BAB III
METODE PENELITIAN

Pada bab ini dipaparkan mengenai metode penelitian yang meliputi: desain penelitian, subjek penelitian, instrumen penelitian, prosedur penelitian, teknik pengumpulan data dan teknik analisis data, tahapan pengembangan program pembelajaran.

3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini dirancang menggunakan *mixed methods* dengan tipe *exploratory sequential design* (*QUAN Emphasized*) (Creswell & Creswell, 2018). Metode ini dirancang untuk menggabungkan penelitian kualitatif dan kuantitatif dalam dua tahap yang saling terkait, di mana data dari tahap kualitatif digunakan sebagai dasar untuk pengembangan program dan instrumen yang diuji dalam tahap kuantitatif. *Exploratory sequential design* dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan program pembelajaran ekologi berbasis *citizen science* serta instrumen pengukuran keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan, dan literasi keberlanjutan. *Exploratory sequential design* (*QUAN Emphasized*) memberikan penekanan pada tahap kuantitatif karena tujuan utamanya adalah untuk mengukur dampak program yang telah dikembangkan pada tahapan kualitatif terhadap peningkatan keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan calon guru dan literasi keberlanjutan masyarakat. Penggunaan data kuantitatif dalam tahap kedua juga bertujuan untuk melakukan pengujian dan verifikasi apakah program yang dikembangkan dari fase kualitatif efektif dalam mencapai tujuan penelitian.

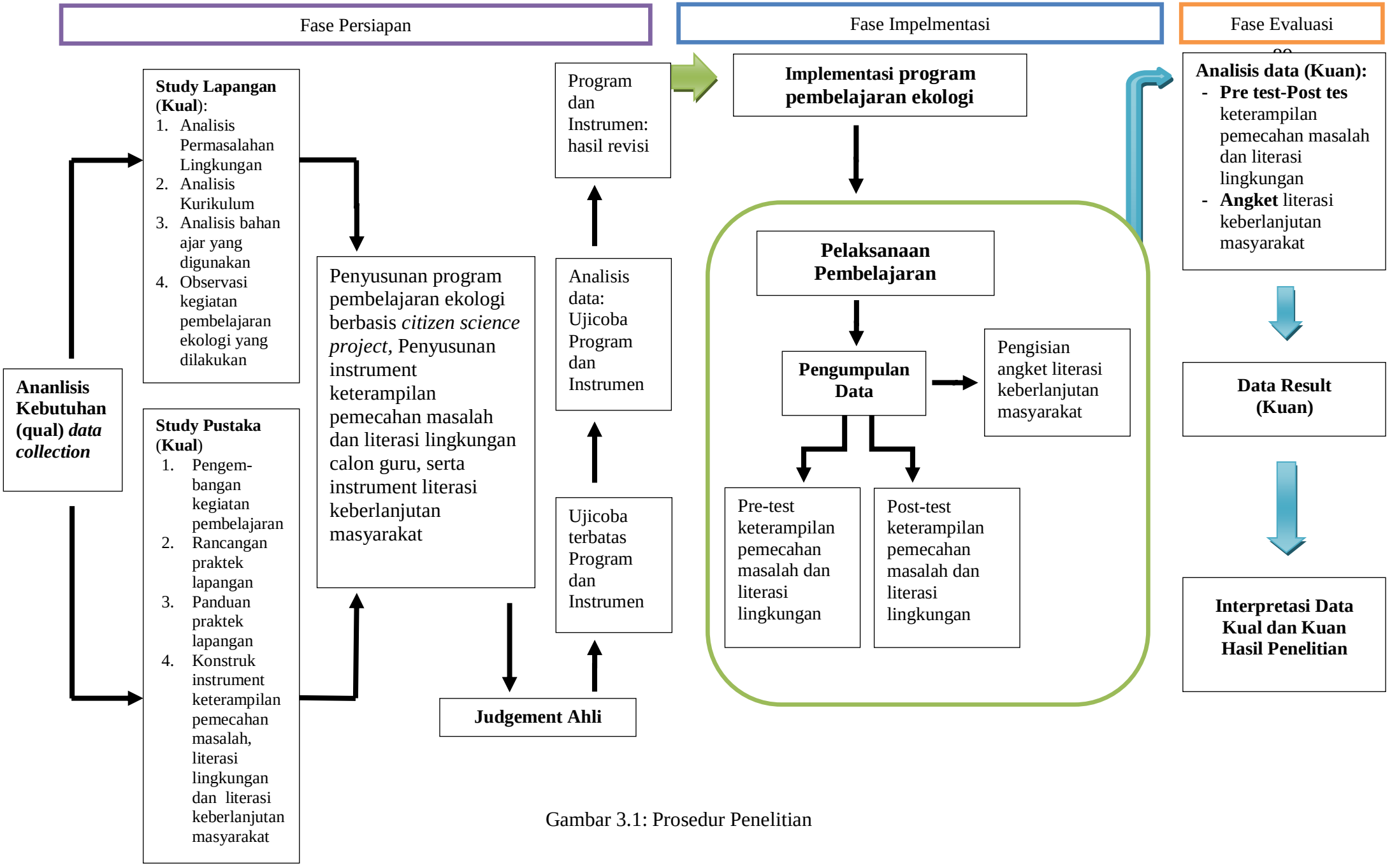
Creswell menjelaskan lebih lanjut bahwa *exploratory sequential design* sangat cocok ketika penelitian memerlukan langkah awal yang eksploratif dengan teknik kualitatif untuk menemukan variabel, konstruk, atau konsep yang relevan, yang kemudian diuji secara kuantitatif di fase berikutnya (Creswell & Creswell, 2018). Dalam konteks ini, data kualitatif pada fase awal, diperoleh dari eksplorasi, yang terdiri dari: kondisi lapangan, pandangan masyarakat, dan pemahaman calon guru mengenai permasalahan lingkungan, khususnya terkait pencemaran limbah tambang emas. Proses pengumpulan data kualitatif melalui observasi dan analisis pustaka juga digunakan untuk memperoleh informasi yang digunakan dalam pengembangan program pembelajaran dan juga instrumen penilaian.

Desain ini memungkinkan peneliti untuk menggunakan hasil kualitatif sebagai dasar untuk menciptakan alat ukur kuantitatif yang lebih tepat dan relevan, yang kemudian dapat diuji secara lebih sistematis melalui metode statistik. Menurut Creswell, *exploratory*

Susbiyanto, 2025
PENGEMBANGAN PROGRAM PEMBELAJARAN EKOLOGI BERBASIS CITIZEN SCIENCE PROJECT TENTANG PENCEMARAN LIMBAH TAMBANG EMAS DI DAERAH ALIRAN SUNGAI UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN PEMECAHAN MASALAH DAN LITERASI LINGKUNGAN CALON GURU BIOLOGI SERTA LITERASI KEBERLANJUTAN MASYARAKAT
Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

sequential design ideal untuk penelitian yang bertujuan melakukan intervensi, di mana tahap awal kualitatif berfungsi untuk mengeksplorasi konteks atau kebutuhan, permasalahan, serta peluang yang menjadi dasar perencanaan suatu program. Tahap kualitatif selanjutnya adalah *input* (masukan) yang berhubungan dengan studi pustaka untuk pengembangan kegiatan pembelajaran, rancangan praktek lapangan, panduan praktek lapangan, konstruk instrumen keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan dan literasi keberlanjutan masyarakat. Tahap kedua merupakan tahap kuantitatif yang digunakan untuk mengukur efektivitas dari intervensi atau program yang dikembangkan (Creswell & Creswell, 2018), dimana dalam penelitian ini yang di ukur adalah peningkatan keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan calon guru dan literasi keberlanjutan masyarakat. Adapun gambaran prosedur penelitian dari *exploratory sequential design* dalam penelitian ini, disajikan pada Gambar 3.1. Prosedur penelitian yang telah disusun, terdiri dari tiga fase utama: fase persiapan, fase implementasi, dan fase evaluasi yang saling terintegrasi antara metode kualitatif dan kuantitatif. Setiap fase dirancang untuk mengintegrasikan data kualitatif dan kuantitatif secara berurutan dan saling melengkapi guna mencapai tujuan pengembangan dan implementasi program pembelajaran ekologi berbasis *citizen science project*.

Fase persiapan, yang diawali dengan kegiatan studi pustaka dan studi lapangan. Hasil eksplorasi ini digunakan untuk menyusun kebutuhan program serta merancang kegiatan pembelajaran berbasis *citizen science*. Pada fase ini, peneliti juga menyusun dan mengembangkan instrumen untuk mengukur keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan calon guru biologi, dan literasi keberlanjutan masyarakat. Program dan instrumen yang telah disusun kemudian divalidasi melalui judgement ahli dan diuji secara terbatas. Fase kedua adalah fase implementasi, yang menjadi inti dari proses kuantitatif. Dalam fase ini, program pembelajaran yang telah dikembangkan diterapkan kepada peserta penelitian. Pengumpulan data dilakukan melalui pre-test dan post-test untuk mengukur keterampilan pemecahan masalah dan literasi lingkungan calon guru biologi, serta angket untuk menilai literasi keberlanjutan masyarakat. Fase terakhir adalah evaluasi, di mana data yang diperoleh dari fase kualitatif dan kuantitatif dianalisis dan diinterpretasikan secara integratif.



Gambar 3.1: Prosedur Penelitian

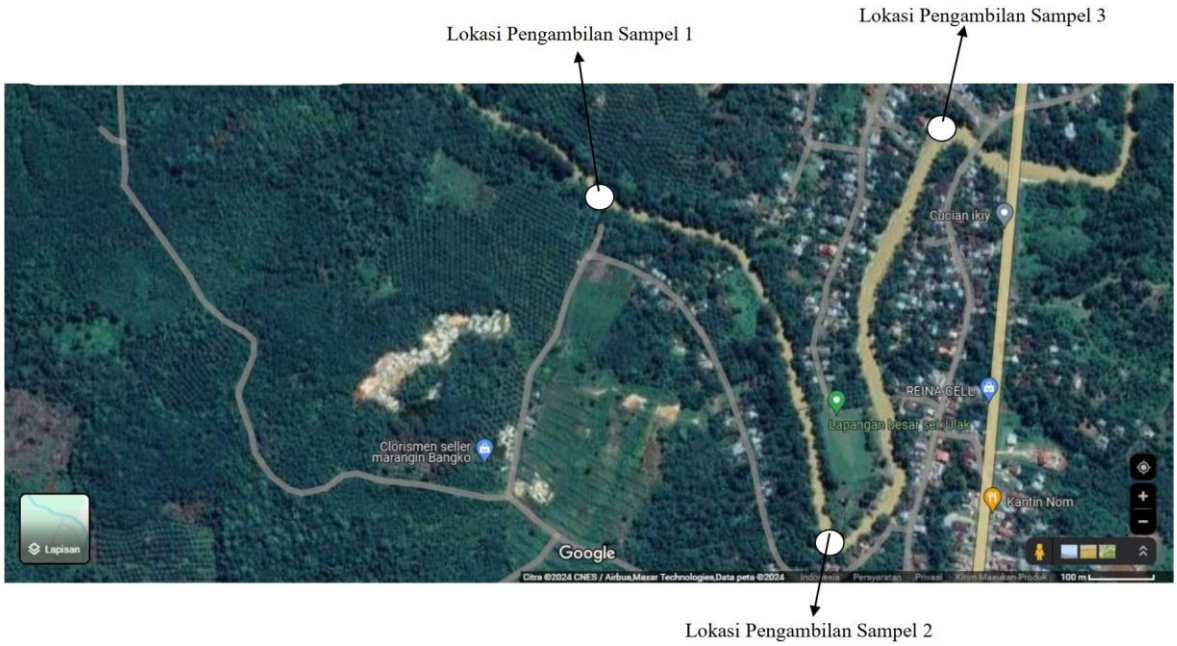
3.2 Subjek Penelitian

Penelitian yang dilakukan, memisahkan subjek penelitian menjadi dua bagian utama. Pemisahan menyesuaikan prosedur penelitian yang telah disusun. Bagian pertama merupakan subjek penelitian pada bagian uji coba program dan instrumen. Uji coba program dan instrumen keterampilan pemecahan masalah serta instrumen literasi lingkungan dilakukan pada Program Studi Pendidikan Biologi, yang berada di sekitar Kota Jambi. Jumlah mahasiswa yang terlibat sebanyak 34 orang terdiri dari 7 orang laki-laki dan 27 perempuan. Secara umum karakteristik mahasiswa yang terlibat dalam uji coba program memiliki karakteristik yang sama dengan mahasiswa terlibat dalam kegiatan eksperimen. Mahasiswa yang terlibat dalam kegiatan uji coba dipilih dengan menggunakan teknik *purposive sampling* dimana kriteria yang digunakan adalah asal domisili mahasiswa, yaitu mahasiswa yang berasal dari Kabupaten Merangin dan mahasiswa tersebut telah menyelesaikan mata kuliah ekologi. Mahasiswa yang terlibat dalam uji coba instrumen keterampilan pemecahan masalah serta instrumen literasi lingkungan, berjumlah lebih banyak dari mahasiswa yang terlibat pada kegiatan eksperimen. Tujuannya adalah untuk mendapatkan tingkat kevalidan dan reliabilitas yang tinggi terhadap instrumen yang digunakan untuk mengukur variabel tersebut.

