

BAB I

PENDAHULUAN

Bab I menyajikan latar belakang penelitian yang menjelaskan kondisi dan permasalahan yang melatarbelakangi penelitian serta *state of the art* yang menunjukkan kebaruan penelitian. Di samping itu, bagian ini juga memuat rumusan masalah dan pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, definisi operasional serta sistematika penulisan disertasi.

1.1 Latar Belakang

Berkembangnya industri di satu sisi dapat meningkatkan kemakmuran masyarakat, namun di sisi lain memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Akumulasi limbah berupa bahan berbahaya dan bersifat toksik merupakan dampak sampingan yang tidak dapat dihindari (Patnaik, 2018). Hasil penelitian menunjukkan bahwa praktik-praktik industri dan pertambangan memiliki dampak besar pada kesehatan manusia dan lingkungan (Wang *et al.*, 2017; Prach & Tolvanen, 2016). Situasi ini mengakibatkan masalah sosial-ekologis yang kompleks.

Salah satu bentuk polutan lingkungan adalah logam berat yang berasal dari aktivitas pertambangan, peleburan logam, pembuatan senyawa sintetis, dan penyamakan kulit (Kapoor & Singh, 2021; Su *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2019). Berbagai aktivitas ini menyebabkan peningkatan eksponensial dalam jumlah logam berat dilepaskan ke atmosfer, air, dan tanah (Hoque *et al.*, 2018). Bekas pertambangan bauksit merupakan satu contoh aktivitas manusia yang menyisakan logam berat pencemar pada tanah dan perairan yang terdapat di berbagai negara termasuk di Indonesia. Tanah tambang bauksit yang terakumulasi memiliki banyak kandungan logam berat seperti Cr, Cd, Zn, dan Pb, yang dapat menyebabkan pencemaran tanah dan air yang parah ke lahan pertanian dan reservoir air terdekat (Narayanan *et al.*, 2021).

Trisna Amelia, 2025

**PENGEMBANGAN PROGRAM PRAKTIKUM MIKROBIOLOGI EKSPLORASI BAKTERI POTENSIAL
BIOREMEDIASI LOGAM BERAT UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN RISET DAN BERPIKIR
REFLEKTIF MAHASISWA**

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Residu bauksit memiliki karakteristik fisikokimia yaitu, alkalinitas tinggi, salinitas tinggi, kandungan logam tinggi (Macías-Pérez *et al.*, 2022). Kandungan logam berat dari residu bauksit dapat menjadi sangat tinggi toksisitasnya jika bercampur dengan elemen lingkungan yang berbeda, seperti air, tanah, dan udara. Paparan logam berat kepada sistem fisiologis makhluk hidup yang masuk melalui rantai makanan dapat menjadi toksik yang menyebabkan kematian bagi makhluk hidup (Mitra *et al.*, 2022; Pratiwi, 2020).

Salah satu tujuan *Sustainable Development Goals (SDGs)* yang dirumuskan oleh PBB adalah bahwa pembangunan berkelanjutan hendaknya memperhatikan upaya-upaya memulihkan degradasi lahan (dalam *SDGs* ke 15). Sejalan dengan program ini, lingkungan terestrial perlu diperhatikan sehingga terhindar dari pencemaran, atau berkurang dampak pencemaran yang ada pada lingkungan darat (UN, 2016). Demikian juga halnya dengan lingkungan yang tercemar logam berat, maka perlu dilakukan upaya-upaya yang dapat mengurangi dampak pencemaran sehingga daya dukung lingkungan dan fungsi alaminya dapat dikembalikan.

Berkaitan dengan masalah pencemaran lingkungan oleh logam berat, sebenarnya terdapat jenis mikroorganisme yang teradaptasi pada lingkungan tersebut. Salah satunya adalah kelompok bakteri *indigenous* (bakteri asli) yang teradaptasi di lingkungan alkali. Kelompok bakteri ini mampu bertahan hidup pada lingkungan pH tinggi (di atas 8). Bakteri berpotensi sebagai alternatif yang dapat mengurangi residu alkali karena kemampuannya untuk mengurangi alkalinitas secara metabolik. Kelompok bakteri ini toleran terhadap konsentrasi ion dan logam yang tinggi serta ketersediaan karbon dan nutrisi organik yang rendah, contohnya adalah *Bacillus cohnii*, *Bacillus pseudofirmus*, dan *Bacillus clarkii* (Nogueira *et al.*, 2017).

Interaksi mikroorganisme dengan logam berat dan pemanfaatannya untuk menghilangkan logam berat dari area yang terkontaminasi merupakan proses yang unik. Logam berat adalah unsur alami yang tidak dapat didegradasi dan dimetabolisme. Sebagai gantinya, mikroorganisme memiliki strategi

Trisna Amelia, 2025

PENGEMBANGAN PROGRAM PRAKTIKUM MIKROBIOLOGI EKSPLORASI BAKTERI POTENSIAL BIOREMEDIASI LOGAM BERAT UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN RISET DAN BERPIKIR REFLEKTIF MAHASISWA

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

penanggulangan untuk mengubah unsur tersebut menjadi bentuk yang kurang berbahaya atau mengikat logam secara intra atau ekstraselular, sehingga mencegah adanya interaksi berbahaya pada sel hidup lainnya (Jekti, 2018; Xu *et al.*, 2020).

