteks medis dan penelitian, sementara pemanfaatannya di laboratorium kimia sekolah masih terbatas. Kondisi ini membuka peluang besar untuk pengembangan sistem informasi laboratorium dalam konteks pendidikan, khususnya di sekolah menengah, terutama di negara berkembang seperti Indonesia yang masih menghadapi tantangan dalam pengelolaan laboratorium secara efektif.

Penerapan sistem informasi laboratorium kimia di sekolah merupakan kebaruan dalam penelitian ini, dengan fokus pada peningkatan efektivitas dan efisiensi pengelolaan laboratorium, penguatan kompetensi kepala laboratorium, teknisi, dan guru kimia, serta pemberian pengalaman belajar berbasis teknologi kepada peserta didik. Pemanfaatan digitalisasi diharapkan dapat mendorong integrasi teknologi dalam pembelajaran kimia dan memperkuat kontribusi penelitian pendidikan di bidang ini.

2. *Systematic Literature Review (SLR)*

Hasil analisis bibliometrik sebelumnya menunjukkan adanya kesenjangan penelitian dalam pengembangan sistem informasi laboratorium kimia, khususnya dalam konteks pendidikan di tingkat sekolah. Untuk menelaah lebih lanjut posisi dan penerapannya dalam pendidikan, dilakukan analisis lanjutan menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review (SLR)*. Metode ini digunakan untuk

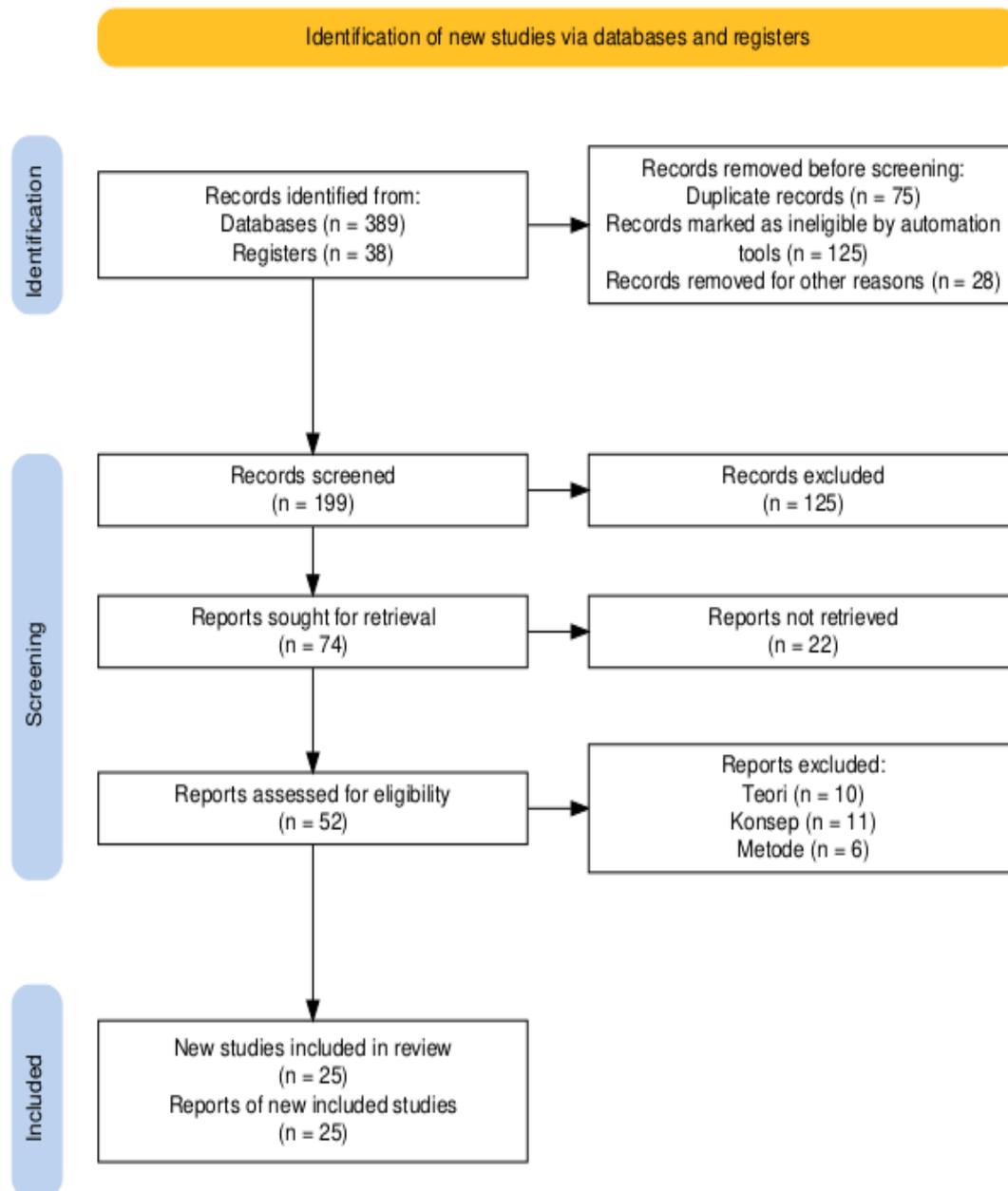
mengidentifikasi pola pengembangan dan penerapan sistem informasi laboratorium kimia, terutama pada aspek inventarisasi alat dan bahan, keselamatan kerja (K3), pembelajaran praktikum, serta pelatihan bagi pengelola dan pengguna laboratorium. Tinjauan ini bertujuan untuk mengungkap kesenjangan teoritis, metodologis, dan praktis, serta memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem informasi laboratorium dalam pendidikan kimia.