Analisis hasil uji coba instrumen dilakukan dengan menggunakan model Rasch, dimana semakin banyak respondennya maka estimasi parameter item dan kemampuan individu semakin stabil dan akurat. Model Rasch bekerja dengan prinsip independensi antara item dan responden, sehingga ketika jumlah responden bertambah, distribusi kemampuan individu menjadi lebih representatif, dan tingkat kesulitan item dapat diestimasi dengan lebih baik. Selain itu, dengan jumlah responden yang lebih besar, kemungkinan memperoleh pola respon yang lebih beragam juga meningkat, sehingga memungkinkan analisis kecocokan model (*fit statistics*), reliabilitas, dan validitas instrumen dilakukan dengan lebih baik. Hal ini membantu dalam mengidentifikasi item yang berfungsi dengan baik serta item yang perlu direvisi atau dihapus agar instrumen tetap memiliki kualitas yang optimal dalam mengukur konstruk yang diinginkan. Sedangkan uji coba

instrumen literasi keberlanjutan masyarakat dilakukan di Desa yang masuk dalam wilayah Kabupaten Sarolangun. Sampel responden dipilih melalui *purposive sampling* dimana masyarakat tersebut sebelumnya telah terlibat dalam penelitian pendahuluan pada bulan September 2022 dengan jumlah sampel diambil sebanyak 30 responden. Dalam statistika, hukum limit pusat menyatakan bahwa jika jumlah sampel cukup besar maka penggunaan 30 responden merupakan batas minimal, sehingga distribusi sampel mendekati distribusi normal, terlepas dari distribusi populasi aslinya (Bond & Fox, 2015).

Subjek penelitian bagian kedua merupakan subjek yang terlibat pada kegiatan eksperimen, yang terdiri dari dua kelompok yang berbeda. Kelompok pertama adalah mahasiswa angkatan 2021 yang mengambil mata kuliah ekologi di semester ganjil, pada tahun ajaran 2023/2024. Mahasiswa tersebut berasal dari salah satu Program Studi Pendidikan Biologi FKIP yang ada di Kabupaten Merangin. Jumlah mahasiswa yang mengambil mata kuliah ekologi sangat terbatas, sehingga seluruh mahasiswa yaitu sebanyak 30 orang terdiri dari 11 orang laki-laki dan 19 perempuan dilibatkan dalam penelitian ini. Kelompok kedua adalah masyarakat yang tinggal disekitar Sungai Batanghari. Secara adminsitratif, masyarakat yang terlibat dalam kegiatan *citizen science project* berasal dari Desa yang berada di Kecamatan Nalo Tantan, Kabupaten Merangin. Di sekitar Kecamatan tersebut terdapat Sungai Ulak yang merupakan bagian hulu Sungai Batanghari. Jumlah masyarakat yang telibat dalam proyek *citizen science* sebanyak 17 orang dan yang ikut terlibat dalam pengukuran kualitas air sungai sebanyak 10 orang. Mahasiswa dibagi kedalam 5 kelompok dimana di dalam setiap kelompok terlibat 2 orang masyarakat setempat berkolaborasi melakukan pengukuran untuk mengetahui kondisi kualitas sungai. Sedangkan 33 masyarakat lainnya merupakan masyarakat yang menjadi objek dari *mini-project* mahasiswa. Total keseluruhan masyarakat yang berkontribusi dalam penitian ini berjumlah 50 orang, dimana masyarakat tersebut menjadi responden dalam pengumpulan data terkait variabel literasi keberlanjutan masyarakat. Adapun gambaran lokasi pengambilan sampel air untuk pengukuran kualitas air sungai disajikan pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2: Lokasi Pengambilan Sampel Air untuk Pengukuran Kualitas Air Sungai

3.3 Instrumen Penelitian

Pengumpulan data penelitian dilakukan dengan mengunakan instrumen yang dibagi kedalam 2 bagian utama sesuai dengan tahapan prosedur penelitian yaitu instrumen untuk mengumpulkan data kualitatif dan instrumen untuk mengumpulkan data kuantitatif.

3.3.1 Instrumen untuk Data Kualitatif

Instrumen pengumpulan data kualitatif digunakan pada studi lapangan dan studi literatur serta implementasi program pada saat ujicoba terbatas dan saat fase implemantasi program. Instrumen data kualitatif yang digunakan pada studi lapangan berupa lembar observasi, lembar wawancara tidak terstruktur dan lembar analisis dokumen, di mana peneliti menggunakan lembar observasi untuk mencatat kondisi dilapangan, baik di sekolah maupun di lokasi penambangan serta menggunakan lembar analisis dokumen untuk mencatat relevansi dan kesesuaian bahan ajar dengan konteks penelitian. Studi literatur dilakukan melalui analisis literatur atau reviu literatur, yang bertujuan untuk mempelajari berbagai sumber tertulis yang mendukung penelitian. Sedangkan pada saat ujicoba terbatas dan saat fase implemantasi, data dikumpulkan melalui observasi langsung terhadap

implementasi program, dimana peneliti menggunakan lembar observasi untuk mencatat kegiatan peserta selama pelaksanaan program. Adapun uraian instrumen yang digunakan untuk mengumpulkan data kualitatif pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Instrumen yang Digunakan untuk Mengumpulkan Data Kualitatif

Nama Instrumen	Tujuan	Aspek yang Diamati
Lembar observasi lapangan	Mengamati pembelajaran ekologi di kelas dan kondisi lingkungan di area tambang emas	Tujuan & konten pembelajaran, metode, keterlibatan mahasiswa, kolaborasi masyarakat, sarana, proses pembelaja-ran, dampak, dan rekomendasi
Lembar wawancara	Menggali persepsi dan pengalaman masyarakat terkait pencemaran limbah tambang	Identitas responden, pengetahuan & persepsi, pengalaman, dampak kesehatan, partisipasi lingkungan, harapan & rekomendasi
Lembar analisis dokumen	Mengevaluasi kesesuaian dokumen pembelajaran dengan pendekatan *citizen science*	Jenis & identitas dokumen, relevansi dengan isu tambang emas, dukungan terhadap literasi & keterampilan, kualitas konten
Lembar analisis literatur	Menelaah referensi teoretis dan empiris yang mendukung pembelajaran dan isu pencemaran	Jenis & identitas dokumen, relevansi dengan ekologi & keberlanjutan, kualitas & kemutakhiran informasi
Lembar observasi keterlaksanaan program	Menilai pelaksanaan pembelajaran *citizen science project*	Kegiatan pada tahap pendahuluan, inti, konfirmasi, penutup

3.3.2 Instrumen untuk Data Kuantitatif

Pengumpulan data kuantitatif dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa instrumen yang dirancang untuk mengukur berbagai aspek keterampilan dan literasi peserta didik serta masyarakat. Instrumen keterampilan pemecahan masalah digunakan untuk mengevaluasi kemampuan mahasiswa dalam mengidentifikasi, menganalisis, dan merancang solusi terhadap permasalahan pencemaran limbah tambang emas di daerah aliran sungai. Instrumen ini mencakup indikator seperti kemampuan mengidentifikasi akar masalah, menyusun strategi penyelesaian yang diusulkan. Selanjutnya, instrumen literasi lingkungan digunakan untuk mengukur tingkat pemahaman, kesadaran, serta sikap mahasiswa terhadap isu-isu lingkungan, khususnya yang berkaitan

dengan pencemaran dan keberlanjutan ekosistem perairan. Instrumen ini menilai aspek kognitif (pengetahuan tentang lingkungan), afektif (kepedulian dan sikap terhadap isu lingkungan), serta perilaku (tindakan nyata dalam menjaga lingkungan). Selain itu, instrumen literasi keberlanjutan masyarakat diterapkan untuk mengevaluasi sejauh mana masyarakat memahami dan menerapkan prinsip-prinsip keberlanjutan dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam konteks pengelolaan sumber daya alam dan mitigasi dampak pencemaran. Instrumen ini melibatkan pengukuran kesadaran masyarakat terhadap dampak limbah tambang, partisipasi dalam kegiatan lingkungan, serta pola pikir keberlanjutan yang mencerminkan keterlibatan aktif dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Uraian singkat terkait instrumen yang digunakan untuk mengumpulkan data kuantitatif pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Instrumen yang Digunakan untuk Mengumpulkan Data Kuantitatif

Nama Instrumen	Bentuk Instrumen	Aspek yang Diukur	Keterangan
Instrumen Keterampilan Pemecahan Masalah	Tes uraian (5 soal studi kasus)	Memahami masalah, identifikasi akar masalah, alternatif solusi, solusi terbaik	Mengukur kemampuan sistematis mahasiswa dalam menyelesaikan masalah ekosistem sungai
Instrumen Literasi Lingkungan	Tes pilihan ganda dan angket	Pengetahuan, keterampilan berpikir kritis (kognitif), sikap bertanggung jawab (afektif), perilaku nyata (konatif)	Soal objektif untuk aspek kognitif dan angket untuk mengukur afektif-konatif dengan skala Likert
Instrumen Literasi Keberlanjutan Masyarakat	Angket (berbasis Sulitest dan teori pembelajaran sosial)	Kecerdasan ekologis, keterampilan adaptif, pola pikir keberlanju-tan, perilaku	Mengacu pada pilar SDGs: lingkungan, sosial, dan ekonomi untuk menilai literasi keberlanjutan masyarakat

3.4 Prosedur Penelitian

Secara keseluruhan, prosedur penelitian mencakup tiga fase besar, yaitu: (1) Fase Persiapan, (2) Fase Implementasi, dan (3) Fase Evaluasi.

3.4.1 Fase persiapan

Fase persiapan merupakan fase yang cukup kompleks dimulai dengan mengidentifikasi kebutuhan melalui studi lapangan dan studi pustaka, dilanjutkan dengan menyusun program pembelajaran ekologi dan instrumen penilaiannya. Kemudian program dan instrumen yang telah disusun divalidasi oleh ahli dengan tujuan untuk menenentuan kelayakannya dan selanjutnya diakhiri dengan ujicoba terbatas. Awal fase persiapan merupakan kegiatan eksplorasi mendalam terhadap konteks permasalahan yang ada, yaitu bagaimana perlakuan terhadap limbah penambangan emas di DAS, dan bagaimana kegiatan penambangan emas secara keseluruhan, memberi dampak terhadap ekosistem serta masyarakat lokal. Penelitian diawali dengan tahapan analisis kebutuhan yang memuat kegiatan pengumpulan data kualitatif melalui observasi lapangan dan kajian pustaka mengenai permasalahan ekologi yang ada di sekitar masyarakat. Analisis kebutuhan ini mencakup beberapa subtahapan penting yang menjadi bagian dalam fase persiapan.

3.4.1.1 Studi lapangan

Studi lapangan dalam penelitian ini mencakup dua fokus utama, yaitu analisis permasalahan lingkungan di wilayah terdampak tambang emas dan penelaahan terhadap proses pembelajaran ekologi pada Program Studi Pendidikan Biologi. Kedua fokus ini menjadi dasar penting dalam merancang program pembelajaran ekologi berbasis *citizen science project*.

1. Analisis Permasalahan Lingkungan

Kegiatan pertama dalam studi lapangan adalah analisis permasalahan lingkungan yang dilakukan melalui observasi langsung di daerah penambangan emas yang berlokasi di sekitar aliran Sungai Batanghari. Kegiatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi berbagai permasalahan lingkungan yang ada, serta perilaku dan persepsi masyarakat setempat terhadap limbah tambang emas maupun kesadaran masyarakat terhadap kerusakan ekosistem sungai. Observasi dilakukan dengan mengidentifikasi sumber pencemaran, mempelajari asal limbah tambang emas, bagaimana limbah tersebut masuk ke dalam aliran sungai, dan dampaknya terhadap ekosistem sungai serta bagaimana kondisi masyarakat yang

tinggal di sekitar daerah tersebut. Kegiatan observasi juga mengidentifikasi implikasi sosial yang bergantung pada sungai dimana masyarakat sekitar sungai memanfaatkan hasil tangkapan ikan sebagai bahan konsumsi dan pertanian di sekitar desa juga memanfaatkan sungai sebagai sumber perairannya.