Mikroorganisme telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang, termasuk dalam pengelolaan lingkungan yaitu sebagai pembersih air, pengurai sampah, pengurai minyak di laut, pengurai detergen, pengurai plastik, pengurai logam berat, dan pengurai pestisida. Pembelajaran mengenai peran mikroorganisme sudah dilakukan bahkan dari tingkat SMP dan SMA (Lecky *et al.*, 2011). Pada tingkat perguruan tinggi, perkuliahan mikrobiologi mengkaji peran mikroorganisme di bidang pertanian, lingkungan, medis, dan pangan (Kusnadi *et al.*, 2012). Di beberapa perguruan tinggi aktivitas mengkarakterisasi komunitas mikroorganisme sudah menggunakan pendekatan analisis molekuler (Park *et al.*, 2021). Namun, berdasarkan analisis terhadap berbagai publikasi ilmiah, pembelajaran mikrobiologi baik pada sekolah menengah maupun perguruan tinggi masih sedikit mengangkat isu potensi mikroorganisme dalam memulihkan lingkungan dari pencemar seperti logam berat.

Pendidikan memegang peranan penting dalam pemulihan lingkungan dan optimasi pemanfaatan agen bioremediasi untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan. Sangat penting menyebarkan pengetahuan, pemahaman, dan keterampilan kepada mahasiswa tentang bioremediasi lingkungan (Lull, *et al.*, 2022). Bagi mahasiswa pendidikan biologi, eksplorasi mengenai peran mikroorganisme dalam mengurangi dampak pencemaran logam berat dapat dilakukan melalui praktikum mikrobiologi. Mikrobiologi merupakan salah satu mata kuliah wajib pada Program Studi Pendidikan Biologi. Perkuliahan ini membahas mengenai mikroorganisme, karakteristik hidupnya, perannya serta aktivitas laboratorium untuk mempelajari mikroorganisme itu. Aspek-aspek hidup mikroorganisme yang terdiri dari kelompok non seluler (virus), *eubacteria*, *archaebacteria*, protista, jamur dan alga mikroskopis, serta peranannya dalam kehidupan, merupakan konsep esensial di dalam mikrobiologi. Selain itu,

Trisna Amelia, 2025

PENGEMBANGAN PROGRAM PRAKTIKUM MIKROBIOLOGI EKSPLORASI BAKTERI POTENSIAL BIOREMEDIASI LOGAM BERAT UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN RISET DAN BERPIKIR REFLEKTIF MAHASISWA

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

pengetahuan prosedural dan keterampilan laboratorium tentang teknik inkubasi, isolasi, identifikasi, enumerasi, dan kultivasi mikroorganisme juga terintegrasi di dalam mata kuliah mikrobiologi.

Inovasi praktikum mikrobiologi diperlukan untuk memfasilitasi eksplorasi mikroorganisme yang berpotensi dalam bioremediasi logam berat pada lahan bekas pertambangan. Rancangan praktikum mikrobiologi yang mendorong aktivitas riset serta inkuiri dapat berperan dalam memberikan wadah eksplorasi potensi bakteri sebagai agen bioremediasi logam berat. Di samping itu, aktivitas praktikum inovatif juga bisa mendorong pengembangan keterampilan-keterampilan baru yang sangat diperlukan dalam kehidupan di abad ke-21. Keterampilan riset, keterampilan laboratorium spesifik, serta keterampilan berpikir tingkat tinggi dapat berkembang melalui inovasi praktikum.

Keterampilan riset merupakan salah satu kompetensi penting yang harus dikuasai oleh lulusan pendidikan tinggi (Ain *et al.*, 2019; Salmento *et al.*, 2021). Pengembangan keterampilan riset mahasiswa terkait erat dengan keterampilan pemecahan masalah di dunia kerja (Willison, 2018; Jacobsen *et al.*, 2018). Keterampilan riset dapat mengaktifkan pemikiran mahasiswa serta keterampilan terkait yang melibatkan komunikasi, kerja tim, penyelidikan, kesadaran emosional, dan pemikiran analitis (Willison & O'Regan, 2006; Maddens *et al.*, 2021). Keterampilan riset menjadi komponen penting untuk melatih individu sehingga mampu mengembangkan dan menerapkan teknologi. Keterampilan riset membantu dalam pencarian pengetahuan secara mandiri, mempraktikkan metode penelitian, belajar lebih banyak dengan teknik inovatif dan memahami cara menganalisis berbagai informasi (Bazhenov, 2019; Feldon, 2016; Webb, Smith, & Worsfold, 2011).