Pengumpulan data dilakukan berdasarkan pedoman PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), yang merupakan standar internasional dalam pelaporan tinjauan sistematis. Artikel yang dianalisis dibatasi pada jurnal *peer-reviewed* terindeks Scopus, dengan pengecualian terhadap laporan, prosiding, buku, dan tesis. Sebanyak 20 artikel dipilih berdasarkan empat kriteria: (1) diterbitkan dalam jurnal bereputasi; (2) terbit dalam rentang 2014–2024; (3) terindeks Scopus; dan (4) relevan dengan topik sistem informasi laboratorium kimia dalam pendidikan, mencakup lima fokus utama sebagaimana disajikan dalam Tabel 1.3.

Tabel 1.3. Subtema yang Menjadi Fokus dalam SLR

No	Fokus Review
1.	Sistem informasi laboratorium kimia sekolah
2.	Jenis sistem informasi laboratorium kimia bidang pendidikan yang dikembangkan
3.	Peluang pengembangan sistem informasi laboratorium kimia untuk sekolah
4.	Tantangan pengembangan sistem informasi laboratorium kimia di lingkungan pendidikan
5.	Gap penelitian pengembangan sistem informasi laboratorium kimia sekolah di Indonesia

Diagram Alir PRISMA, yang ditampilkan pada Gambar 1.13, secara visual menggambarkan alur penyaringan studi melalui setiap tahap dalam proses tinjauan. Pencarian dokumen dilakukan melalui database Scopus, menghasilkan 427 artikel jurnal berdasarkan pencarian menggunakan judul dan kata kunci: “*Chemistry Laboratory Information System*” AND “*Education*” AND “*School*”.



Gambar 1.13. Diagram Alir PRISMA

Setelah menerapkan kriteria inklusi dan menghapus artikel duplikat, tersisa 199 artikel. Penyaringan lebih lanjut dilakukan secara manual berdasarkan judul dan abstrak, sehingga menyisakan 52 artikel. Selanjutnya, artikel-artikel tersebut dievaluasi relevansinya terhadap fokus review, dan 25 artikel memenuhi kriteria pengkajian (disajikan dalam Tabel 1.4). Tahap akhir melibatkan pembacaan menyeluruh terhadap artikel-artikel tersebut untuk mengekstrak data yang relevan dan mendukung fokus area yang dikaji.

Penelitian mengenai penerapan sistem informasi laboratorium kimia dalam lingkup pendidikan masih tergolong sangat jarang. Berdasarkan pencarian dokumen artikel yang relevan dengan topik sistem informasi laboratorium kimia di bidang pendidikan, hanya sedikit yang ditemukan dalam database Scopus. Sebanyak 25 artikel dianalisis dari segi relevansi, fokus substansi, tujuan, serta pendekatan atau metode yang digunakan untuk mengidentifikasi fokus area yang berpotensi menjadi *novelty* dalam penelitian ini.

Hasil analisis literatur, yang dirangkum pada Tabel 1.4, menunjukkan bahwa artikel yang paling banyak ditemukan yaitu terkait manajemen keselamatan kerja dan pengembangan laboratorium digital, seperti laboratorium virtual. Pendekatan atau metode penelitian yang digunakan dalam dokumen tersebut seringkali tidak disebutkan secara eksplisit, terutama di jurnal Scopus Q1. Namun, sebagian besar tampak mengadopsi metode pengembangan *Research and Development* (R&D) dalam menciptakan produk sistem desainnya. Selain itu, pendekatan lain yang sering digunakan adalah survei kualitatif maupun kuantitatif. Hasil analisis relevansi pada Tabel 1.4 mengidentifikasi sejumlah topik yang berkaitan dengan pengembangan sistem informasi laboratorium kimia di lingkup pendidikan, di antaranya: peralatan laboratorium, keselamatan kerja di laboratorium, praktikum kimia, manajemen pengelolaan limbah laboratorium, kompetensi profesional guru kimia, pelatihan guru kimia, penggunaan laboratorium kimia, laboratorium berbasis digital, *web-based learning*, teknisi laboratorium (laboran), serta sistem informasi manajemen.

Tabel 1.4. Analisis Substansi dan Relevansi 25 Artikel Sistem Informasi Laboratorium Kimia Bidang Pendidikan

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
Mancheño et al. (2024)	<i>A Chemistry Laboratory Miniature Model: A Window to Science</i>	<i>Journal of Chemical Education</i> (Q1)	Peralatan Laboratorium	Model Miniatur Laboratorium Kimia	Mengembangkan miniatur serangkaian peralatan kimia di laboratorium kimia	Menerapkan pendekatan proyek konstruksi dalam mengembangkan model miniatur laboratorium kimia mengkombinasikan “ART” dengan “Science”
Camel et al. (2021)	<i>Open Digital Educational Resources for Self-Training Chemistry Lab Safety Rules</i>	<i>Journal of Chemical Education</i> (Q1)	Keselamatan Kerja di Laboratorium	Pelatihan mandiri (<i>self-training</i>) tentang K3 berbasis digital	Mengembangkan CHIMACTIV sebagai <i>Web-Based Learning</i> yang dapat meningkatkan pengetahuan siswa tentang K3, Hazard kimia, dan juga membangun kebiasaan siswa dalam mentaati regulasi	Menerapkan metode penelitian pengembangan (R&D) dengan produk yang dikembangkan berupa website CHIMACTIV yang dapat diakses secara terbuka oleh siswa

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
					keselamatan di lab	
Stuart & McEwen (2016)	<i>The Safety "use Case": Co-Developing Chemical Information Management and Laboratory Safety Skills</i>	<i>Journal of Chemical Education</i> (Q1)	Keselamatan Kerja di Laboratorium	<i>Chemical Literature, Information Management Skills, Laboratory Safety Skills</i>	Menguraikan penjelasan tentang pentingnya mengintegrasikan alat-alat keselamatan laboratorium terbaru	Menerapkan pendekatan literasi informasi yang pada dasarnya ditujukan untuk meningkatkan literasi kimia pembaca terkait K3 dari berbagai model dan konsep diantaranya model RAMP, <i>Globally Harmonized System</i> (GHS), konsep pengembangan manajemen resiko laboratorium, konsep sistem keselamatan kerja di laboratorium, siklus literasi informasi ACRL, konsep 6 keterampilan ACS, dan sebagainya.