Analisis data kualitatif untuk studi lapangan yang menggunakan lembar observasi lapangan yang dilakukan melalui beberapa tahap yang sistematis. Analisis data kualitatif dilakukan dengan pendekatan deskriptif kualitatif yang bertujuan untuk mengidentifikasi pola, tren, serta keterkaitan antara berbagai faktor yang diamati. Adapun tahapannya diuaikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Tahapan Analisis Data Kualitatif untuk Studi Lapangan

Tahapan Analisis Data Kualitatif	Deskripsi Kegiatan
1. Reduksi data	Menyaring, memilih, dan menyederhanakan data observasi berdasarkan kategori utama, seperti kualitas fisik air, karakteristik kimia, keanekaragaman hayati, serta dampak lingkungan dan sosial. Data yang tidak relevan dieliminasi agar lebih fokus pada informasi utama.
2. Koding dan kategorisasi	Mengelompokkan data ke dalam tema utama, seperti tingkat pencemaran, faktor penyebab, dampak terhadap lingkungan dan masyarakat, serta strategi mitigasi. Proses ini membantu dalam menemukan pola atau tren dalam data yang dikumpulkan.
3. Penyajian data dan pembuatan narasi temuan	Menyusun hasil temuan dalam bentuk deskripsi naratif berdasarkan data yang telah dikategorikan. Setiap indikator dijelaskan secara sistematis, misalnya perubahan warna dan bau air dikaitkan dengan dugaan kandungan limbah tambang.
4. Analisis tematik dan triangulasi data	Mengidentifikasi hubungan antara berbagai aspek yang diamati, seperti korelasi antara pencemaran air dan penurunan keanekaragaman hayati. Triangulasi dilakukan dengan membandingkan hasil observasi fisik, wawancara dengan masyarakat.
5. Interpretasi dan kesimpulan	Menyusun interpretasi akhir berdasarkan pola yang ditemukan, menghubungkan temuan dengan teori lingkungan yang relevan, serta menyusun rekomendasi untuk mitigasi dan edukasi. Kesimpulan yang dihasilkan memberikan gambaran menyeluruh mengenai tingkat pencemaran dan dampaknya.

Hasil yang diperoleh dari penelitian awal mengungkapkan bahwa kegiatan penambangan emas di wilayah tersebut menggunakan teknik konvensional, di mana proses amalgamasi memanfaatkan merkuri untuk memisahkan emas dari

material lain. Limbah hasil proses amalgamasi ini dibuang langsung ke lingkungan tanpa melalui pengolahan yang memadai, sehingga zat berbahaya seperti logam berat dan bahan kimia beracun berpotensi mencemari ekosistem. Observasi juga menunjukkan bahwa masyarakat setempat masih sangat bergantung pada air sungai untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, seperti mandi, mencuci peralatan, dan pakaian, serta berbagai aktivitas lainnya. Selain itu, masyarakat juga memanfaatkan ikan hasil tangkapan dari sungai sebagai sumber protein utama, di mana sebagian besar ikan yang dikonsumsi adalah ikan lokal yang ditangkap langsung atau hasil budidaya keramba di Sungai. Observasi lebih lanjut mengindikasikan bahwa penambangan emas menjadi salah satu sumber mata pencaharian yang penting bagi masyarakat, terutama di tengah rendahnya harga komoditas pertanian yang dihasilkan masyarakat.

2. Potret pembelajaran ekologi

Kegiatan kedua dari tahapan studi lapangan adalah memperoleh informasi terkait pembelajaran ekologi di lapangan yang dilakukan melalui analisis kurikulum mata kuliah ekologi, analisis bahan ajar, serta observasi kegiatan pembelajaran pada tiga Program Studi Pendidikan Biologi yang ada di Provinsi Jambi dan Provinsi sekitarnya yang dilalui oleh aliran Sungai Bagtanghari. Analisis ini dilakukan untuk memperoleh gambaran dari kondisi awal kegiatan pembelajaran ekologi yang ada pada Program Studi Pendidikan Biologi. Analisis kurikulum dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pembelajaran yang ada pada tiga Program Studi Pendidikan Biologi tersebut dalam membekali calon guru. Analisis di fokuskan pada pembekalan keterampilan yang berkontribusi langsung terhadap permasalahan lingkungan di daerah, khusunya pencemaran limbah tambang emas di area Sungai Batanghari. Analisis data kualitatif dilakukan dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Proses analisis dilakukan melalui tahapan yang sama dengan analisis data kualitatif untuk studi lapangan serta dilakukan pula peninjauan apakah kurikulum yang digunakan telah mencakup pembahasan penting terkait ekosistem sungai, pencemaran yang terjadi pada ekosistem sungai akibat masuknya logam berat, dan dampak pencemaran terhadap kehidupan organisme disekitarnya. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh informasi bahwa,

belum ditemukan pembahasan spesifik mengenai permasalahan-permasalahan tersebut dalam kurikulum yang dianalisis. Hal ini mengindikasikan adanya celah dalam pembelajaran pada Program Studi Pendidikan Biologi yang dapat dijadikan peluang untuk mengangkat isu-isu ini dalam penelitian. Oleh karena itu, diperlukan observasi lebih lanjut mengenai cara mengintegrasikan pembahasan tersebut ke dalam pembelajaran khusus dalam mata kuliah yang relevan.

Peneliti melakukan observasi dengan membandingkan struktur mata kuliah dari tiga program studi yang ditinjau. Hasil observasi menunjukkan bahwa mata kuliah ekologi merupakan mata kuliah yang paling relevan untuk membahas permasalahan kerusakan ekosistem sungai akibat penambangan emas. Adapun landasan yang mendasarinya diantaranya adalah, ketiga prodi belum memiliki mata kuliah yang membahas tentang lingkungan secara khusus, seperti: biologi lingkungan, konservasi dan pengelolaan sumber daya alam, serta pendidikan lingkungan hidup, sedangkan mata kuliah yang relevan hanya ada mata kuliah ekologi. Pembelajaran ekologi dapat memayungi ilmu lingkungan, seperti membahas tentang konsep ekosistem, dampak antropogenik (termasuk pertambangan), dan restorasi lingkungan. Ekologi juga membahas tentang aliran energi, siklus biogeokimia, dan pencemaran logam berat, yang relevan dengan kasus kerusakan sungai akibat tambang emas. Sehingga melalui penelitian ini, diharapkan, program pembelajaran dapat diterapkan ataupun dijadikan *role mode* bagi ketiga program studi tersebut pada masa mendatang. Selain itu, analisis juga dilakukan dengan meninjau penekanan pada keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan, dan literasi keberlanjutan. Peninjauan ini bertujuan untuk memperoleh informasi sejauh mana ketiga program studi mengembangkan keterampilan-keterampilan tersebut dalam proses pembelajarannya. Adapun hasil analisis perbandingan struktur mata kuliah ekologi pada tiga program studi, disajikan pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Perbandingan Struktur Mata Kuliah Ekologi pada Tiga Program Studi

Aspek Studi	Universitas A	Universitas B	Universitas C
SKS	3 SKS (Teori)	4 SKS (3 Teori + 1 Praktikum)	2 SKS (Teori)
Tujuan umum mata kuliah	Memberikan pemahaman dasar tentang struktur dan fungsi ekosistem serta dinamika populasi dan komunitas.	Membekali mahasiswa dengan konsep ekologi serta keterampilan pengamatan dan analisis ekosistem.	Mendorong mahasiswa memahami prinsip ekologi dan keterkaitannya dengan isu-isu lingkungan global dan lokal.
Topik pembelajaran utama	- Pengantar ekologi - Komponen ekosistem - Aliran energi & daur materi - Populasi & Komunitas - Interaksi antarorganisme - Perubahan iklim dan kerusakan lingkungan	- Struktur dan fungsi ekosistem - Komponen ekosistem - Teknik pengamatan lingkungan - Biodiversitas dan konservasi - Populasi & komunitas - Penerapan teknologi dan aplikasi ekologi	- Prinsip-prinsip dasar ekologi - Komponen ekosistem - Keanekaragaman hayati - Kajian kasus lokal: hutan, pertanian - Komunikasi lingkungan
Pendekatan kontekstual	Pembahasan secara umum tentang pencemaran dan konservasi, tanpa studi lokal eksplisit.	Kajian langsung terhadap isu-isu lingkungan lokal	Diskusi kasus-kasus lokal berbasis berita dan laporan lingkungan daerah (diskusi kelas, bukan langsung kelapangan).
Jenis praktikum / proyek	Tidak tersedia, pembelajaran terfokus pada teori.	- Faktor-Faktor pembatas ekosistem - Kompetisi intraspesi-fik dan interspesifik - Mengukur Populasi - Asosiasi interspesifik - Teknik dasar pengukuran parameter pohon - Ekosistem terestrial dan akuatik - Analisis keanekaraga-man tumbuhan - Makroinvertebrata (Benthos)	Tugas observasi mandiri mahasiswa terhadap lingkungan tempat tinggal, disusun dalam bentuk esai dan infografis.

Aspek Studi	Universitas A	Universitas B	Universitas C
		- Analisis Keanekaraga-man Fungsional	
Capaian pembelajaran (disarikan)	- Memahami dasar-dasar ekologi - Menjelaskan hubungan antar komponen ekosistem - Mengenali kerusakan lingkungan akibat aktivitas manusia	- Mampu menganalisis permasalahan ekologi - Mampu merancang dan melaksanakan observasi lingkungan - Mampu menyusun rekomendasi berdasarkan data lapangan	- Menjelaskan prinsip ekologi dan aplikasinya - Mengaitkan permasalahan lingkungan lokal-global - Mengkomunikasi-kan isu lingkungan secara ilmiah
Kelebihan	Penekanan kuat pada teori dasar ekologi dan sistematika pembelajaran	Praktikum lapangan sesuai teori dan panduan praktek, mendekatkan mahasiswa pada teori dan realitas lingkungan	Pendekatan reflektif dan berbasis studi kasus lokal yang actual
Kekurangan	Kurangnya pengalaman praktik dan konteks lokal	Belum mendekatkan mahasiswa pada realitas sosial-lingkungan seperti muatan eksplisit tentang pencemaran logam berat atau tambang emas	Kegiatan lapangan terbatas, belum berbasis keterlibatan komunitas

Draft kurikulum yang telah dianalisis memberikan informasi bahwa keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan, dan literasi keberlanjutan belum sepenuhnya dikembangkan melalui pembelajaran kontekstual yang berbasis pada permasalahan lokal. Temuan ini membuka peluang untuk mengintegrasikannya ke dalam penelitian, dengan memprioritaskan keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan, dan literasi keberlanjutan sebagai variabel penting dengan fokus penelitian yaitu mengkaji pengembangan keterampilan tersebut dalam konteks pembelajaran yang lebih relevan dengan isu-isu lokal.

Tahapan studi lapangan selanjutnya melibatkan analisis terhadap bahan ajar yang digunakan dalam pembelajaran ekologi. Bahan ajar yang dianalisis mencakup buku teks, modul, serta berbagai sumber lainnya yang digunakan dalam proses pembelajaran. Analisis data kualitatif dilakukan dengan pendekatan

deskriptif kualitatif dimana tahapan analisis yang dilakukan melalui tahapan yang sama dengan analisis data kualitatif untuk studi lapangan. Namun analisis bahan ajar lebih memfokuskan pada dua pendekatan utama yaitu menganalisis kesesuaian materi dengan isu-isu lingkungan lokal, dan meninjau metode pembelajaran yang diterapkan. Pendekatan pertama, analisis kesesuaian dengan masalah lokal, bertujuan untuk menilai apakah bahan ajar sudah mengangkat isu-isu lingkungan yang relevan dengan konteks setempat. Sebagai contoh, analisis ini melihat apakah materi pembelajaran sudah mencakup masalah pencemaran yang diakibatkan oleh limbah tambang emas di daerah aliran sungai. Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun pembelajaran ekologi telah membahas beberapa isu lingkungan lokal, namun belum ada pembahasan yang secara spesifik menyoroti kerusakan ekosistem sungai akibat kegiatan penambangan emas. Pendekatan kedua berfokus pada analisis terhadap metode pembelajaran yang digunakan. Ditemukan bahwa metode yang diterapkan dalam pembelajaran ekologi belum sepenuhnya mendorong pembelajaran aktif, seperti metode *inquiry-based learning* dan *project-based learning*. Sebagai mana yang diketahui bahwa kedua metode ini sangat penting dalam pembelajaran sains karena dapat meningkatkan keterlibatan mahasiswa secara aktif dalam proses pembelajaran, serta mendorong eksplorasi dan penyelesaian masalah secara mandiri. Sehingga temuan dari analisis ini menjadi dasar penting untuk pengembangan ke depan. Salah satu implikasinya adalah mengintegrasikan pembelajaran berbasis proyek dalam perkuliahan ekologi yang diterapkan dalam penelitian ini. Integrasi ini diharapkan dapat membantu mahasiswa tidak hanya memahami konsep ekologi secara teoritis, tetapi juga mendorong mereka untuk lebih aktif dalam mengidentifikasi, menganalisis, dan mencari solusi terhadap permasalahan lingkungan lokal yang relevan.