Proses riset pada dasarnya adalah pencarian terfokus untuk penemuan, penciptaan dan artikulasi pengetahuan dan ide. Bagi peneliti profesional, riset adalah sebuah kontinum mulai dari menghasilkan ide melalui kerja terstruktur dan terfokus hingga penyelesaian masalah. Bagi mahasiswa, riset dapat dilakukan pada

Trisna Amelia, 2025

PENGEMBANGAN PROGRAM PRAKTIKUM MIKROBIOLOGI EKSPLORASI BAKTERI POTENSIAL BIOREMEDIASI LOGAM BERAT UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN RISET DAN BERPIKIR REFLEKTIF MAHASISWA

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

semua tahap belajar mereka, termasuk dengan mengajukan pertanyaan awal untuk tugas akhir atau proyek. Penelitian bagi mahasiswa merupakan proses bertahap. Hal ini dapat dijelaskan mulai dari keterlibatan dengan pertanyaan tertutup, hingga pertanyaan terbuka yang melibatkan otonomi tingkat tinggi. Proses berkesinambungan mencakup apa yang diselidiki, bagaimana penelitian dilakukan, data yang dihasilkan, temuan yang diperoleh, dan penulisan laporan (Wisker, 2018). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa keterampilan riset adalah salah satu unsur utama berpikir ilmiah (Salmento *et al.*, 2021).

Keterampilan riset sangat penting bagi mahasiswa (Sukri *et al.*, 2023). Mahasiswa yang menguasai keterampilan riset lebih mampu mengeksplorasi situasi yang selalu berubah, secara aktif dan sadar berpartisipasi di dalamnya dan memprediksi perubahan tren. Keterampilan riset juga membantu mahasiswa calon guru mengorganisasi penelitian di bidang pendidikan, menggunakan metode pembelajaran yang berbeda, secara kreatif menerapkan hasil penelitian, lebih mampu mengorganisasi kegiatan ilmiah peserta didik, dan lebih berhasil dalam menciptakan atmosfer ilmiah dalam pembelajaran (Lamanauskas & Augiene, 2017).

Membekali keterampilan riset bagi mahasiswa penting dilakukan dalam pembelajaran di perguruan tinggi (Aripin *et al.*, 2021). Pengembangan kegiatan riset ilmiah selama studi di universitas merupakan hal penting yang masih membutuhkan perhatian serius (Lamanauskas & Augiene, 2017). Pendidikan tinggi harus lebih berperan untuk melatih keterampilan riset mahasiswa. Mahasiswa hendaknya tidak hanya menjadi subjek di dalam bidang pendidikan, namun juga bisa menjadi subjek yang proaktif dalam aktivitas penelitian.

Hasil studi lapangan yang dilakukan terhadap sejumlah alumni Program Studi Pendidikan Biologi pada suatu universitas di Provinsi Kepulauan Riau menunjukkan bahwa keterampilan riset sangat bermanfaat bagi alumni dalam menjalankan tugas profesinya (Amelia *et al.*, 2023b). Fakta menarik di lapangan, alumni program studi ini tidak hanya berpeluang menjadi guru biologi, namun juga

Trisna Amelia, 2025

PENGEMBANGAN PROGRAM PRAKTIKUM MIKROBIOLOGI EKSPLORASI BAKTERI POTENSIAL BIOREMEDIASI LOGAM BERAT UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN RISET DAN BERPIKIR REFLEKTIF MAHASISWA

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

berpeluang besar sebagai peneliti pada laboratorium perusahaan. Keterampilan riset sangat berdampak di lingkungan profesional serta sangat dihargai oleh kolega dan pimpinan alumni. Sebagian besar alumni menyatakan bahwa pembekalan keterampilan riset di perguruan tinggi masih terbatas kepada aktivitas menyelesaikan skripsi serta beberapa mata kuliah yang relevan. Dalam mata kuliah lain, masih sangat kurang aktivitas belajar yang mengarah kepada pembekalan keterampilan riset (Amelia *et al.*, 2023b).

Selanjutnya, berdasarkan observasi awal pada program studi Pendidikan Biologi salah satu universitas di provinsi Kepulauan Riau diketahui bahwa mahasiswa belum banyak terlibat dalam aktivitas penelitian, baik dalam kegiatan perkuliahan maupun terlibat dalam penelitian dosen (Amelia *et al.*, 2023b). Kondisi yang sama juga ditunjukkan oleh hasil studi sebelumnya bahwa mahasiswa di perguruan tinggi kurang dipersiapkan dalam keterampilan riset, literasi informasi dan keterampilan kuantitatif. Hal ini menyebabkan mahasiswa kurang memiliki pengalaman penelitian langsung dan berdampak kepada lemahnya keterampilan penelitian ilmiah. Penelitian lain mengungkapkan keterampilan riset mahasiswa khususnya pada domain menguasai isu riset, metode riset, dan manajemen riset masih lemah (Aripin *et al.*, 2021).

Di samping keterampilan riset, proses inkuiri juga melibatkan keterampilan reflektif sebagai salah satu aspek penting. Berpikir reflektif merupakan bagian dari keterampilan metakognitif yang sangat berpengaruh secara positif terhadap proses inkuiri. Berpikir reflektif melibatkan kesadaran diri, analisis pengalaman, evaluasi dan perencanaan terhadap tindakan perbaikan. Pemikiran reflektif membantu individu mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi dengan mendorong peserta didik untuk: (a) menghubungkan pengetahuan baru dengan pemahaman sebelumnya, (b) berpikir secara abstrak dan konseptual, (c) menerapkan strategi khusus dalam tugas-tugas baru, dan (d) memahami pemikiran dan strategi belajar mereka sendiri (Choy *et al.*, 2017; Kurt, 2018; Rosmiati *et al.*, 2020).