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
Mogopodi et al. (2015)	<i>Assessment of chemical management practices and safety in junior secondary school laboratories in Gaborone</i>	<i>Journal of Chemical Health and Safety</i> (Q2)	Praktikum Kimia; Keselamatan Kerja di Laboratorium	Asesmen pelaksanaan pembelajaran praktikum dan K3 di laboratorium kimia	Melakukan evaluasi terhadap praktik dan keamanan dalam pengelolaan bahan kimia di laboratorium sekolah menengah pertama.	Menggunakan survei <i>likert</i> yang dikembangkan sendiri dan diberikan kepada siswa SMP di Gaborone. Analisis data dilakukan dengan menggunakan SPSS untuk menghitung frekuensi, persentase, <i>mean</i> dan standar deviasi.
Ramm et al. (2018)	<i>Development of a Waste Management Program in Technical Chemistry Teaching</i>	<i>Journal of Chemical Education</i> (Q1)	Manajemen pengelolaan limbah laboratorium	Penerapan program pengelolaan limbah atau <i>Waste Management Program</i> (WMP)	Menganalisis proses pengembangan dan implementasi proyek pengelolaan limbah (WMP) di sebuah sekolah negeri di kota Porto Alegre di negara bagian Rio Grande do Sul,	Penelitian kualitatif dengan pendekatan studi kasus. Analisis diagnostik awal terhadap limbah dilakukan, WMP dijalankan untuk memenuhi kebutuhan kursus teknis guna meminimalkan limbah yang dihasilkan selama

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
					Brasil, yang menawarkan kursus untuk teknisi kimia	kegiatan eksperimen dan memberikan instruksi untuk pembuangannya yang memadai. Guru dan siswa mengikuti kursus pelatihan untuk mendapatkan panduan tentang prosedur pemisahan dan identifikasi limbah.
Karmanova et al. (2024)	<i>Developing the Professional Competence of Future Chemistry Teachers through Digital Technologies: A Case Study of Kazakhstan</i>	<i>International Journal of Information and Education Technology</i> (Q3)	Kompetensi Profesional Guru Kimia; Pelatihan Guru Kimia	Penerapan teknologi digital dalam meningkatkan kompetensi profesional guru kimia	Meningkatkan pemahaman guru kimia tentang penerapan teknologi digital yang efektif dalam pendidikan kimia dan memberikan rekomendasi praktis untuk meningkatkan kualitas	Berbagai metode digunakan dalam penelitian ini, antara lain analisis teoritis, survei online, pemodelan, eksperimen, dan analisis hasil tes.

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
					pendidikan	
Lukum & Paramata (2015)	<i>An Analysis of the Students' Satisfaction Toward the Services of the Chemical Laboratory</i>	<i>International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE)</i> (Q3)	Penggunaan Laboratorium Kimia	Survey tingkat kepuasan siswa terhadap layanan laboratorium kimia	Mengukur kepuasan mahasiswa terhadap layanan yang ditawarkan laboratorium.	Metode yang digunakan adalah penelitian kuantitatif (<i>survey</i> deskriptif). Pengukuran kepuasan siswa dilakukan dengan menggunakan uji statistik parametrik t-test. Penelitian menunjukkan bahwa kepuasan siswa lebih dari 75%
Ali et al. (2023)	<i>Examining the Effects of Supervised Laboratory Instruction on Students' Motivation and Their Understanding of Chemistry</i>	<i>Education Sciences</i> (Q2)	Pendekatan Pembelajaran; Praktikum Kimia	Penerapan SLI (<i>Supervised Laboratory Instruction</i>) untuk meningkatkan kualitas pengajaran praktikum kimia	Mengkaji dampak pendekatan pengajaran laboratorium yang diawasi atau <i>Supervised Laboratory Instructions</i> (SLI) terhadap pemahaman siswa	Desain penelitian metode campuran digunakan, dengan pengambilan sampel secara purposif terhadap 160 siswa sekolah menengah dari enam sekolah di Northwest Ethiopia. Statistik deskriptif

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
					kelas 12 tentang topik kimia asam-basa dan larutan dalam konteks sekolah menengah di Ethiopia.	dan inferensial (untuk data kuantitatif) dan analisis tematik refleksif (untuk data kualitatif) digunakan untuk menganalisis data.
Xu (2022)	<i>Assisting Laboratory Management Based on Network Big Data Mining Technology</i>	<i>Journal of Function Spaces (Q3)</i>	Manajemen Laboratorium Digital	Implementasi teknologi jaringan Big Data Mining dalam Manajemen Laboratorium Kimia	Dengan menggunakan bantuan <i>Big Data Mining</i> , penelitian ini bertujuan mengemukakan beberapa pandangan dan pemikiran mengenai permasalahan yang ada dalam manajemen dan pengajaran eksperimen laboratorium	Menggunakan teknis analisis dengan bantuan teknologi jaringan Big Data Mining untuk mengidentifikasi permasalahan di laboratorium kimia dan pengajaran khususnya penerapan manajemen keselamatan kerja di laboraotorium kimia