3.4.1.2 Studi pustaka

Studi pustaka merupakan bagian dari analisis kebutuhan yang dilakukan dengan mengumpulkan data kualitatif melalui analisis literatur. Analisis data kualitatif dilakukan dengan pendekatan deskriptif-kualitatif. Proses analisis

dilakukan melalui tahapan yang sama dengan analisis data kualitatif untuk studi lapangan pada Tabel 3.3. Elemen-elemen yang dianalisis, terkait dengan mengembangan kegiatan pembelajaran, bagaimana merancangan praktek lapangan yang relevan dengan konteks ekologi dan permasalahan yang dibahas, bagaimana menyusun panduan praktek lapangan, dan bagaimana mengkonstruksi instrumen keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan dan literasi keberlanjutan masyarakat. Analisis literatur memprioritaskan untuk mengembangkan kegiatan pembelajaran ekologi sesuai konteks permasalahan yang dibahas yaitu pencemaran sungai akibat limbah tambang emas. Penggunaan proyek *citizen science* menjadi salah satu alternatif yang dapat diterapkan untuk menjembatani antara pembelajaran ekologi dengan konteks permasalahan yang diangkat. Mengintegrasikan proyek *citizen science* di dalam aktivitas pembelajaran ekologi, dimulai dengan menganalisis kurikulum yang digunakan oleh Program Studi Pendidikan Biologi, tempat dilakukannya penelitian, serta menganalisis teori-teori yang relevan. Kurikulum yang digunakan oleh Program Studi Pendidikan Biologi, mengacu pada kurikulum yang telah ditetapkan oleh Dirjen DIKTI, dimana kurikulum tersebut mengacu pada deskripsi capaian pembelajaran lulusan KKNI (Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia). Kurikulum yang digunakan merupakan kurikulum pendidikan berbasis capaian pembelajaran (*outcome-based education*). Sedangkan teori-teori yang relevan dalam konteks pembelajaran ekologi yang diintergasikan dengan *citizen science* meliputi: teori pembelajaran konstruktivisme, teori pembelajaran berbasis inquiry, teori pembelajaran berbasis proyek, teori pembelajaran kolaboratif, teori-teori terkait konsep ekologi dan *citizen science* itu sendiri. Selanjutnya adalah bagaimana menkonstruksi proyek *citizen scince* yang diimplementasikan di dalam kegiatan pembelajaran. Berdasarkan analisis pustaka yang telah dilakukan, penyusunan proyek *citizen scince* dapat dilakukan dengan merujuk pada referensi yang dibahas oleh Fraisl *et al.* (2022) yang merekomendasikan siklus 6 tahapan untuk mendesain proyek *citizen science*, khususnya dalam kajian lingkungan dan ekologi. Tahapan yang diajukan Fraisl *et al.* (2022) dapat dielaborasi dengan *logic*

model dari Shirk *et al.* (2012) agar menghasilkan project *citizen science* sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.

Analisis literatur selanjutnya adalah bagaimana mendesain praktek lapangan yang diterapkan dalam proyek *citizen science* dalam pembelajaran ekologi terkait pencemaran limbah tambang emas di daerah aliran sungai. Paraktek lapangan yang disusun memiliki kaitan yang erat dengan kegiatan identifikasi kualitas ekosistem sungai serta kondisi sosial masyarakat di sekitar area praktek lapangan, sehingga praktik lapangan yang dirancang adalah kegiatan mengukur kualitas ekosistem sungai dalam konteks penambangan emas yang menitik beratkan pada pengukuran kualitas air serta mengidentifikasi kondisi ekosistem sungai disekitar area pengukuran serta kondisi lingkungan sosialnya. Kegiatan praktek lapangan ini diprioritaskan untuk mengembangkan keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan, dan literasi keberlanjutan masyarakat yang mengacu pada prinsip ekologi. Selain itu juga menekankan pada pendekatan kolaborasi yang digunakan dalam pemantauan ekosistem dan restorasi lingkungan yaitu pendekatan partisipatif dalam ilmu lingkungan. Salah satu dasar ilmiah utama dalam merancang praktik lapangan untuk memantau ekosistem sungai adalah prinsip ekologi yang berfokus pada interaksi antara komponen biotik dan abiotik dalam ekosistem. Lebih lanjut, ekosistem sungai sangat dipengaruhi oleh kualitas air, polusi, dan aktivitas manusia seperti penambangan. Dalam hal ini, beberapa konsep ekologi yang relevan termasuk di dalamnya adalah: toleransi lingkungan dan ambang batas (daya dukung lingkungan), sedimentasi dan erosi, bioindikator, sistem sosial-ekologi, suksesi ekologi, restorasi ekologi. Konsep-konsep ini penting untuk dibahas dalam pembelajaran ekologi yang mengangkat tentang permasalahan kerusakan sungai.

Setelah menentukan desain praktek lapangan, analisis selanjutnya adalah bagaimana menyusun panduan praktik lapangan. Karakteristik praktek lapangan pada proyek *citizen science* dalam penelitian ini memberi penekanan pada kegiatan pengukuran kualitas ekosistem sungai disekitar area penambangan emas. Penyusunan panduan praktik lapangan memerlukan pendekatan yang sistematis dan berbasis ilmiah untuk memastikan pengukuran kualitas ekosistem sungai

dimana panduan tersebut juga harus mudah untuk dipahami oleh semua peserta, termasuk masyarakat yang tidak memiliki latar belakang ilmiah, namun tetap menjaga validitas data yang dihasilkan. Penyusunan dilakukan dengan merujuk referensi dari *Water Framework Directive* (WFD) yang dihasilkan dan dimanfaatkan oleh *European Environment Agency* (EEA) dalam melakukan konservasi air sungai. Referensi ini memberikan informasi yang jelas bagaimana menilai potensi ataupun status ekologi perairan yang dilakukan melalui pengukuran kualitas elemen biologi, elements kimia-fisik dan juga hidromorfologi (EEA, 2018). Selain itu juga menganalisis informasi dari *global mercury assessment* serta beberapa referensi yang terkait preparasi dan pengukuran merkuri pada air sungai di lapangan.

Analisis literatur berikutnya adalah analisis konstruksi instrumen keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan dan literasi keberlanjutan masyarakat. Analisis ini merupakan bagian penting dalam merancang alat ukur yang digunakan dalam penelitian. Kegiatan ini melibatkan kajian mendalam terhadap berbagai literatur yang relevan, baik dari teori maupun penelitian-penelitian sebelumnya, untuk memastikan bahwa instrumen yang disusun mampu mengukur secara valid dan reliabel keterampilan pemecahan masalah serta literasi terkait lingkungan dan keberlanjutan. Pada penelitian ini, instrumen keterampilan pemecahan masalah dirancang untuk mengevaluasi kemampuan calon guru dalam mengidentifikasi masalah lingkungan, menganalisis solusi yang mungkin, dan mengambil keputusan berdasarkan bukti ilmiah serta pertimbangan keberlanjutan. Sementara itu, instrumen literasi lingkungan dikembangkan untuk mengukur pemahaman calon guru terhadap isu-isu lingkungan, kesadaran terkait dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan, serta kemampuan dalam mengomunikasikan pengetahuan tersebut kepada masyarakat. Di sisi lain, literasi keberlanjutan masyarakat menekankan pada kemampuan individu dalam memahami hubungan antara keberlanjutan ekologi, ekonomi, dan sosial, serta penerapan prinsip-prinsip keberlanjutan dalam konteks komunitas. Analisis konstruksi instrumen keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan dan literasi keberlanjutan masyarakat diuraikan pada BAB II.

3.4.1.3 Penyusunan program pembelajaran dan instrumen penilaian

Bagian ini membahas proses penyusunan program pembelajaran ekologi berbasis *citizen science project* serta pengembangan instrumen penilaian yang dirancang untuk mengukur keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan, dan literasi keberlanjutan masyarakat. Program ini dirancang untuk memberikan pemahaman teoretis tentang masalah pencemaran limbah tambang emas serta meningkatkan keterlibatan aktif peserta dalam memantau, menganalisis, dan memberi solusi alternatif terhadap masalah lingkungan yang nyata di daerah aliran sungai. Proses penyusunan ini dilakukan dengan mengacu pada hasil analisis kebutuhan yang telah diidentifikasi pada tahap sebelumnya. Sehingga program dan instrumen yang dikembangkan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan pendidikan ekologi yang sesuai dengan landasan teoretis dan standar ilmiah serta kondisi di lapangan.

1. Penyusunan program pembelajaran

Penyusunan program pembelajaran diawali dengan menyesuaikan kurikulum yaitu menyelaraskan RPS mata kuliah ekologi dengan permasalahan lingkungan yang dibahas**.** Isu yang terkait dengan permasalahan lingkungan**,** diintegrasikan ke dalam komponen RPS, termasuk di dalamnya tujuan pembelajaran, strategi pengajaran, serta proses penilaian. Tujuan pembelajaran perlu diselaraskan dengan upaya untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah mahasiswa, serta literasi lingkungan yang memungkinkan mahasiswa memahami dan mengevaluasi dampak aktivitas manusia terhadap ekosistem. Tujuan pembelajaran juga diupayakan untuk meningkatkan litersi lingkungan masayarakat agar masyarakat memiliki pemahaman yang lebih baik terhadap dampak pencemaran ekosistem dan kesehatan, serta mampu mengambil tindakan yang berkelanjutan dalam menjaga dan memulihkan lingkungan. Selain itu, strategi pembelajaran berbasis proyek, seperti *citizen science*, dapat dimasukkan untuk memberikan pengalaman belajar yang kontekstual, di mana mahasiswa berpartisipasi aktif dalam pengumpulan data dan analisis dampak lingkungan secara langsung. Melalui proses penyesuaian kurikulum yang digunakan, RPS

tidak hanya sekedar memenuhi standar akademik, tetapi juga memberi informasi bagaimana membantu mahasiswa dalam mengembangkan keterampilan praktis yang relevan dengan tantangan lingkungan nyata yang dihadapi masyarakat.

Program pembelajaran yang diterapkan, disusun berurutan dengan Lembar Kerja Mahasiswa (LKM). Tujuannya adalah untuk memberikan panduan praktis dan terstruktur bagi mahasiswa dalam melaksanakan kegiatan belajar, baik di dalam kelas maupun dalam konteks praktik lapangan. LKM ini dirancang secara komprehensif, memuat berbagai informasi yang relevan dengan proyek pembelajaran berbasis *citizen science*, khususnya terkait pencemaran limbah tambang emas di daerah aliran sungai. Di dalamnya, mahasiswa menemukan tahapan-tahapan proyek *citizen science*, yang menjelaskan langkah-langkah mulai dari identifikasi masalah, pengumpulan data di lapangan, hingga analisis data dan penyusunan rekomendasi. LKM juga memuat tujuan umum pembelajaran, yang dihubungkan dengan tujuan khusus dari setiap kegiatan yang dilakukan, sehingga mahasiswa dapat memahami kompetensi yang ingin dicapai dalam setiap tahap proyek. Selain itu, LKM menyajikan uraian konsep-konsep ekologi yang terkait, seperti siklus air, rantai makanan, dan dampak polutan terhadap ekosistem, yang dapat mendukung pemahaman mahasiswa terhadap masalah lingkungan yang mereka pelajari. Langkah-langkah atau prosedur yang dijelaskan secara rinci di LKM membantu mahasiswa memahami konsep-konsep ini secara praktis melalui pengalaman langsung di lapangan. Panduan pelaksanaan proyek *citizen science* juga disertakan, memberikan instruksi jelas mengenai peran mahasiswa dalam proyek, termasuk metode pengukuran kualitas air serta penggunaan berbagai perangkat dan alat pendukung lainnya. LKM yang disusun juga dilengkapi dengan ruang untuk mencatat hasil pengamatan, di mana mahasiswa dapat merekam temuan mereka, melakukan analisis, serta merumuskan kesimpulan berdasarkan data yang dikumpulkan selama proyek berlangsung. Panduan praktik lapangan yang lebih spesifik membantu mahasiswa memahami konteks proyek, seperti cara memilih lokasi pengambilan sampel, langkah-langkah keselamatan di lapangan, dan metode analisis yang sesuai. Melalui berbagai elemen yang telah termuat, LKM menjadi alat yang sangat penting untuk memastikan pembelajaran yang

efektif, praktis, dan mendalam, serta mendorong keterlibatan aktif mahasiswa dalam proyek *citizen science* yang berfokus pada masalah lingkungan nyata.