Refleksi sangat penting bagi mahasiswa sebagai proses memperdalam pembelajaran (Kurt, 2018). Sepanjang proses merefleksi, mahasiswa berpikir dan memahami apa yang telah dipelajari dan mengapa itu harus dipelajari. Mahasiswa memperoleh pengalaman baru secara konstan dan ketika mereka merefleksi, mereka melihat ke belakang dan menarik hubungan dari satu pengalaman ke pengalaman berikutnya dengan memahami keterkaitan satu sama lain (Abdul Rabu & Badlishah, 2020). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pemikiran reflektif dapat membantu mahasiswa dalam meningkatkan performa akademiknya (Tsingos-Lucas *et al.*, 2017; Satjatam *et al.*, 2016). Keterampilan merefleksi berkaitan dengan kemampuan untuk meningkatkan cara belajar dari pengetahuan dan pengalaman sebelumnya kepada peningkatan dalam praktik belajar di masa yang akan datang.

Refleksi memungkinkan mahasiswa untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis yang penting untuk pengambilan keputusan. Refleksi mendorong mahasiswa untuk mengendalikan kebutuhan belajar mereka sendiri, memfasilitasi pengembangan profesional mereka, pemecahan masalah, dan pembelajaran sepanjang hayat. Ini adalah proses yang memungkinkan individu untuk meninjau kembali dan menganalisis pengalaman mereka untuk pemahaman yang lebih baik dan pada akhirnya untuk meningkatkan praktik (Han *et al.*, 2014). Hasil penelitian juga membuktikan bahwa pemikiran reflektif membantu peserta didik meningkatkan keterampilan proses sains (Veal *et al.*, 2009).

Penelitian yang dilakukan oleh Shavit & Moshe (2019) menjelaskan bahwa keterampilan berpikir reflektif memberikan kontribusi terhadap pengembangan profesionalitas dari aspek personal, emosional dan teknis. Keterampilan berpikir reflektif membantu untuk menilai dan melakukan perbaikan terhadap performanya serta faktor-faktor yang mempengaruhinya. Dalam melaksanakan tugas sebagai pendidik, guru juga perlu mendorong pemikiran reflektif pada peserta didiknya. Hasil penelitian Chen *et al.* (2019) menjelaskan bahwa pemikiran reflektif dapat

meningkatkan keterlibatan peserta didik yang pada akhirnya akan meningkatkan prestasi/ hasil belajar.

Studi pendahuluan yang dilakukan di sebuah universitas negeri di Bandung menunjukkan bahwa dalam kegiatan praktikum mikrobiologi, proses kognitif belum didominasi oleh pemikiran reflektif. Mengacu kepada penilaian pemikiran reflektif sebagai bagian dari indikator fase kognitif (Redmond, 2014), diketahui bahwa mahasiswa sudah mampu mengenali konteks masalah dalam proses praktikum. Mahasiswa juga menunjukkan kemampuan untuk memberikan penjelasan mengenai prosedur praktikum, walaupun belum disertai dengan kemampuan yang sistematis untuk mempertahankan logika. Namun, kemampuan refleksi dalam melakukan praktikum cenderung masih sangat kurang. Secara terperinci hasil studi pendahuluan berkaitan dengan kemunculan keterampilan reflektif dalam praktikum mikrobiologi diuraikan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1
Fase kognitif dalam praktikum mikrobiologi (Amelia *et al.*, 2024)

No.	Fase <i>Cognitive Presence</i>	Indikator	Persentase kemunculan (%)
1	<i>Triggering Event</i>	<i>Recognize problem</i>	49,30
2	<i>Exploration</i>	<i>Brainstorming</i>	32,40
3	<i>Integration</i>	<i>Connecting ideas, synthesis</i>	12,20
4	<i>Resolution/ Reflection</i>	<i>Vicarious or real-world application of solutions/ideas</i>	6,10

Melihat hasil studi pendahuluan, diketahui bahwa keterampilan riset dan berpikir reflektif perlu dilatih. Beberapa pakar mengemukakan bahwa melatih dan membekali mahasiswa dengan keterampilan riset dan berpikir reflektif pada level perguruan tinggi perlu dimulai dengan memodernisasi sistem pendidikan tinggi dan mengimplementasikan model pembelajaran yang inovatif. Pendidikan di universitas memberikan peluang sangat besar dalam pembekalan keterampilan riset dan berpikir reflektif (Adadan & Oner, 2018; Shavit & Moshe, 2019).

Dalam rumusan kurikulum Pendidikan Biologi, dua di antara beberapa *learning outcomes* dalam mata kuliah mikrobiologi adalah mampu mengevaluasi

Trisna Amelia, 2025

PENGEMBANGAN PROGRAM PRAKTIKUM MIKROBIOLOGI EKSPLORASI BAKTERI POTENSIAL BIOREMEDIASI LOGAM BERAT UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN RISET DAN BERPIKIR REFLEKTIF MAHASISWA

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

implikasi perkembangan keilmuan dan teknologi terhadap kemaslahatan peradaban manusia; dan menerapkan pemikiran logis, sistematis dan inovatif dalam pengembangan dan implementasi ilmu (Nevrita *et al.*, 2021). *Learning outcomes* ini sejalan dengan karakteristik dengan pengembangan keterampilan riset dan berpikir reflektif yang dapat membekali keterampilan berpikir tingkat tinggi serta keterampilan mengaplikasikan keilmuan dalam kehidupan nyata. Di samping itu, juga sangat penting diberikan pengalaman belajar inkuiri untuk mendalami konten biologi sebagai bagian dari sains. Kegiatan praktikum menjadi penciri khas dalam mengajarkan subjek biologi.