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
Rossete & Ribeiro (2021)	<i>Laboratory Technicians' Use and Interpretation of Hazard Communication Elements on Chemical Labels</i>	<i>ACS Chemical Health and Safety</i> (Q1)	Keselamatan Kerja di Laboratorium; Teknisi Laboratorium Kimia/Laboran	Survey wawasan teknisi laboratorium kimia terkait informasi bahaya pada label bahan kimia	Menilai apakah teknisi laboratorium di institusi pendidikan tinggi mengenali dan memahami informasi bahaya yang disampaikan pada label bahan kimia, yang distandarisasi oleh Sistem Harmonisasi Global untuk Klasifikasi dan Pelabelan Bahan Kimia (GHS), melalui kuesioner berdasarkan label bahan kimia yang sering digunakan.	Menggunakan pendekatan kualitatif dan kuantitatif dengan tiga tahapan, (1) studi eksplorasi <i>cross-sectional</i> yang dilakukan di dua institusi pendidikan tinggi negeri dan swasta Brazil, yang berlokasi di Negara Bagian São Paulo, (2) tahap survey dan wawancara yang terdiri dari lima modul dan diadaptasi dari survei Hazard Communication Comprehensibility Testing, dan tahap (3) analisis data menggunakan statistik deskriptif.
Aljuhani et	<i>Creating a</i>	<i>Smart</i>	Laboratorium	Pengembangan	Mengembangkan	Metode

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
al. (2018)	<i>Virtual Science Lab (VSL): the adoption of virtual labs in Saudi schools</i>	<i>Learning Environments</i> (Q1)	Sains Virtual	VSL (<i>Virtual Science Laboratory</i>): platform berbasis web	VSL (<i>Virtual Science Laboratory</i>) untuk meningkatkan kualitas pendekatan pembelajaran dengan cara memperkenalkan lingkungan laboratorium virtual yang lebih aman dan interaktif bagi siswa sekolah menengah di Arab Saudi.	pengembangan R&D dengan tahapan penelitian: literatur review, survey, interview, dan merancang desain sistem VSL. Pada tahapan pengembangan mencakup tahapan desain sistem, desain <i>user interface</i> , dan tahapan uji.
Van Dyke & Smith-Carpenter (2017)	<i>Bring Your Own Device: A Digital Notebook for Undergraduate Biochemistry Laboratory</i>	<i>Journal of Chemical Education</i> (Q1)	Laboratorium Berbasis Teknologi Digital	Pengembangan <i>Digital Laboratory Notebook</i> (DLN) untuk Mahasiswa pada perkuliahan Biokimia	Mengembangkan DLN (<i>Digital Laboratory Notebook</i>) untuk digunakan pada saat kegiatan praktikum di	Metode pengembangan R&D. DLN berbasis <i>cloud</i> memanfaatkan fitur unik <i>smartphone</i> (yaitu pengunggahan foto,

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
	<i>Using a Free, Cross-Platform Application</i>				laboratorium biokimia yang dapat diakses secara gratis melalui aplikasi seluler <i>smartphone</i> .	pengambilan audio, dikte) dan juga dapat diakses dari perangkat apa pun yang tersambung ke Internet (misalnya tablet, laptop, desktop).
Schenk et al. (2018)	<i>Identifying the Scope of Safety Issues and Challenges to Safety Management in Swedish Middle School and High School Chemistry Education</i>	<i>Journal of Chemical Education</i> (Q1)	Keselamatan Kerja di Laboratorium	Penyelidikan masalah manajemen keselamatan kimia di laboratorium sekolah	Melakukan identifikasi dan analisis keselamatan di laboratorium kimia sekolah	Melakukan investigasi dengan pendekatan kualitatif dan kuantitatif yang dilakukan melalui dua substudi. Pertama, wawancara kepada guru kimia sekolah tentang cara mereka bekerja dengan keselamatan dan pencegahan kecelakaan di laboratorium kimia. Kedua, melakukan analisis catatan panggilan Pusat

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
						Informasi Racun Swedia mengenai anak-anak berusia 10-19 tahun dan laporan mengenai cedera parah dan kecelakaan yang diserahkan ke Otoritas Lingkungan Kerja Swedia (SWEA).
Alvarez-Chavez et al. (2021)	<i>Tool for the Integrated Assessment of Health, Safety, Civil, and Environmental Protection Management in High School Laboratories (IHSCE Tool)</i>	<i>ACS Chemical Health and Safety (Q1)</i>	Keselamatan Kerja di Laboratorium	Pengembangan asesmen dalam manajemen kesehatan dan keselamatan kerja serta proteksi bahaya di laboratorium sekolah	Mengembangkan, memvalidasi, dan menguji instrumen penilaian manajemen kesehatan dan keselamatan siswa dan guru, perlindungan lingkungan, dan keselamatan masyarakat di laboratorium	Menerapkan metode penelitian R&D untuk pengembangan instrumen penilaian. Sekolah memerlukan instrumen IHSCE untuk mengidentifikasi peluang peningkatan keselamatan secara proaktif. Peneliti mengembangkan daftar cek yang ditinjau dan

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
					sains sekolah menengah yang diberi nama <i>IHSCE Tool</i> .	diadaptasi dari berbagai sumber.
Restu et al. (2020)	<i>Management information system model to increase performance of educational laboratory</i>	<i>Polish Journal of Management Studies (Q3)</i>	Model Sistem Informasi Manajemen	Model sistem informasi manajemen di laboratorium pendidikan	Membandingkan kinerja laboratorium yang menerapkan MISLab sebagai sistem informasi manajemennya dengan kinerja laboratorium yang dikelola secara manual.	Artikel menguraikan tentang teknik dan hasil pengujian MISLab yang dilakukan ke 18 SMK di Provinsi Sumatera Utara, dengan melibatkan 36 pengelola laboratorium, 54 guru praktikum, dan 90 mahasiswa laboratorium pendidikan.
Wang et al. (2014)	<i>A review of research on technology-assisted school science laboratories</i>	<i>Educational Technology and Society (Q1)</i>	Laboratorium Berbasis Teknologi Digital	Review referensi terkait laboratorium sains yang mengintegrasikan penerapan teknologi	Memaparkan informasi, demografi, dan gambaran penerapan teknologi dalam laboratorium	Menerapkan metode analisis literature review untuk mengidentifikasi seberapa jauh penerapan teknologi untuk laboratorium