a. Sinkronisasi RPS

Penyusunan program juga dilakukan dengan menyinkronkan antara Capaian Pembelajaran Lulusan (CPL), Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK), dan Sub-Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (Sub-CPMK). CPL, CPMK dan Sub-CPMK merupakan elemen-elemen penting dalam kurikulum yang berfungsi sebagai panduan untuk memastikan ketercapaian kompetensi yang diinginkan bagi lulusan. CPL dirancang untuk merumuskan kompetensi utama yang harus dimiliki oleh setiap lulusan program studi, menghubungkan pengetahuan teoretis dan keterampilan praktis yang relevan dengan bidang keahlian bagi mahasiswa, serta membentuk kepekaan sosial dan profesional. CPL dalam kurikulum pendidikan tinggi dirancang untuk melingkupi empat aspek utama yang membentuk kompetensi lulusan, yaitu Sikap (S), Pengetahuan (P), Keterampilan Umum (KU), dan Keterampilan Khusus (KK). Setiap aspek ini memiliki peran penting dalam mengembangkan lulusan yang kompeten secara komprehensif. Aspek Sikap dalam CPL mengacu pada nilai-nilai, etika, dan karakter yang diharapkan dari lulusan. Sikap mencakup kemampuan bekerja sama, memiliki kepekaan sosial, tanggung jawab terhadap lingkungan, dan kesadaran moral. Aspek Pengetahuan dalam CPL mencakup penguasaan konsep, teori, dan prinsip-prinsip ilmiah yang relevan dengan bidang studi, yang meliputi pemahaman yang mendalam tentang konsep Biologi. Keterampilan umum merujuk pada kompetensi nonteknis yang dapat diterapkan dalam berbagai situasi kerja dan kehidupan sehari-hari, seperti kemampuan berpikir kritis, berpikir sistematis, dan kreativitas. Keterampilan khusus mengacu pada kemampuan teknis dan praktis yang spesifik dalam bidang studi, yaitu biologi dan ekologi, serta kemampuan dalam melakukan penelitian atau pengelolaan lingkungan. Adapun uraian CPL mata kuliah ekologi yang dibebankan pada mata kuliah ekologi yang disusun diuraikan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 CPL Prodi yang Dibebankan pada Mata Kuliah Ekologi

CPL	Rumusan CPL	
CPL 1	S 7	Bekerja sama dan memiliki kepekaan sosial serta kepedulian terhadap masyarakat dan lingkungan.
CPL 2	P 3	Menguasai konsep, prinsip-prinsip dan aplikasi pengetahuan biologi pada bidang lingkungan (hayati), dan sumber daya hayati dalam pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya hayati maupun lingkungan
CPL 3	P 10	Menguasai pengetahuan dan langkah-langkah dalam mengembangkan pemikiran kritis, logis, kreatif, inovatif dan sistematis serta memiliki keingintahuan intelektual untuk memecahkan masalah pada tingkat individual dan kelompok dalam komunitas akademik dan non akademik
CPL 4	KU 1	Mengembangkan pemikiran logis, kritis, sistematis, dan kreatif dalam melakukan pekerjaan yang spesifik di bidang keahliannya serta sesuai dengan standar kompetensi kerja bidang yang bersangkutan
CPL 5	KU 5	Mengambil keputusan secara tepat dalam konteks penyelesaian masalah di bidang keahlian biologi, berdasarkan hasil analisis terhadap informasi dan data
CPL 6	KK 1	Mampu mengaplikasikan keilmuan biologi agar bermanfaat bagi diri sendiri dan masyarakat dalam kehidupan sehar-hari
CPL 7	KK 4	Mampu menyajikan alternatif solusi terhadap masalah bidang pengelolaan dan pemanfaatan sumberdaya hayati dalam lingkup spesifik, yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan secara tepat
CPL 8	KK 8	Menguasai manajerial, keterampilan kerja dan pengelolaan laboratorium biologi sebagai penunjang kegiatan pembelajaran biologi

CPMK merupakan turunan langsung dari CPL, merinci pencapaian yang harus dikuasai mahasiswa pada tiap mata kuliah agar mahasiswa bisa mencapai CPL. CPMK ini menghubungkan pembelajaran spesifik dalam mata kuliah dengan keseluruhan tujuan program studi. Adapun uraian CPMK mata kuliah ekologi yang dibebankan pada mata kuliah ekologi yang disusun diuraikan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 CPMK yang Dibebankan pada Pembelajaran Ekologi

CPMK	Rumusan CPMK
CPMK 1	Menguasai teori mengenai ruang lingkup ekologi dan hubungannya dengan ilmu lain terkait konsep ekosistem serta menerapkan pengetahuan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengkritisi permasalahan ekologis yang kompleks secara logis dan sistematis, dan menyajikan solusi berbasis bukti ilmiah melalui penguasaan konsep-konsep ekologi. (CPL 2, CPL 3 dan CPL 4)

CPMK	Rumusan CPMK
CPMK 2	Memahami dan mengaplikasikan prinsip-prinsip ekologi secara berkelanjutan, baik dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam profesi, dengan menekankan pentingnya kolaborasi dan keberlanjutan dalam pengelolaan sumber daya alam serta pelestarian lingkungan. (CPL 1, CPL 2 dan CPL 6)
CPMK 3	Mendemonstrasikan pemahaman tentang bagaimana energi dan materi dialirkan dalam ekosistem melalui fotosintesis, respirasi seluler, dan siklus biogeokimia, serta menggunakan pengetahuan pada tingkat molekuler, seluler, dan organisme untuk mengembangkan solusi ilmiah dalam pengelolaan sumber daya hayati dan mitigasi masalah lingkungan. (CPL 2, CPL 6, CPL 7, dan CPL 8)
CPMK 4	Menganalisis dampak aktivitas manusia, seperti penambangan, pertanian, dan industrialisasi, terhadap ekosistem dengan menggunakan teknologi pemantauan lingkungan, serta memberikan solusi untuk mitigasi dan restorasi lingkungan. (CPL 2, CPL 5 dan CPL 7)

Penyusunan CPMK pada mata kuliah ekologi merujuk pada sejumlah acuan utama yang dijadikan dasar agar kompetensi yang diharapkan dapat tercapai secara efektif. Pertama CPL program studi menjadi landasan fundamental, karena CPL merumuskan kompetensi umum yang harus dimiliki oleh setiap lulusan, termasuk penguasaan konsep ilmiah, keterampilan analitis, dan sikap profesional. Oleh karena itu, CPMK disusun untuk memandu mahasiswa menguasai dasar-dasar teori ekologi, menerapkan keterampilan berpikir kritis dan sistematis, serta menganalisis masalah lingkungan dalam rangka mencapai CPL terkait sikap, pengetahuan, keterampilan umum, dan keterampilan khusus.

Kedua, kebutuhan kompetensi di bidang ekologi dan lingkungan menjadi pertimbangan yang penting. Mata kuliah ekologi, memiliki tujuan untuk membekali mahasiswa dengan kemampuan praktis dalam memecahkan masalah ekologis. Misalnya, CPMK-1 menekankan pentingnya penguasaan teori ekologi agar mahasiswa mampu mengidentifikasi dan mengkritisi permasalahan lingkungan secara ilmiah, sementara CPMK-3 dan CPMK-4 membantu mahasiswa memahami dinamika ekosistem dan merumuskan solusi berbasis ilmu pengetahuan dalam mitigasi dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan.

Ketiga, prinsip keberlanjutan dan pengelolaan sumber daya alam menjadi acuan dalam menyusun CPMK agar mahasiswa tidak hanya memahami prinsip-

prinsip dasar ekologi, tetapi juga mampu mengaplikasikannya dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam profesi secara berkelanjutan. CPMK-2 misalnya, menekankan kolaborasi dan keberlanjutan dalam pengelolaan sumber daya alam, sehingga lulusan dapat berperan aktif dalam pelestarian lingkungan. Selain itu, pemanfaatan teknologi dan metode pemantauan lingkungan merupakan aspek penting yang diakomodasi dalam CPMK-4, di mana mahasiswa dilatih untuk menggunakan teknologi dalam memantau dan menganalisis dampak aktivitas manusia terhadap ekosistem. Penguasaan teknologi ini sangat penting untuk memperoleh data yang akurat dalam menyusun strategi mitigasi dan restorasi lingkungan.

Keempat, pendekatan ilmiah berbasis bukti menjadi dasar dalam setiap CPMK untuk memastikan bahwa mahasiswa dapat menyajikan solusi lingkungan yang efektif. CPMK-1 dan CPMK-3 misalnya, mendorong mahasiswa untuk menggunakan pendekatan berbasis data dalam menganalisis aliran energi, siklus biogeokimia, dan dinamika ekosistem sehingga solusi yang dihasilkan bersifat logis dan dapat dipertanggungjawabkan. Terakhir, keterhubungan ekologi dengan disiplin ilmu lainnya juga menjadi acuan penting. Pada CPMK-1, telah menekankan pentingnya pandangan interdisipliner agar mahasiswa memahami ekosistem secara menyeluruh dan mampu menghubungkan ilmu ekologi dengan ilmu lain untuk mendapatkan solusi yang lebih holistik dalam menangani masalah lingkungan.

Selanjutnya, Sub-CPMK merinci lebih lanjut kegiatan atau kompetensi yang harus dicapai pada tingkat sub-bahasan dalam mata kuliah, yang berfungsi mengarahkan mahasiswa untuk menguasai keterampilan dan pengetahuan yang lebih spesifik. Sub-CPKM yang disusun dalam pembelajaran ekologi yang membahas pencemaran limbah tambang emas di daerah aliran sungai dengan mengintegrasikan proyek *citizen science* di susun dengan struktur penyusunan prosedural (Junaidi, 2020), dimana posisi pembelajaran ekologi yang membahas pencemaran limbah tambang emas berada paling akhir setelah pembahasan lain dipelajari.

Penyusunan struktur ini bertujuan untuk memberikan mahasiswa pemahaman yang bertahap dari konsep dasar hingga aplikasi kompleks dalam situasi nyata. Awalnya, mahasiswa perlu memahami konsep dasar ekologi, seperti struktur ekosistem, dinamika populasi, dan interaksi antar spesies. Struktur ini menyediakan fondasi yang penting, agar mahasiswa dapat memahami bagaimana ekosistem bekerja secara alami dan bagaimana organisme berinteraksi dalam kondisi lingkungan tertentu. Setelah menguasai dasar-dasar tersebut, mahasiswa kemudian mempelajari konsep ekosistem yang lebih kompleks, termasuk aliran energi, siklus biogeokimia, dan faktor lingkungan yang memengaruhi keseimbangan ekosistem. Bekal awal yang telah mahasiswa peroleh dapat digunakan untuk menganalisis secara kritis dampak aktivitas manusia, seperti polusi dan perubahan penggunaan lahan, yang mengganggu siklus-siklus penting dalam ekosistem. Dalam konteks pembelajaran berbasis *citizen science*, pemahaman siklus alam dan dampak eksternal menjadi dasar yang krusial bagi mahasiswa untuk dapat mengidentifikasi dan menganalisis gangguan yang diakibatkan oleh pencemaran. Sehingga pembahasan tentang pencemaran limbah tambang emas yang ditempatkan di akhir urutan pembelajaran, dapat memberikan fungsinya sebagai aplikasi puncak dari seluruh konsep ekologi yang telah dipelajari. Pada titik ini, mahasiswa didorong untuk mampu menerapkan keterampilan analisis mereka dalam memahami dampak polusi logam berat, perubahan habitat, dan gangguan sosial-ekologis yang diakibatkan aktivitas penambangan. Selain itu juga, mereka dapat mengintegrasikan pengetahuan yang luas tentang ekosistem dengan keterampilan praktis dalam menganalisis masalah lingkungan yang kompleks serta merancang solusi yang berbasis data dan bukti ilmiah, seperti yang dijelaskan dalam dokumen RPS (Lampiran 2).

Penyusun Sub-CPMK untuk mata kuliah ekologi mengacu pada berbagai landasan penting yang digunakan untuk memastikan bahwa setiap sub-capaian mendukung kompetensi mahasiswa secara komprehensif. Pertama, Sub-CPMK disusun dengan mengacu pada CPMK yang lebih umum. Sub-CPMK dirancang untuk menjabarkan kompetensi spesifik yang perlu dikuasai mahasiswa dalam setiap aspek pembelajaran ekologi, sehingga langkah-langkah belajar menjadi

lebih terfokus dan terukur dalam mencapai CPMK tersebut. Kedua, aspek keilmuan multidisipliner menjadi acuan utama dalam merumuskan Sub-CPMK. Misalnya, Sub-CPMK 1 yang mencakup prinsip ekologi, biologi, biofisika, kimia, dan bioteknologi yang berkaitan erat dengan pemahaman yang diperlukan untuk mengukur kondisi ekosistem sungai. Pendekatan multidisipliner ini memastikan bahwa mahasiswa mampu mengaitkan konsep ekologi dengan berbagai ilmu lainnya, yang sangat relevan dalam konteks lingkungan kompleks seperti pencemaran akibat aktivitas penambangan. Ketiga, pendekatan analisis data menjadi acuan penting, terutama untuk Sub-CPMK yang berkaitan dengan pemahaman data lingkungan dan dampak penambangan, seperti Sub-CPMK 3 dan Sub-CPMK 4. Dengan berfokus pada penguasaan analisis data, mahasiswa diharapkan mampu mengidentifikasi dan menilai dampak pencemaran pada kualitas air, tingkat sedimentasi, serta kesehatan ekosistem secara keseluruhan, yang penting dalam mempersiapkan lulusan yang mampu berkontribusi pada mitigasi masalah lingkungan.