Berkaitan dengan metode praktikum, studi sebelumnya menjelaskan bahwa semakin tinggi level penyelidikan di laboratorium, akan meningkatkan keterampilan prosedural, pemikiran reflektif, dan metakognitif (Xu & Talanquer, 2013). Proses inkuiri dalam praktikum memberikan kontribusi positif terhadap sikap ilmiah dan keterampilan riset mahasiswa (Kusnadi *et al.*, 2017). Kegiatan praktikum juga memberi kesempatan mahasiswa dalam melakukan penyelidikan sehingga memperluas peluang berkembangnya keterampilan riset dan pemikiran reflektif. Berdasarkan hasil studi ini, maka perlu ada strategi perkuliahan khususnya dalam praktikum yang sesuai untuk mengoptimalkan pemikiran reflektif mahasiswa.

Kenyataannya, studi sebelumnya menjelaskan bahwa kegiatan praktikum perlu terus dikembangkan dengan inovasi yang relevan. Argumen ini berkaitan dengan hasil studi bahwa mahasiswa masih mengalami kesulitan untuk mengaitkan pengetahuan konseptual dengan keterampilan eksperimental (Gkioka, 2019). Dalam mengembangkan inovasi praktikum, perlu diperhatikan masalah-masalah global yang menjadi tantangan. Muatan materi praktikum yang relevan dan kontekstual diperlukan untuk mendorong kegiatan penelitian. Kegiatan penelitian memberikan manfaat bagi mahasiswa yaitu: memaparkan mahasiswa dalam nilai, praktik, dan etika disiplin; memastikan muatan perkuliahan mencakup temuan penelitian mutakhir; meningkatkan pemahaman tentang bagaimana disiplin ilmu

Trisna Amelia, 2025

PENGEMBANGAN PROGRAM PRAKTIKUM MIKROBIOLOGI EKSPLORASI BAKTERI POTENSIAL BIOREMEDIASI LOGAM BERAT UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN RISET DAN BERPIKIR REFLEKTIF MAHASISWA

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

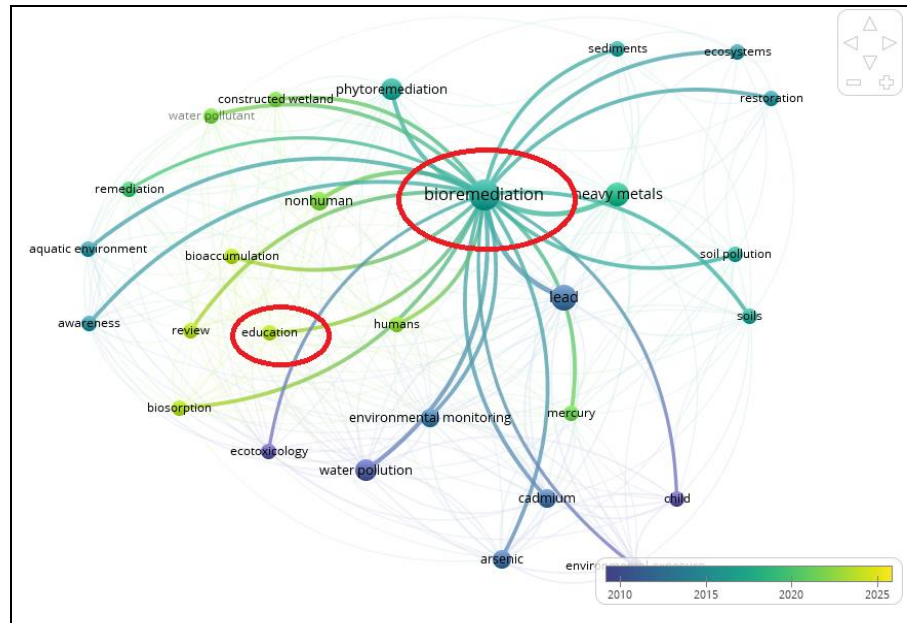
memberikan kontribusi positif bagi masyarakat; mengembangkan dan meningkatkan keterampilan mahasiswa yaitu keterampilan berpikir kritis dan analitis, pencarian dan evaluasi informasi, serta pemecahan masalah (Webb *et al.*, 2011).

Kontekstualitas praktikum mikrobiologi yang dibangun berdasarkan isu pencemaran logam berat di lingkungan dapat menjadi sarana dalam membangun keterampilan riset dan pemikiran reflektif mahasiswa. Ditinjau dari aspek muatan perkuliahan dan praktikum mata kuliah mikrobiologi, kajian mengenai peran mikroorganisme dalam memulihkan lingkungan yang tercemar logam berat sudah memiliki posisi dalam kurikulum. Kajian peranan mikroorganisme dalam kehidupan salah satunya adalah peran dalam mereduksi toksisitas logam pencemar di lingkungan. Namun demikian, jika dilihat dari aktivitas praktikum mikrobiologi di berbagai perguruan tinggi, belum ada aktivitas praktikum spesifik yang mengarahkan mahasiswa untuk mengeksplorasi potensi ini (Suanda, 2018; Simbolon, 2019).