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
					sains.	di sekolah khususnya laboratorium sains.
Yuan et al. (2023)	<i>Study and Practice of Laboratory Safety Management and Asset Management Evaluation Based on Computational Intelligence</i>	<i>RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao</i> (Q4)	Manajemen Keselamatan Kerja di Laboratorium; Manajemen Laboratorium Modern	Praktik manajemen keselamatan kerja di laboratorium dan evaluasi berdasarkan kecerdasan komputasional	Melakukan studi dan mengembangkan aplikasi yang menerapkan algoritma BP neural network dalam sistem monitoring keselamatan kerja di laboratorium.	Metode pengembangan yang didominasi penjelasan tentang hasil kajian atau studi tentang manajemen keselamatan kerja modern, dan teknis evaluasi dan monitoring keselamatan kerja di laboratorium berdasarkan algoritma komputasi
Dickerson & Ackerman (2016)	<i>Risk-based Maintenance Management of U.S. Public School Facilities</i>	<i>Procedia Engineering</i> (Q1)	Manajemen Laboratorium Berbasis Resiko	Manajemen pemeliharaan fasilitas sekolah berdasarkan prinsip manajemen resiko	Mengkaji literatur tentang manajemen pemeliharaan berbasis risiko dan membandingkan pendekatan ini	Menggunakan pendekatan literatur review dalam menemukan pengelolaan fasilitas sekolah yang tepat. Hasil penelitian ini menjadi

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
					dengan sistem manajemen berbasis kondisi	pertimbangan dalam mengembangkan dan memvalidasi sistem Analisis Mode dan Efek Kegagalan (<i>Failure Modes and Effects Analysis/FMEA</i>) untuk analisis risiko manajemen pemeliharaan untuk fasilitas sekolah umum.
Mahanani et al. (2020)	<i>The effect of laboratory knowledge, teaching practice experience, and work motivation on laboratory management</i>	<i>Journal of Physics: Conference Series (Q4)</i>	Kompetensi Guru dalam Manajemen Laboratorium	Pengaruh ragam kompetensi guru SMK dalam pengelolaan laboratorium	Mendeskripsikan pengetahuan laboratorium, pengalaman mengajar, motivasi kerja dan manajemen laboratorium, untuk mengetahui pengaruh pengetahuan, pengalaman	Penelitian ini merupakan penelitian ex post facto dengan pendekatan korelasional yang melibatkan 36 sampel guru SMK di Yogyakarta. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
					mengajar, dan motivasi kerja terhadap manajemen laboratorium baik secara mandiri maupun kolektif, dan untuk mengetahui isi laboratorium, pengalaman mengajar, dan motivasi kerja ditinjau dari manajemen laboratorium yang diselenggarakan baik secara mandiri maupun kolektif.	antara pengetahuan laboratorium terhadap manajemen laboratorium.
Riswanto et al. (2019)	<i>School Laboratory Management Information</i>	<i>Journal of Physics: Conference Series (Q4)</i>	Sistem Informasi Laboratorium Kimia	Pengembangan sistem informasi manajemen laboratorium	Mengembangkan sistem manajemen laboratorium	Metode penelitian pengembangan yang diterapkan meliputi tahap analisis

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
	<i>System</i>			sekolah	sekolah revolusi industri 4.0	kebutuhan (implementasi), perancangan, pengembangan, dan implementasi. Analisis data menggunakan pendekatan kualitatif melalui dokumentasi, diskusi kelompok terfokus, dan kuesioner. Hasil dari penelitian ini adalah produk sistem manajemen laboratorium sekolah yang diakses secara daring, yang meliputi sistem inventaris daring, dokumen laboratorium daring, dan sistem administrasi daring.
Zhang et al. (2020)	<i>Risk assessment of gas leakage</i>	<i>International Journal of</i>	Asesmen dalam	Implementasi asesmen resiko	Melakukan penilaian secara	Penelitian ini merupakan bagian

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
	<i>from school laboratories based on the Bayesian network</i>	<i>Environmental Research and Public Health (Q2)</i>	Pengelolaan Laboratorium; Keselamatan Kerja di Laboratorium	terhadap kebocoran gas dari laboratorium sekolah menggunakan jaringan Bayesian	kuantitatif probabilitas dan konsekuensi kebocoran gas di laboratorium, dan mengidentifikasi kerentanan, yang membantu meningkatkan tingkat manajemen keselamatan gas di laboratorium sekolah dan mengurangi kemungkinan kebocoran gas yang mengancam keselamatan pribadi.	dari penelitian pengembangan model asesmen resiko yang menerapkan pendekatan kuantitatif. Model dikembangkan secara komprehensif berdasarkan jaringan Bayesian dibuat untuk penilaian proses evolusi kebocoran gas dan konsekuensinya di laboratorium sekolah. Model tersebut dapat mengevaluasi secara kuantitatif faktor-faktor yang memengaruhi probabilitas dan konsekuensi kebocoran gas.

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
Stricker et al. (2019)	<i>Measuring the safety climate of academic laboratories to improve safety behaviours</i>	<i>Chemical Engineering Transactions (Q3)</i>	Keselamatan Kerja di Laboratorium	Pengembangan instrumen survey keselamatan kerja	Mengembangkan instrumen CoSec (<i>The Safety Competence Center</i>) untuk membantu meningkatkan efisiensi dan kualitas aliran observasi dan informasi keselamatan antara koordinator keselamatan, petugas keselamatan, dan anggota laboratorium secara signifikan.	Penelitian ini bagian dari penelitian pengembangan instrumen. Dalam artikel disajikan informasi terkait hasil survey keselamatan kerja di laboratorium pendidikan menggunakan instrumen CoSec.
Ezeano, Alice; Ezeudu (2018)	<i>Application of Laboratory Management Skills by Chemistry</i>	<i>Journal of Education and Practice (Q3)</i>	Keterampilan dalam Manajemen Laboratorium Kimia	Keterampilan yang dibutuhkan guru kimia dalam pengelolaan laboratorium	Menyelidiki aspek LMS (<i>Laboratory Management Skills</i>) yang	Menerapkan desain dan pendekatan penelitian berbasis survey dengan menggunakan