Acuan keempat menekankan pada kondisis sosial masyarakat lokal, sehingga Sub-CPMK dirancang dengan mempertimbangkan aspek sosial dan budaya, terutama dalam hal keterlibatan masyarakat. Sub-CPMK 5 dan Sub-CPMK 6 merupakan representasi dari acuan ini, dimana Sub-CPMK 5 dan Sub-CPMK 6 menekankan pentingnya pemahaman dinamika sosial dan kemampuan merancang program edukasi lingkungan yang dapat diterima oleh masyarakat lokal. Hal ini bertujuan agar mahasiswa tidak hanya memahami aspek teknis ekologi, tetapi juga memiliki keterampilan untuk melibatkan masyarakat dalam pelestarian lingkungan, yang sejalan dengan prinsip *citizen science*. Selain itu, Sub-CPMK mengedepankan pemahaman dampak sosial-ekonomi penambangan dan solusi berkelanjutan, seperti yang tercantum dalam Sub-CPMK 7. Penyusunan ini bertujuan untuk mendorong mahasiswa menganalisis dampak ekonomi dari penambangan ilegal serta mempertimbangkan keseimbangan antara kebutuhan ekonomi masyarakat dan perlindungan lingkungan. Sub-CPMK 7 juga memperkuat hubungan antara program yang disusun pada penelitian ini dengan program SDGs yang ditopang oleh tiga pilar utama yaitu lingkungan, ekonomi

dan sosial. Terakhir, kemampuan pengambilan keputusan berbasis data ilmiah dalam mengatasi masalah lingkungan sungai, seperti diuraikan pada Sub-CPMK 8, menjadi acuan untuk memastikan bahwa mahasiswa dapat mengajukan solusi praktis yang tepat sasaran dan berbasis bukti. Adapun Sub-CPMK yang dibebankan pada mata kuliah ekologi yang disusun diuraikan pada Tabel 3.7.

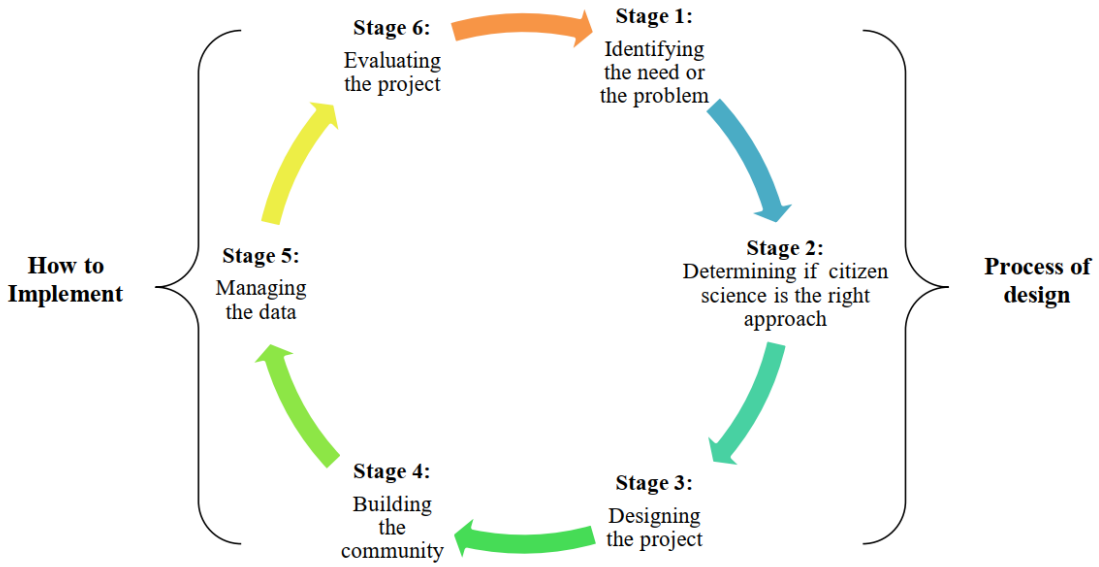
Tabel 3.7 Sub-CPMK yang Dibebankan pada Pembelajaran Ekologi

Sub-CPMK	Rumusan Sub-CPMK
Sub-CPMK 1	Menguasai prinsip-prinsip dan hakikat ekologi yang berkaitan dengan biologi, biofisika, kimia organic, biokimia sumber daya hayati, lingkungan hayati, bioteknologi yang relevan dan aplikasi biologi yang digunakan dalam pengelolaaan serta pemanfaatan sumber daya hayati maupun lingkungan sungai. (CPMK 1)
Sub-CPMK 2	Menganalisis pola atau hubungan antara aktivitas penambangan penambangan dan dampaknya pada lingkungan sungai dan masyarakat di sekitarnya. (CPMK 4)
Sub-CPMK 3	Menganalisis data lingkungan seperti kualitas air, tingkat sedimentasi, atau polusi logam berat yang berasal dari penambangan emas. (CPMK 4)
Sub-CPMK 4	Menganalisis dampak negatif penambangan emas terhadap kualitas air, kesehatan manusia, dan ekosistem sungai secara keseluruhan. (CPMK 4)
Sub-CPMK 5	Memahami dinamika sosial serta budaya setempat dan menerapkan strategi untuk memaksimalkan keterlibatan masyarakat lokal. (CPMK 2)
Sub-CPMK 6	Merancang program edukasi masyarakat yang berkaitan dengan lingkungan. (CPMK 2)
Sub-CPMK 7	Menganalisis dampak sosial dan ekonomi dari penambangan emas ilegal dan memberikan solusi yang berkelanjutan untuk menyeimbangkan antara kebutuhan ekonomi masyarakat dan perlindungan lingkungan. (CPMK 4)
Sub-CPMK 8	Menggunakan data ilmiah dalam mengajukan solusi dan pengambilan keputusan yang berhubungan dengan permasalahan lingkugan sungai. (CPMK 3 dan CPMK 4)

Melakukan sinkronisasi hubungan antara CPL, CPMK, dan Sub-CPMK dalam riset ini sangat penting untuk memastikan bahwa mahasiswa tidak hanya memahami teori tetapi juga dapat mengaplikasikannya secara praktis. Struktur CPL, CPMK, dan Sub-CPMK yang saling bersinergis, diharapkan dapat membentuk lulusan yang kompeten dalam memecahkan masalah ekologi sesuai dengan konteks di lapangan dengan menggunakan pendekatan ilmiah dan berorientasi pada keberlanjutan, serta memastikan kontribusi yang signifikan bagi pengelolaan lingkungan dan kesejahteraan masyarakat.

b. Desain proyek *citizen science*

Penyusunan desain proyek *citizen science* merujuk pada analisis kebutuhan dimana penyususn proyek ini mengacu pada 6 tahapan dalam mendesain proyek *citizen science* (Fraisl *et al.*, 2022). Desain proyek ini dirancang khusus untuk memandu pengembangan dan implementasi proyek *citizen science* dalam konteks pendidikan ekologi terkait kerusakan lingkungan sungai yang diakibatkan aktivitas pertambangan emas. Poin penting dalam pengembangan ini yaitu menyoroti perlunya pendekatan yang disesuaikan dengan tantangan dan peluang unik yang ditimbulkan oleh ekosistem sungai yang terdampak aktivitas pertambangan. Di sisi lain, ada pandangan yang mengungkapkan bahwa tidak ada satu pendekatan yang cocok untuk diterapkan pada semua *citizen science*, sehingga tahapan-tahapan dalam *citizen science* perlu disesuaikan dengan konteks dari proyek yang diterapkan (Fraisl *et al.*, 2022). Oleh karena itu penyusunan desain proyek *citizen science* mengadaptasi referensi yang dibahas oleh Fraisl *et al.* (2022) yang merekomendasikan siklus 6 tahapan untuk mendesain proyek *citizen science*, khususnya dalam kajian lingkungan dan ekologi. Tahapan urutan siklus untuk mendesain proyek *citizen science* disajikan pada gambar 3.3.



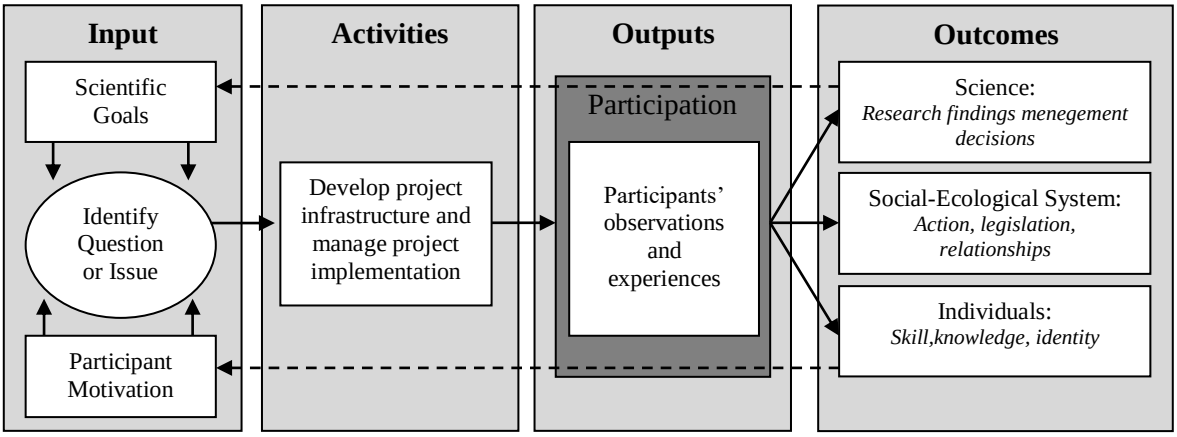
Gambar 3.3: Tahapan Perancangan Proyek *Citizen Science* (Fraisl *et al.*, 2022)

Secara umum, siklus di atas menggambarkan dua kelompok utama pada tahapan penyusunan desain proyek *citizen science*, yaitu bagian "*process of design*" dan bagian "*how to implement*". Pada bagian proses mendesain terdapat tiga tahapan yang perlu dilakukan hingga pada akhirnya menghasilkan proyek *citizen science* dalam bentuk tahapan yang terstruktur. Sementara itu pada bagian "*how to implement*" terdapat tiga tahapan yang perlu diperhatikan, yang mana inti dari ketiga tahapan tersebut adalah bagaimana proyek ini diimplementasikan pada mata kuliah ekologi yang mengangkat isu pencemaran sungai akibat limbah penambangan emas. Meskipun bagian kedua merupakan bagian dari "aksi lapangan" yang diimplementasikan setelah proyek selesai disusun, namun skenario implementasinya sudah terdeskripsi di dalam tahapan proyek yang di susun.

Penyusunan desain proyek ini juga memperhatikan konsep yang dibahas pada pembelajaran ekologi. Penguatan konsep ekologi dalam proyek ini, dilakukan melalui pendekatan kolaboratif antara mahasiswa dan masyarakat. Keterlibatan masyarakat dalam kegiatan pemantauan kualitas ekosistem daerah aliran sungai memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang interaksi antara manusia, flora, fauna, dan faktor lingkungan yang mempengaruhi keseimbangan ekosistem sungai. Kegiatan pemantauan dilakukan dengan menggunakan acuan dari WFD. Proyek yang disusun mengadopsi pengukuran tiga elemen yang diterapkan oleh EEA, yaitu dengan menilai potensi ataupun status ekologi perairan yang dilakukan melalui pengukuran *biological quality elements, physic-chemical elements* dan *hydromorphological quality elements* (EEA, 2018). Kegiatan proyek juga mengarahkan untuk memperoleh informasi tentang tingkat polusi dan degradasi habitat yang ada di sekitar area penambangan emas. Data yang diperoleh dari kegiatan pengukuran, dapat digunakan sebagai acuan untuk mengajukan berbagai ide, gagasan ataupun saran yang dapat diambil sebagai tindakan untuk mencegah tingkat kerusakan ataupun mengurangi laju tingkat kerusakan sungai yang disebabkan oleh kegiatan penambagan emas.