Untuk menelaah peluang kebaruan penelitian dalam studi ini, dilakukan analisis bibliometrik. Analisis bibliometrik merupakan metode yang populer dan teliti untuk mengeksplorasi dan menganalisis sejumlah besar data ilmiah. Metode ini memungkinkan kita untuk mengungkap nuansa evolusi suatu bidang tertentu, sekaligus menyoroti bidang-bidang yang sedang berkembang di bidang tersebut (Donthu *et al.*, 2021; Passas, 2024).

Analisis bibliometrik yang dilakukan terhadap dokumen publikasi terindeks *Scopus* dalam rentang tahun 2010 hingga 2024 menunjukkan bahwa studi yang mengintegrasikan kajian bioremediasi limbah logam berat ke dalam pembelajaran masih sangat jarang dilakukan. Demikian juga halnya dengan kajian mikrobiologi tentang peran mikroorganisme indigen dalam bioremediasi logam berat, juga masih langka. Gambar 1.1 memperlihatkan warna kuning pada garis keterhubungan kata kunci *bioremediation* dengan kata kunci *education*. Artinya penelitian yang

mengaitkan kedua kata kunci ini masih jarang dan masih berpeluang dilakukan dalam pendidikan.



Gambar 1.1 Visualisasi *overlay* analisis bibliometrik publikasi mengenai integrasi topik bioremediasi logam berat dalam pembelajaran

Berdasarkan jumlah publikasi, ditemukan terdapat sepuluh publikasi bereputasi internasional yang mengaitkan pengembangan riset dalam pembelajaran mikrobiologi namun tidak ditemukan publikasi yang mengaitkannya dengan topik bioremediasi logam berat. Dengan kata lain, belum ada ditemukan publikasi tentang pembelajaran berbasis pengembangan keterampilan riset yang mengkaji bioremediasi logam berat.

Pada umumnya, praktikum mikrobiologi dilakukan menggunakan pedoman praktikum yang menguraikan langkah-langkah dan prosedur yang harus diikuti dan hasil yang diharapkan pada akhir percobaan pada laporan praktikum, atau dikenal dengan model praktikum ‘buku resep’ (Matsuo *et al.*, 2011; Brownell *et al.*, 2015). Mahasiswa cenderung hanya mengikuti pedoman praktikum tanpa perlu berpikir mendalam dan kreatif. Praktikum mikrobiologi berbasis inkuiri mini riset yang dilakukan oleh Kusnadi *et al.*, (2012) menunjukkan bahwa inovasi praktikum dapat membekali mahasiswa dengan keterampilan khusus laboratorium dan sikap ilmiah

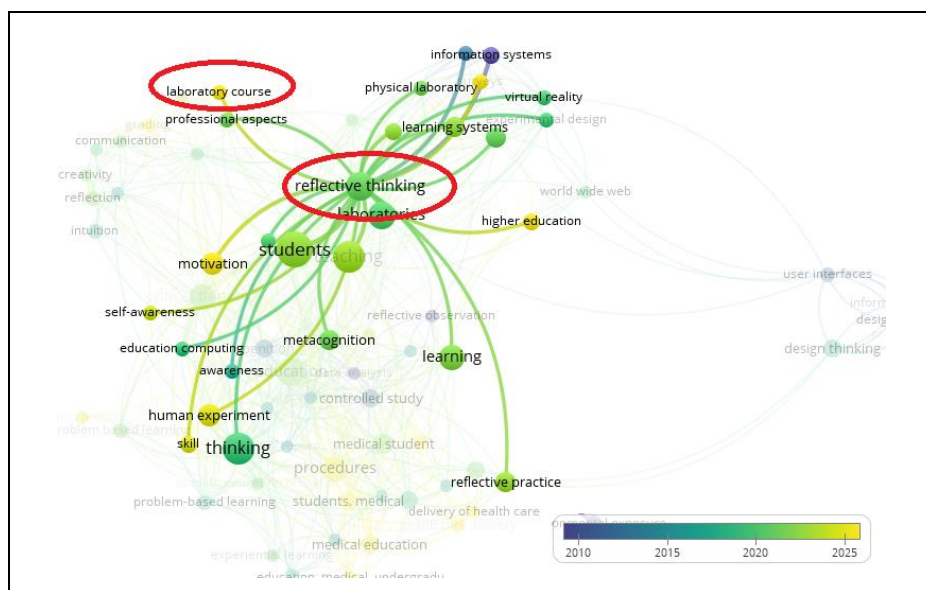
Trisna Amelia, 2025

PENGEMBANGAN PROGRAM PRAKTIKUM MIKROBIOLOGI EKSPLORASI BAKTERI POTENSIAL BIOREMEDIASI LOGAM BERAT UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN RISET DAN BERPIKIR REFLEKTIF MAHASISWA

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

dalam inkuiri. Praktikum mikrobiologi dengan basis riset juga dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Peyton & Skorupa, 2021; Zelaya *et al.*, 2020). Namun, studi ini belum secara spesifik mendesain praktikum untuk membekali dan mengembangkan keterampilan riset dan berpikir reflektif bagi mahasiswa.