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
	<i>Teachers in Enugu State</i>			kimia	paling banyak diterapkan oleh guru kimia dalam pengajaran kimia dan mengidentifikasi sejauh mana penerapannya.	instrumen kuesioner. Responden yang terlibat sebanyak 117 guru kimia. Penelitian ini merekomendasikan perlunya dilakukan pelatihan ulang secara rutin, lokakarya, dan seminar untuk memperoleh keterampilan dalam pengajaran dan pembelajaran kimia yang lebih efektif.
Viitaharju et al. (2021)	<i>Learning experiences from digital laboratory safety training</i>	<i>Education for Chemical Engineers (Q1)</i>	Keselamatan Kerja di Laboratorium; Pengajaran di Laboratorium Kimia Digital	Platform pelatihan keselamatan kerja di laboratorium berbasis digital (<i>web-based learnig</i>)	Mengembangkan AALTOLAB sebagai platform digital yang menjawab kebutuhan akan cara yang lebih fleksibel dan menarik dalam	Penelitian ini menerapkan metode penelitian pengembangan dimana produk media yang dikembangkan terdiri dari laboratorium virtual

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
					mengajarkan keselamatan laboratorium bagi teknisi kimia/laboran kimia	360° berbasis web yang interaktif, terintegrasi dengan ujian digital berbasis Moodle dengan penilaian otomatis. Platform modular ini menawarkan berbagai modul mulai dari pelatihan laboratorium umum yang komprehensif hingga modul yang lebih terspesialisasi. Siswa dan staf dapat dengan bebas menjelajahi ruang laboratorium kapan saja dan berinteraksi dengan berbagai titik tindakan termasuk video interaktif, tayangan slide, dan <i>game</i> mini.
Formella-	<i>Motivation and</i>	<i>Frontiers in</i>	Praktikum	Identifikasi	Menyelidiki	Penelitian ini

Author, Tahun	Judul Artikel	Journal (Quartil Scopus)	Relevansi Topik	Fokus Substansi Penelitian	Tujuan	Pendekatan/Metode
Zimmermann et al. (2022)	<i>Technology Acceptance in a Neuroscience Student Lab— An Empirical Comparison Between Virtual Experiments With and Without Hands-on Elements</i>	<i>Education (Q2)</i>	Kimia Virtual	motivasi belajar peserta didik terhadap penggunaan laboratorium yang terintegrasi teknologi digital	pengaruh pengaturan elektrofisiologis untuk eksperimen virtual dengan dan tanpa elemen praktik langsung terhadap motivasi peserta dan penerimaan teknologi.	merupakan bagian dari penelitian pengembangan yang telah mengembangkan tools laboratorium virtual. Fokus penelitian ini adalah mencari tahu respons dan motivasi peserta didik dalam penggunaan laboratorium virtual yaitu mengintegrasikan praktikum secara langsung dengan praktikum maya (virtual). Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan survey kepada 235 peserta didik.

Topik terkait inventarisasi peralatan dan pengelolaan sistem informasi laboratorium di sekolah masih jarang ditemukan dalam database Scopus, meskipun beberapa dokumen serupa ada di *Google Scholar*, *CrossRef*, dan jurnal nasional non-Scopus. Selain itu, artikel relevan juga ditemukan dalam prosiding. Oleh karena itu, dilakukan analisis secara manual terhadap artikel dan prosiding tersebut untuk mengeksplorasi kesenjangan penelitian terutama dalam konteks pengembangan sistem informasi laboratorium kimia di sekolah Indonesia.

Tabel 1.5. Analisis Relevansi Topik Pengembangan Sistem Informasi Laboratorium Sekolah di Indonesia

Author, Tahun	Judul	Relevansi Topik	Pendekatan/Metode	Catatan/ Rekomendasi
Suryadi et al. (2017)	Pengembangan Sistem Informasi Pengelolaan Laboratorium di Sekolah Menengah Kejuruan	Pengembangan sistem informasi pengelolaan laboratorium di SMK	Menerapkan metode R&D dengan model pengembangan sistem prototipe. Tahapan mencakup: tahapan analisis kebutuhan, perancangan prototipe, evaluasi prototipe, dan produk akhir.	Penelitian ini didukung dengan hasil uji kevalidan dan keefektifan system menggunakan 33 responden (siswa) dan 4 validator ahli.
Suseno (2018)	Sistem Pengelolaan Laboratorium Sekolah Era Revolusi Industri 4.0	Sistem pengelolaan laboratorium sekolah yang dikembangkan berbasis website	Penelitian ini menerapkan metode penelitian pengembangan (R&D) yang berfokus pada tahapan analisis kebutuhan, pembuatan desain, pengembangan produk, penerapan produk, dan evaluasi produk.	Produk pengelolaan laboratorium yang dikembangkan berupa website yang berisi konten manajemen menu utama dan profil pengelola, manajemen SOP Laboratorium, manajemen panduan praktikum, manajemen inventaris alat/bahan/barang, manajemen virtual, manajemen jadwal dan manajemen pendidikan.
Fushshilat et al. (2018)	Laboratory management: Digital laboratory information system (DLIS)	Konsep pengembangan sistem informasi laboratorium berbasis digital	Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian pengembangan (R&D) yang mengulas detail konsep pengembangan	DLIS merupakan software yang berfokus pada manajemen database terkait logbook, inventarisasi, peminjaman, dan status informasi item/data