Penyusunan proyek *citizen science* untuk pembelajaran ekologi juga memperhatikan dua kelompok partisipan yang terlibat, yaitu mahasiswa dan

masyarakat. Kedua partisipan memperoleh *outcome* yang berbeda, sehingga intensitas keterlibatan masing-masing kelompok disesuaikan dengan perbedaan *outcome* tersebut. Pada proses konstruksinya, penentuan intensitas keterlibatan partisipan dilakukan melalui penggunaan model proyek *citizen science*. Karena desain proyek *citizen science* ini menawarkan cakupan spektrum intensitas partisipasi dan menawarkan berbagai jenis kegiatan yang beragam, maka penentuan model proyek yang digunakan, mengacu pada "*public participation in scientific research*" (Shirk *et al.,* 2015). Model yang cocok untuk digunakan pada desain proyek *citizen science* ini adalah *logic model* yang secara ringkas disajikan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4: *Citizen Science Logic Model*, Lorke *et al.* (2021), diadaptasi dari Shirk *et al.* (2012)

Logic model yang diadopsi dalam desain ini mengarahkan penggunaan dua model yang berbeda, dimana masing-masing model dapat digunakan untuk menentukan tingkat intensitas keterlibatan dua kelompok partisipan di dalam projek. Model yang digunakan dalam proyek ini menyediakan lebih banyak kesempatan khususnya bagi mahasiswa untuk memperoleh *output* dan *outcome,* serta mendorong keterlibatan optimal dari masyarakat. Penggunaan dua model yang terpisah mempermudah dalam menentukan jenis kegiatan untuk masing-masing partisipan (Bruckermann *et al.,* 2018). Dalam konteks ini, model keterlibatan yang sesuai untuk mahasiswa adalah *collaborative project* dan model keterlibatan yang cocok untuk masyarakat adalah *contributory project*.

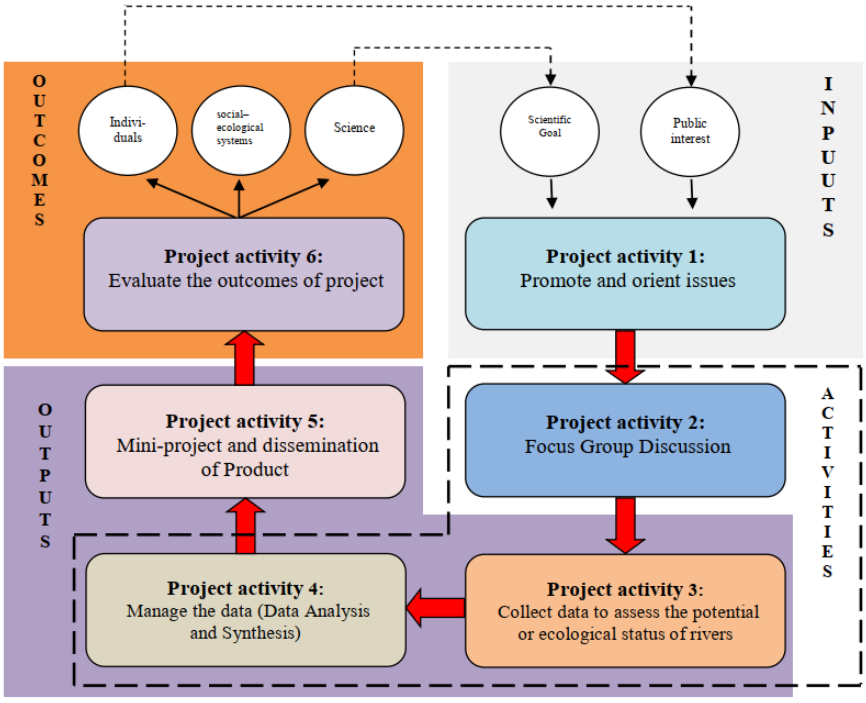
Proyek *citizen science* yang disusun dalam pembelajaran ekologi juga mengupayakan untuk meningkatkan keterlibatan mahasiswa dalam menyelesaikan berbagai permasalahan yang dekat dengan kehidupan mereka. Penerapan ini tentunya memperhatikan *collaborative projects* sebagai model keterlibatan yang digunakan. Untuk memaksimalkan kegiatan pembelajaran ekologi yang ditanamkan proyek citizen, dibutuhkan kerangka kerja sebagai pendukung elemen-elemen di dalamnya. Pemilihan kerangka kerja yang relevan dengan model yang digunakan merupakan bagian penting untuk mensukseskan kegiatan pembelajaran yang disusun (Spires *et al.,* 2021). Kerangka kerja yang dipilih dalam proyek ini adalah kerangka kerja berbasis pada penelitian (*research-based framework*) yang diadopsi dari Ballard *et al.* (2017). Penggunaan kerangka kerja, bertujuan untuk membantu mahasiswa mendapatkan kegiatan pembelajaran yang tidak hanya sekadar mengumpulkan data melalui kegiatan *citizen science* saja, namun juga bagaimana meningkatkan kemampuan analitis dan kritis mahasiswa melalui proses inquiri, interpretasi, refleksi, dan aplikasi pengetahuan ilmiah untuk menemukan konsep ekologi didalam konteks yang nyata (Harris & Ballard, 2018).

Hal yang harus dilakukan untuk mengoptimalkan pengitegrasian ini adalah mempertimbangkan bagaimana cara merancang dan memfasilitasi aktivitas tersebut untuk menyediakan pembelajaran yang bermakna dengan melibatkan peran serta mahasiswa dalam melakukan kolaborasi. Salah satu solusi yang dipilih untuk menghubungkan antara *research-based framework* dengan *collaborative projects model* yaitu dengan memberikan ruang khusus kepada mahasiswa untuk menyusun *mini-project* yangmereka kerjakan. Kegiatan ini mendorong mahasiswa untuk dapat bekerjasama, berkolaborasi, dan saling berbagi pengetahuan serta keterampilan yang beragam, baik untuk sesama mahasiswa maupu ke masyarakat, yang pada gilirannya meningkatkan kualitas dan inovasi dalam setiap proyek yang mereka kerjakan. Selain itu, kerangka kerja berbasis penelitian memberikan dasar metodologis yang kuat, memastikan bahwa proyek tersebut tidak hanya inovatif tetapi juga memiliki landasan ilmiah yang solid. Dengan demikian, pengintegrasian kedua elemen ini kedalam *mini-project* tidak hanya memperkaya

pengalaman belajar mahasiswa, tetapi juga meningkatkan relevansi dan aplikasi praktis dari pengetahuan yang mereka peroleh selama proses pembelajaran. Aktivitas inimembentuk lingkungan pembelajaran aktif dan aplikasi teori dalam praktek nyata, yang merupakan aspek kritis dalam pendidikan tinggi saat ini.

c. Hasil desain proyek *citizen science*

Merujuk pada *logic model* (Gambar 3.4) yang memperlihatkan empat bagian utama desain yaitu *input, activities, outputs*, dan *outcomes*. Secara keseluruhan, model ini menunjukkan bagaimana proyek *citizen science* dapat merubah input menjadi aktivitas terstruktur yang menghasilkan output tertentu, yang pada akhirnya mempengaruhi *outcome* baik dari sisi ilmiah, sistem sosial-ekologis, maupun pada tingkat individu. *Logic model* memberikan kerangka kerja yang jelas untuk menghubungkan *input* dan aktivitas dengan *output* yang diinginkan dan hasil yang lebih luas. Adapun gambaran hasil desain tahapan proyek *citizen science* pada mata kuliah ekologi yang mengadaptasi *logic model* pada kasus yang diangkat disajikan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5: Tahapan Kegiatan Proyek *Citizen Science* pada Mata Kuliah Ekologi diadaptasi dari Lorke *et al.* (2021), and Shirk *et al.* (2012)

Tahapan kegiatan proyek *citizen science* pada mata kuliah ekologi pada Gambar 3.5 juga memperhatikan siklus 6 tahap (Gambar 3.3). Secara umum, tahapan kegiatan proyek *citizen science* pada mata kuliah ekologi memvisualisasikan hubungan antara empat bagian utama yaitu sumber daya yang tersedia (*input*), kegiatan yang dilaksanakan (*activities*), *output* yang dihasilkan, dan *outcome* yang diharapkan. Masing-masing bagian memuat *project activity* yang mempresentasikan aktivitas yang dilakukan oleh partisipan di dalam proyek. Penentuan posisi dari masing-masing kegiatan proyek pada setiap bagian disesuaikan dengan karakteritik dari *logic model* dan juga kegiatan partisipan di dalam project. Pada bagian "*input*" memuat kegiatan proyek untuk mempromosikan yang mengorientasikan masalah yang dilakukan oleh partisipan. Bagian "*activities*" dan "*output*" memuat kegiatan proyek yang saling beririsan. Bagian "*activities*" merupakan bagian dari pengembangan infrastruktur proyek dan managemen implementasi proyek yang ditujukan untuk menghasilkan *mini-project* yang diimplementasilkan pada bagian selanjutnya. Sehingga *project activity* yang terlibat pada bagian ini adalah project activity 2, 3 dan 4 yang merupakan aktivitas dalam menghasilkan informasi untuk menyusun *mini-project*. Bagian "*output*" merupakan wadah bagi partisipan untuk melakukan observasi dan memperbanyak pengalaman sehingga yang terlibat adalah *project activity* 3, 4 dan 5 yang merupakan aktivitas yang menyediakan pengalaman dan keterampilan bagi seluruh partisipan. Bagian akhir yaitu *outcome* merupakan hasil atau luaran yang diharapkan dari proyek *citizen science* yang mencerminkan dampak dan kontribusi dari impelemntasi proyek.

Focus Group Discussion (FGD) bertujuan untuk memperdalam pemahaman yang diperoleh mahasiswa terhadap permasalahan yang sedang dibahas dengan menghadirkan narasumber dari institusi pemerintahan yang bertanggung jawab terhadap permasalahan lingkungan. FGD memfasilitasi dialog dan pertukaran informasi secara langsung antara ahli lingkungan yang telah berpengalaman. Lebih jauh FGD mendorong tercapainya pemahaman yang lebih baik terhadap masalah yang dibahas (Cigarini *et al.*, 2022), yaitu pencemaran limbah tambang emas di daerah aliran Sungai Batanghari. Diskusi juga dapat membuka

pengalaman dan memperjelas dampak masalah bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat (Santos *et al.*, 2019). Selain itu juga memberi arah bagi mahasiswa untuk fokus dengan permasalahan yang diajukan dan merumuskan strategi penanggulangan serta solusi yang dapat diimplementasikan secara efektif melalui *mini-project* yang mereka kerjakan. Tema-tema kunci yang berkaitan dengan permasalahan dapat diidentifikasi dari diskusi yang dilakukan di dalam FGD sehingga memunculkan banyak ide yang dapat diterapkan pada proyek mahasiswa (Kenneally, 2021). Dengan melibatkan pihak yang terkait, diharapkan solusi yang dihasilkan memiliki sifat berkelanjutan dan dapat mendukung upaya untuk mengurangi pencemaran limbah tambang emas serta menjaga keberlanjutan ekosistem sungai. Setelah memperoleh berbagai informasi dan pengetahuan dari kegiatan FGD mahasiswa diarahkan untuk menyusun desain awal dari *mini-project* yang mereka kerjakan.

Mini–project merupakan kegiatan yang relevan dengan kerangka kerja yang digunakan pada proyek ini. Rujukan utama yang mendasarinya adalah *research-based framework* dari Ballard *et al.* (2017) dan prosedur ilmiah dari taharah *citizen science* yang diungkapkan oleh Aripin dan Hidayat (2024). Konsep yang diterapkan di dalam project memanfaatkan tiga elemen inti yang saling berhubungan sesuai dengan hasil yang telah diterapkan oleh Harris & Ballard (2018) dengan mengadaptasi hasil Basu & Calabrese Barton (2009). Bagian pertama merupakan bagian yang paling mendasar yaitu mahasiswa mengembangkan pemahaman tentang konten ilmu lingkungan dan praktik penyelidikan. Bagian ini dapat mengembangkan pemahaman mahasiswa yang lebih mendalam tentang ekosistem ditempat mereka menerapkan proyek. Mahasiswa belajar bagaimana mengumpulkan dan menganalisis data, mengevaluasi kualitas data, menarik kesimpulan, dan mengkomunikasikan temuan melalui tulisan dan presentasi. Bagian kedua berkaitan dengam cara mahasiswa mengidentifikasi diri sebagai ahli dan mengembangkan peran yang dipersonalisasi dalam karya ilmiah. Pada bagian ini mahasiswa dapat berperan layaknya ahli yang berkolaborasi bersama rekannya dan juga masyarakat dalam mengumpulkan data ataupun mengatur jalannya proyek ataupun presentasi