Untuk memahami nilai kebaruan penelitian yang mengaitkan keterampilan berpikir reflektif pada kegiatan praktikum mikrobiologi dilakukan juga analisis bibliometrik. Visualisasi *overlay* yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Visualisasi *overlay* analisis publikasi ilmiah tentang pengembangan keterampilan berpikir reflektif melalui kegiatan praktikum

Dari analisis yang dilakukan, ditemukan satu publikasi yang mengembangkan keterampilan berpikir reflektif dalam praktikum kimia. Sementara itu, belum ditemukan publikasi serupa dalam pembelajaran dan aktivitas praktikum pada subjek mikrobiologi. Analisis yang dilakukan memberikan informasi bahwa penelitian yang mengaitkan aspek keterampilan berpikir reflektif di dalam kegiatan praktikum mikrobiologi belum dilakukan. Di sisi lain, kajian perkuliahan mikrobiologi juga masih jarang dilakukan melalui aktivitas riset, bahkan belum ada yang berorientasi keterampilan riset. Hal menarik dari analisis yang sudah dilakukan, belum terdapat penelitian pada konsep mikrobiologi khususnya

Trisna Amelia, 2025

PENGEMBANGAN PROGRAM PRAKTIKUM MIKROBIOLOGI EKSPLORASI BAKTERI POTENSIAL BIOREMEDIASI LOGAM BERAT UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN RISET DAN BERPIKIR REFLEKTIF MAHASISWA

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

bioremediasi cemaran logam yang berorientasi pada peningkatan keterampilan riset dan keterampilan berpikir reflektif. Hasil analisis ini memperkuat orisinalitas dan kebaruan ide dalam penelitian ini sehingga dapat memberikan kontribusi penting dalam meningkatkan kualitas pembelajaran di perguruan tinggi.

Mempertimbangkan pentingnya keterampilan riset dan berpikir reflektif dikuasai oleh mahasiswa, serta pentingnya memfasilitasi eksplorasi bakteri potensial bioremediasi logam berat, maka diperlukan inovasi praktikum mikrobiologi. Penelitian ini dapat mengisi *research gap* yang belum dilakukan dalam penelitian sebelumnya dalam pengembangan keterampilan riset dan pemikiran reflektif melalui aktivitas praktikum. Di samping itu, melalui penelitian ini juga dapat diungkap bakteri indigen potensial pada lahan bekas tambang sebagai agen bioremediator logam berat.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan penelitian dirumuskan yaitu: “Bagaimanakah hasil pengembangan program praktikum mikrobiologi eksplorasi bakteri potensial bioremediasi logam berat untuk meningkatkan keterampilan riset dan berpikir reflektif mahasiswa?”

Berdasarkan rumusan masalah penelitian, dirincikan pertanyaan penelitian sebagai berikut.

- 1) Bagaimana karakteristik praktikum mikrobiologi eksplorasi bakteri potensial bioremediasi logam berat untuk meningkatkan keterampilan riset dan berpikir reflektif mahasiswa?
- 2) Bagaimana peningkatan keterampilan riset mahasiswa setelah praktikum mikrobiologi eksplorasi bakteri potensial bioremediasi logam berat?
- 3) Bagaimana peningkatan keterampilan berpikir reflektif mahasiswa setelah praktikum mikrobiologi eksplorasi bakteri potensial bioremediasi logam berat?
- 4) Bagaimana korelasi keterampilan riset dan keterampilan berpikir reflektif mahasiswa?

Trisna Amelia, 2025

PENGEMBANGAN PROGRAM PRAKTIKUM MIKROBIOLOGI EKSPLORASI BAKTERI POTENSIAL BIOREMEDIASI LOGAM BERAT UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN RISET DAN BERPIKIR REFLEKTIF MAHASISWA

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

- 5) Bagaimana penguasaan keterampilan dasar laboratorium mikrobiologi selama praktikum mengeksplorasi bakteri potensial bioremediasi logam berat?
- 6) Bagaimana keunggulan dan keterbatasan program praktikum yang dikembangkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan dan mengimplementasikan program praktikum mikrobiologi eksplorasi bakteri potensial bioremediasi logam berat untuk meningkatkan keterampilan riset dan berpikir reflektif mahasiswa.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan bermanfaat secara teoretis dan praktis.

1.4.1 Manfaat Teoretik

Manfaat teoretik yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat menyumbangkan konsep dan prinsip baru berkaitan dengan praktikum mikrobiologi tentang eksplorasi peran bakteri potensial dalam bioremediasi logam berat. Di samping itu, juga diharapkan dapat menghasilkan konsep dan prinsip mengenai aspek pedagogik pengembangan keterampilan riset dan berpikir reflektif yang diperlukan mahasiswa.

1.4.2 Manfaat Praktis

Temuan dalam penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat praktis sebagai berikut.

- a. Menjadi referensi dan contoh *best practice* praktikum mikrobiologi berdasarkan isu kontekstual yang berkembang ditengah-tengah masyarakat global.
- b. Mengembangkan keterampilan riset dan berpikir reflektif bagi mahasiswa
- c. Memberikan referensi dan contoh *best practice* bagi dosen untuk mengembangkan keterampilan riset dan berpikir reflektif yang sangat penting bagi mahasiswa.