Author, Tahun	Judul	Relevansi Topik	Pendekatan/Metode	Catatan/ Rekomendasi
	concept		produk DLIS. Konsep DLIS yang dijelaskan mengintegrasikan sistem IoT (<i>Internet of Things</i>).	peminjaman. Konsep DLIS membuat data lebih fleksibel terhadap perubahan, memudahkan dalam melakukan update dan upgrade data. DLIS memungkinkan akses dari luar laboratorium dengan menggunakan metode IoT, sehingga pengguna dapat mengakses data laboratorium tanpa terkendala jarak dan waktu.
Mukti & Arikunto (2020)	Laboratory Management of Science in Improving Student Achievements in SMA Lubuklinggau	Manajemen laboratorium IPA di SMA Lubuklinggau	Penelitian ini menerapkan penelitian kualitatif untuk mengetahui seberapa besar laboratorium mendukung proses belajar mengajar dalam mencapai tujuan pembelajaran, dalam upaya meningkatkan prestasi belajar peserta didik semakin meningkat.	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa: (1) Sarana Prasarana Laboratorium IPA yang lengkap mampu memberikan proyeksi kepada peserta didik dalam pembelajaran IPA, (2) Dapat dilihat dengan pengelolaan laboratorium IPA yang memenuhi standar sehingga mengakibatkan nilai ujian meningkat, (3) Pengelolaan laboratorium yang sesuai standar mencerminkan sekolah yang bermutu.
Lasia (2017)	Development of Laboratory Management Based on Local Bali Wisdom to Improve the Quality of Services in Laboratory	Pengembangan manajemen laboratorium di SMA Bali untuk meningkatkan kualitas layanan laboratorium	Penelitian ini adalah penelitian pengembangan (R&D) yang mengembangkan konsep model manajemen laboratorium berbasis kearifan lokal Bali untuk meningkatkan kualitas layanan laboratorium. Model manajemen yang	Model manajemen laboratorium yang dikembangkan memiliki keunikan yang mengintegrasikan sistem kearifan lokal yang berlaku di kehidupan sosial Bali dalam praktik dan pengelolaan laboratorium. Namun penelitian ini kurang mengungkapkan bagian dari kelokalan yang dimaksud

Author, Tahun	Judul	Relevansi Topik	Pendekatan/Metode	Catatan/ Rekomendasi
			dikembangkan berfokus pada perencanaan, penerapan, pemeliharaan, evaluasi, dan pengembangan kearifan lokal bali.	secara eksplisit. Rekomendasi yang baik dalam penelitian ini adalah bahwa model manajemen laboratorium yang dikembangkan tetap mengacu pada fungsi manajemen yaitu perencanaan, pelaksanaan, pemeliharaan, dan evaluasi.
Evana et al. (2021)	The management of science laboratory at senior high school in digital era	Pengelolaan laboratorium berbasis digital di SMA	Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui dan mendeskripsikan manajemen laboratorium IPA di SMA Negeri 4 Ogan Komerung Ulu. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif yaitu suatu pendekatan dengan proses pengumpulan data dan informasi yang mendalam, terperinci dan sistematis agar dapat memahami objek kajian penelitian.	Temuan dalam penelitian menjadi rekomendasi untuk penelitian di masa depan. Bahwa manajemen laboratorium IPA di SMA Negeri 4 Ogan Komerung Ulu sudah cukup baik dan mendukung pembelajaran IPA. Hal ini terlihat dari perencanaan laboratorium yang sudah terlaksana secara optimal meskipun masih banyak keterbatasan yang dihadapi, anggaran untuk laboratorium tersedia meskipun belum sepenuhnya mencukupi, alat dan bahan yang ada di laboratorium sudah cukup lengkap dan sudah melakukan inovasi penggunaan laboratorium virtual dalam pembelajaran IPA yang terhubung melalui jaringan internet.
Qurrotul et al. (2022)	Management of Utilization of Chemistry Laboratory Based on Instructional Group Classroom to	Pengelolaan peralatan laboratorium kimia	Penelitian ini merupakan bagian dari penerapan penelitian pengembangan dimana pada penelitian ini fokus menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif untuk	Tingkat kelayakan buku panduan rekayasa manajemen laboratorium berbasis IGC ditentukan melalui 6 kegiatan penilaian produk yaitu dari hasil penilaian ahli materi, ahli media, peer reviewer, guru kimia, petugas

Author, Tahun	Judul	Relevansi Topik	Pendekatan/Metode	Catatan/ Rekomendasi
	Support the Learning Process		menjelaskan manajemen pemanfaatan laboratorium kimia berbasis IGC dan model 4D dalam menganalisis kelayakan buku pedoman pengelolaan laboratorium kimia berbasis IGC untuk mendukung proses pembelajaran.	laboratorium, dan respons siswa. Berdasarkan hasil penilaian dapat disimpulkan bahwa buku panduan rekayasa manajemen laboratorium berbasis IGC layak dan layak digunakan sebagai media penunjang proses belajar siswa.
Febri Setiya Rini et al. (2024)	Analysis of Science Laboratory Management to Support Science Learning: A Systematic Review	Kajian literatur mengenai pengelolaan laboratorium IPA	Penelitian ini menerapkan pendekatan sistematika literatur review dalam menentukan arah penelitian manajemen laboratorium di sekolah. Penelitian ini mengumpulkan dan mengkaji beberapa penelitian terkait manajemen laboratorium yang dilakukan di Indonesia.	Sebanyak 60 artikel yang berasal dari Google Scholar dengan rentang publikasi tahun 2018 sampai dengan tahun 2023 yang kemudian difilter kembali dan diperoleh sampel sebanyak 18 artikel untuk dianalisis lebih lanjut. Berdasarkan hasil analisis review, pengelolaan laboratorium di beberapa sekolah memiliki faktor penghambat seperti belum tersedianya tenaga laboratorium dan teknisi, ruang laboratorium multifungsi, alokasi waktu penggunaan laboratorium, dan minimnya sarana prasarana di laboratorium IPA. Dari 18 artikel yang dianalisa, hanya terdapat 1 artikel yang membahas penerapan teknologi dalam pengelolaan laboratorium.