- d. Memberikan informasi teknis mengenai prosedur eksplorasi bakteri dan perannya dalam bioremediasi logam berat terutama pada lahan bekas tambang bauksit.
- e. Meningkatkan kualitas perkuliahan di perguruan tinggi sehingga dapat menghasilkan lulusan yang berdaya saing, cakap, dan memenuhi kompetensi penting di abad ke-21.
- f. Sebagai rujukan bagi penelitian lanjutan dalam konteks mikrobiologi dan pedagogi keterampilan riset serta berpikir tingkat tinggi.

1.5 Definisi Operasional

1) Keterampilan riset

Keterampilan riset merupakan keterampilan dalam melakukan penelitian ilmiah dengan enam aspek keterampilan yaitu: memulai dan mengklarifikasi masalah penelitian, mengumpulkan data, mengevaluasi dan merefleksi proses dan data penelitian, mengorganisir prosedur dan data penelitian, menganalisis data dan mensintesis pemahaman/pengetahuan, serta mengomunikasikan hasil penelitian. Keterampilan riset dilatih melalui kegiatan praktikum mikrobiologi pada topik eksplorasi potensi bakteri bioremediasi logam berat dan diukur dengan menggunakan instrumen tes pilihan ganda dan penilaian lembar kerja berbasis aktivitas riset.

2) Keterampilan berpikir reflektif

Keterampilan berpikir reflektif adalah keterampilan untuk melakukan proses meninjau pengalaman praktikum; membuat penilaian tentang pengalaman tersebut; dan menyiapkan tindakan atau strategi perbaikan untuk diimplementasikan pada kegiatan praktikum berikutnya. Dalam penelitian ini, keterampilan berpikir reflektif dilatih melalui penulisan reflektif. Instrumen yang digunakan untuk menilai keterampilan berpikir reflektif adalah instrumen tes *essay* dan penilaian terhadap penulisan reflektif.

3) Praktikum mikrobiologi eksplorasi bakteri potensial bioremediasi logam berat

Trisna Amelia, 2025

PENGEMBANGAN PROGRAM PRAKTIKUM MIKROBIOLOGI EKSPLORASI BAKTERI POTENSIAL BIOREMEDIASI LOGAM BERAT UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN RISET DAN BERPIKIR REFLEKTIF MAHASISWA

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Praktikum eksplorasi bakteri potensial bioremediasi logam berat dikembangkan dengan berbasis aktivitas riset di mana mahasiswa memulai penelitian dipandu oleh pendidik untuk terlibat dalam proses inkuiri. Program praktikum dikembangkan berupa rancangan kegiatan praktikum, sumber belajar (modul dan buku referensi), lembar kerja mahasiswa, dan instrumen penilaian. Praktikum dinilai melalui *judgement* oleh pakar dan uji coba.

1.6 Sistematika Penulisan Disertasi

Sistematika penulisan disertasi terkomposisi dalam lima bagian utama yaitu:

Bab I yang merupakan pendahuluan memuat latar belakang masalah dikembangkannya praktikum mikrobiologi dalam mengeksplorasi bakteri potensial bioremediasi logam berat. Permasalahan juga dikemukakan berkaitan dengan urgensi pengembangan praktikum untuk meningkatkan keterampilan riset dan berpikir reflektif mahasiswa. Dalam uraian permasalahan, dikemukakan *state of the art* penelitian sehingga tergambar nilai orisinalitas dan kebaruannya.

Pada Bab II berisi tinjauan pustaka yang membahas literatur relevan mengenai praktikum mikrobiologi dalam struktur kurikulum program studi pendidikan biologi, penelitian pada pendidikan tinggi, keterampilan riset dan keterampilan berpikir reflektif serta aspek-aspeknya, serta peran mikroorganisme dalam bioremediasi cemaran logam berat. Pada Bab III berisi tentang metode penelitian yang diterapkan meliputi penjabaran paradigma penelitian, metode dan desain penelitian, prosedur penelitian, lokasi dan sampel penelitian, instrumen penelitian, dan teknik analisis data yang dilakukan.

Pada Bab IV berisi penjabaran hasil penelitian serta interpretasinya. Hasil penelitian dijabarkan untuk menjawab rumusan masalah penelitian, yaitu penjabaran tentang karakteristik praktikum mikrobiologi untuk eksplorasi bakteri potensial bioremediasi logam berat, peningkatan keterampilan riset, peningkatan keterampilan berpikir reflektif, penguasaan keterampilan dasar lab dan pengetahuan

prosedural, serta kelebihan dan kelemahan praktikum yang dikembangkan. Bab IV juga menjabarkan diskusi-diskusi tentang hasil penelitian yang diperoleh.

Pada Bab V berisi kesimpulan berdasarkan analisis hasil dari penelitian yang dihasilkan dari temuan utama penelitian dan analisis data yang relevan dan sebagai jawaban terhadap pertanyaan penelitian. Pada bagian ini juga diuraikan implikasi dari hasil penelitian serta rekomendasi yang relevan untuk pengembangan penelitian serupa pada bidang lain. Pada bagian akhir dari disertasi terdapat daftar pustaka dan lampiran. Daftar pustaka berisi daftar literatur yang digunakan dan dapat ditelusuri ulang oleh pembaca. Lampiran dalam penelitian ini berisi informasi tambahan yang relevan.