Berdasarkan analisis Tabel 1.5, pengembangan sistem informasi laboratorium kimia di tingkat sekolah di Indonesia masih sangat terbatas. Kondisi ini menunjukkan

adanya kesenjangan penelitian sekaligus menguatkan urgensi pengembangan sistem informasi laboratorium kimia sekolah sebagai bidang kebaruan yang penting untuk dikaji. Berbagai studi menunjukkan bahwa penerapan sistem informasi manajemen laboratorium efektif meningkatkan tata kelola laboratorium. Misalnya, Elzagheid (2023) mengembangkan sistem manajemen informasi di laboratorium teknik untuk meningkatkan pengalaman teknisi; Boyar et al. (2021) mengeksplorasi LIMS untuk meningkatkan produktivitas dan mengurangi kesalahan di laboratorium cannabis; Richards-Babb et al. (2010) meneliti manajemen keselamatan laboratorium sekolah; Viitaharju et al. (2021) mengembangkan pelatihan keselamatan laboratorium digital; dan Hidayat et al. (2020) mengintegrasikan sistem informasi laboratorium untuk registrasi, penjadwalan, dan penilaian mahasiswa.

Untuk meningkatkan pengelolaan laboratorium kimia sekolah di Indonesia secara menyeluruh, diperlukan integrasi platform digital berbasis web yang tidak hanya fokus pada administrasi dan keselamatan kerja, tetapi juga pada peningkatan kompetensi staf laboratorium dan kualitas pembelajaran praktikum. Oleh karena itu, pengembangan model CHEMLIS berbasis website yang mencakup inventarisasi, panduan keselamatan, kelas kimia daring, dan latihan/asah keterampilan mandiri merupakan inovasi yang memiliki nilai kebaruan dalam konteks manajemen sarana dan prasarana pendidikan.

G. Roadmap Penelitian

Penelitian ini memiliki *roadmap* yang menggambarkan kesinambungan dan perkembangan sistematis dari studi-studi sebelumnya. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.14, peta jalan penelitian ini mencerminkan upaya berkelanjutan dalam mengembangkan sistem informasi laboratorium berbasis digital. Jika penelitian-penelitian terdahulu banyak berfokus pada pengembangan sistem informasi untuk laboratorium penelitian, laboratorium medis, maupun laboratorium pendidikan di tingkat perguruan tinggi, maka penelitian ini secara khusus diarahkan pada pengembangan dan implementasi sistem informasi laboratorium yang difokuskan pada laboratorium kimia di jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA), terutama di wilayah Kota Jakarta.

TAHUN	2022 - 2023	2024	2025	2026 - 2027	2028 - 2029
TOPIK	Eksplorasi dan Analisis Kebutuhan	Pengembangan Model Konseptual dan Prototipe Awal	Uji Kelayakan dan Efektivitas Model	Implementasi Luas dan Evaluasi Dampak	Pengembangan Lanjutan & Ekspansi
TUJUAN	Mengidentifikasi permasalahan dan kebutuhan aktual, serta merumuskan dasar konseptual model CHEMLIS	Mendesain dan mengembangkan prototipe sistem berdasarkan model konseptual CHEMLIS.	Menguji kepraktisan, validitas, dan efektivitas awal dari sistem CHEMLIS.	Mengimplementasikan sistem secara lebih luas dan mengevaluasi dampaknya pada pengelolaan laboratorium kimia dan pembelajaran.	Mengembangkan sistem lebih lanjut dengan integrasi teknologi terkini dan memperluas penggunaannya.
KEGIATAN	<ul style="list-style-type: none"> Studi literatur dan benchmarking sistem informasi laboratorium. Survei dan wawancara mendalam dengan guru, teknisi, dan kepala laboratorium. Identifikasi kompetensi digital dan pedagogik guru. Penyusunan model konseptual awal. 	<ul style="list-style-type: none"> Perumusan struktur dan arsitektur sistem. Desain UI/UX antarmuka web aplikasi Chemidia. Pengembangan prototipe awal berbasis web. Validasi isi oleh pakar (media, materi, dan desain). 	<ul style="list-style-type: none"> Uji coba terbatas di beberapa sekolah. Pengumpulan data kepraktisan dan persepsi pengguna. Revisi sistem berdasarkan umpan balik. Evaluasi awal efektivitas terhadap proses pengelolaan laboratorium. 	<ul style="list-style-type: none"> Sosialisasi dan pelatihan di beberapa sekolah pilot. Implementasi penuh di beberapa wilayah. Evaluasi peningkatan efektivitas pengelolaan laboratorium dan pembelajaran praktikum. Penyesuaian sistem berbasis masukan pengguna. 	<ul style="list-style-type: none"> Pengembangan fitur lanjutan (IoT monitoring alat/bahan, dashboard analitik, mobile version). Kolaborasi dengan pemerintah daerah dan institusi pendidikan tinggi. Strategi keberlanjutan dan hilirisasi model ke skala nasional. Pengujian operasional berskala besar.
LUARAN	<ul style="list-style-type: none"> Peta kebutuhan pengguna dan tantangan pengelolaan laboratorium kimia. Draft awal model konseptual CHEMLIS. 	<ul style="list-style-type: none"> Model konseptual CHEMLIS. Prototipe aplikasi Chemidia versi awal. Hasil validasi ahli (konten, media, dan teknologi). 	<ul style="list-style-type: none"> Model final CHEMLIS versi validasi. Artikel ilmiah hasil uji kepraktisan dan efektivitas awal. Draft manual penggunaan sistem. Pengajuan hak cipta sistem 	<ul style="list-style-type: none"> Laporan dampak implementasi sistem/ bukti peningkatan kualitas pengelolaan laboratorium. Kebijakan internal sekolah berbasis CHEMLIS. Publikasi ilmiah dan pengembangan modul pelatihan. 	<ul style="list-style-type: none"> Sistem CHEMLIS versi lanjutan. Model bisnis sosial untuk keberlanjutan sistem. Peningkatan daya saing global pengelolaan lab kimia digital.
TKT	1-2	2-3	3-4	5-6	7-8

Gambar 1.14. Roadmap Penelitian Model CHEMLIS