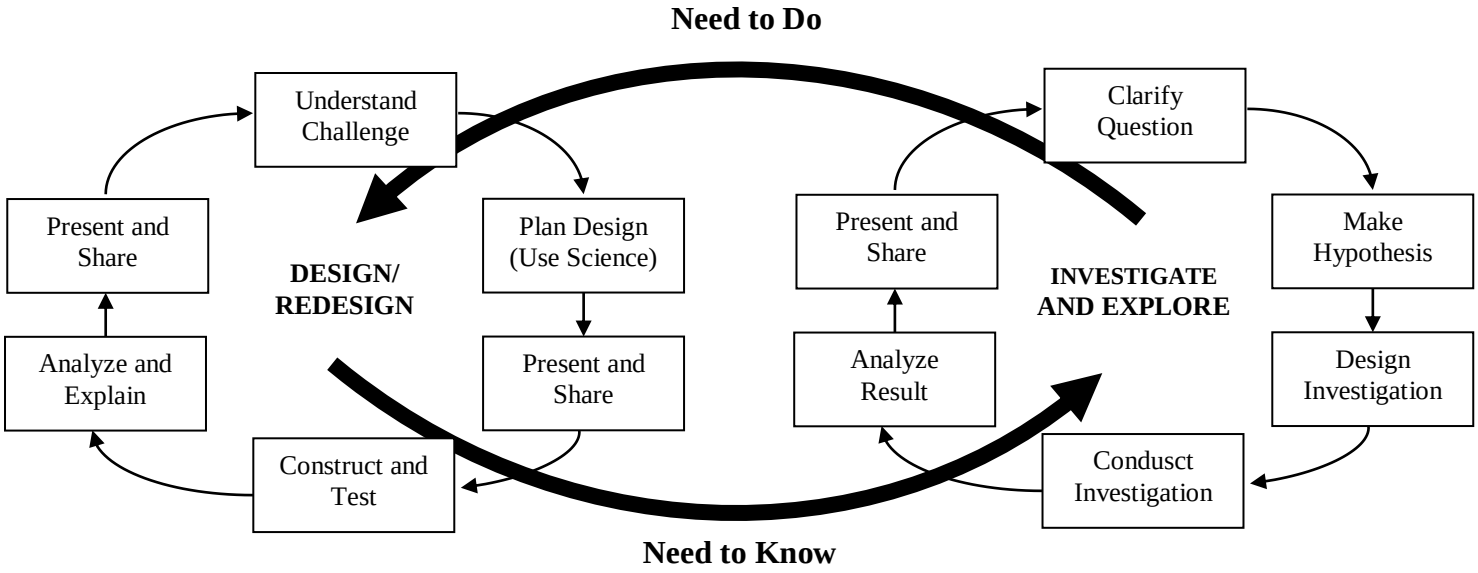
mereka. Bagian ketiga mahasiswa memanfaatkan pengalaman *citizen science* mereka untuk menciptakan perubahan baik dalam skala besar maupun skala kecil yang dapat mereka sebarkan dalam kehidupan atau komunitas masyarakat. Mahasiswa dapat mewujudkan pengalaman tersebut melalui berbagai cara, mulai dari mendapatkan kepercayaan diri untuk berbagi ide, hingga mengadvokasi perubahan pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan hidup kepada masyarakat. Bagian ketiga ini merupakan ruang yang yang tepat untuk meletakkan *mini-project* sebagai sarana dalam mengaktualisasi ide dan gagasan mahasiswa dengan menghadirkan solusi terhadap permasalahan yang telah mereka temukan di lapangan.

Project-based inquiry merupakan pendekatan yang dapat digunakan dalam kegiatan *mini–project* dalam proyek ini. Aktivitas pendidikan yang mengimplementasikan *project-based inquiry* menekankan pada pembelajaran aktif melalui proyek yang dirancang untuk menangani masalah nyata (Kolodner *et al.,* 2016). *Project-based inquiry* berakar pada pembelajaran berbasis masalah (Boss & Krauss, 2018; Spires *et al.,* 2019), yang dibangun berdasarkan orientasi yang kuat terhadap permasalahan dunia nyata. Pendekatan inkuiri memungkinkan serangkaian alat dan sumber daya teknologi digunakan oleh mahasiswa untuk mengeksplorasi dan menciptakan pengetahuan baru dengan menjawab pertanyaan yang menarik (Spires *et al.,* 2021). Pendekatan *Project-based inquiry* menyediakan kesempatan bagi mahasiswa dalam mengembangkan dan menerapkan strategi untuk mencari jawaban atau solusi dari permasalahan yang mereka temui. Mahasiswa juga dapat menggunakan berbagai sumber daya dan teknologi yang dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan yang sedang mereka tangani. Pendekatan ini juga memberi ruang bagi mahasiswa untuk berkolaborasi dengan teman-teman mereka dan juga masyarakat, serta memberi kesempatan untuk mengkomunikasikan temuan mereka kepada masyarakat yang lebih luas.

Pendekatan *project-based inquiry* yang diterapkan di dalam proyek, merujuk pada Kolodner *et al.,* (2015) yang merupakan pendekatan untuk mempelajari konten dan keterampilan sains melalui pengalaman langsung dengan

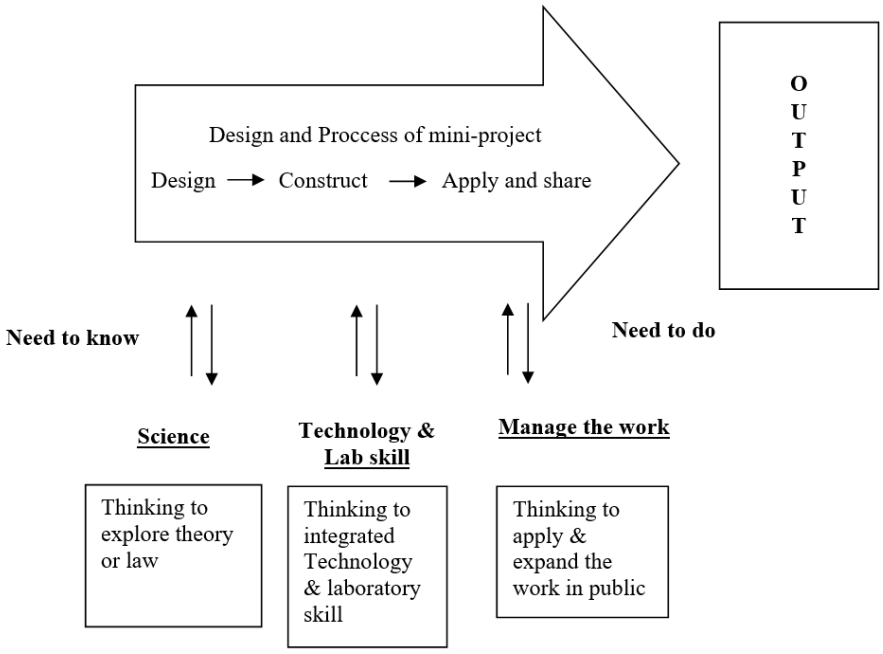
melakukan tantangan desain. Tantangan tersebut diawali dengan menyajikan skenario dan masalah kepada mahasiswa dan menantang mereka untuk merancang perangkat atau proyek yang digunakan dalam memecahkan masalah tersebut. Pada konteks ini, masalah yang diangkat oleh mahasiswa sesuai dengan kondisi nyata di lapangan yang didukung oleh data yang diperoleh dari hasil analisis dan sintesis. Skenario dan masalah dalam unit desain dipilih dengan cermat untuk mengarahkan mahasiswa ke dalam penyelidikan konsep sains tertentu, dan proses penyelesaian disusun secara cermat dengan menggunakan keterampilan penalaran ilmiah tertentu (Kolodner *et al.,* 2016). Mahasiswa yang terlibat dalam tantangan desain memiliki kesempatan untuk melakukan penyelidikan. Kegiatan penyelidikan dapat dilakukan kapanpun sesuai dengan kebutuhan selama proses desain (Yata *et al.,* 2020).

Desain belajar pada pendekatan *project-based inquiry* yang digunakan Kolodner *et al.* (2015) terdiri dari dua elemen utama. Setiap elemen mewakili masing-masing kompenennya. Elemen pertama adalah "*design*/*redesign*", sedangkan elemen berikutnya adalah "*investigate* and *explore*". Interaksi dari elemen project-based inquiry beserta kompenen-kompenenya disajikan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6: Desain *Project-Based Inquiry* (Kolodner *et al.,* 2015)

Interaksi dan Siklus yang terjadi pada setiap elemen pada Gambar 3.6, memberikan ilustrasi bahwa transisi dari "*design/redesign*" menjadi "*investigate and explore*" ditandai dengan tanda panah berlabel "*need to know*", sedangkan transisi dari "*investigate and explore*" menjadi "*design/redesign*" diwakili oleh tanda panah berlabel "*need to do*". Cara berpikir seperti ini berguna dalam mempertimbangkan relevansi timbal balik antara proses sains yang terjadi (Yata *et al.*, 2020). Merujuk pada siklus 6 tahap pada Gambar 3.3, bagian yang digunakan untuk kegiatan *mini-project* yang diterapkan mahasiswa pada kegiatanya menekankan pada jalur "*need to do*" yang mengarah pada elemen "*design/redesign*". Sedangkan untuk jalur "*need to know*" yang mengarah pada proses "investigate and explore" telah ditempuh mahasiswa pada kegiatan ke 1 (*Promote and Orient Issues*), kegiatan 2 (*Focus Group Discussion*), kegiatan ke 3 (*Collect Data*) dan kegiatan ke 4 (*Manage the Data*). Kompenen *need to do* yang diterapkan oleh mahasiswa untuk *mini-project* dilakukan dengan mengadaptasi kompenen yang sudah ada namun disesuaikan dengan konteks dari proyek ini. Sehingga kompenen-komponen tersebut disederhanakan menjadi 3 kompenen utama yaitu *Desain, Construct,* serta *Apply and share*.



Gambar 3.7: Kerangka Kerja *Mini-Project* Mahasiswa dalam Kerangka Proyek *Citizen Science* pada Mata Kuliah Ekologi.

Proses dari setiap kompenen-kopenen ini membutuhkan dukungan pengetahuan, prinsip, teori dan keterampilan yang relevan sesuai dengan faktor-faktor yang terkait seperti material, model, dan teknologi yang digunakan. Oleh sebab itu dibutuhkan pengetahuan, keterampilan dan gaya berpikir yang memadai untuk mengakomodir hal tersebut. Pengetahuan dan gaya berpikir dalam konteks ini berkaitan langsung dengan pengetahuan terhadap teori dan hukum di dalam *science*, penerapan *technology* dan *laboratory skill* serta manajemen pekerjaan (*manage the work*). *Output* dari *mini-project* yang diterapkan mahasiswa diklaim sebagai produk dari project *citizen science*. Kerangka kerja *mini-project* mahasiswa secara sederhana disajikan pada Gambar 3.7.

d. Lembar Kerja Mahasiswa

Informasi yang dikumpulkan dari kegiatan studi pustaka memperoleh gambaran tentang Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) yang relevan untuk digunakan pada level perguruan tinggi. LKM adalah dokumen atau media yang dirancang khusus untuk membantu mahasiswa dalam memahami dan mempraktikkan materi perkuliahan secara mandiri atau terstruktur. LKM menjadi alat bantu pembelajaran yang terdiri dari beberapa komponen utama yang dirancang untuk memfasilitasi proses belajar secara mandiri dan terarah. Komponen pertama adalah tujuan pembelajaran, yang memuat kompetensi atau hasil belajar yang diharapkan tercapai oleh mahasiswa setelah menyelesaikan aktivitas dalam LKM. Dengan memahami tujuan ini, mahasiswa dapat lebih fokus dalam mencapai target pembelajaran. Selanjutnya, petunjuk pembelajaran memberikan instruksi langkah-langkah yang harus diikuti, termasuk informasi tentang waktu, metode yang digunakan, dan sumber pendukung yang diperlukan, agar mahasiswa dapat menyelesaikan pembelajaran dengan cara yang efektif dan efisien. Materi atau teori pendukung juga sering disertakan sebagai referensi, berupa ringkasan materi penting untuk membantu mahasiswa mengingat konsep utama dan teori yang relevan dengan topik LKM.

Tugas atau latihan merupakan alat yang ada di dalam LKM, digunakan untuk mengukur tingkat pemahaman dan keterampilan mahasiswa dalam menerapkan konsep yang telah diperoleh dalam kegiatan pembelajaran. Tugas

atau latihan yang ada di dalam LKM umumnya berbentuk serangkaian soal atau aktivitas yang terstruktur, tugas ini tidak hanya berfungsi sebagai evaluasi pengetahuan teoritis, tetapi juga sebagai sarana bagi mahasiswa untuk mengasah kemampuan analisis, pemecahan masalah, dan penerapan konsep dalam konteks nyata. Beragam bentuk tugas, seperti pilihan ganda, esai, proyek kelompok, atau studi kasus, memungkinkan dosen untuk melihat sejauh mana mahasiswa dapat menginternalisasi materi dan mengaplikasikannya sesuai dengan tujuan pembelajaran. Selain itu, LKM umumnya memuat lembar refleksi dan evaluasi diri, dimana bagian ini memungkinkan mahasiswa untuk menilai pemahaman mereka sendiri, mengidentifikasi tantangan, serta merenungkan proses belajar yang telah dijalani, sehingga dapat memperbaiki dan meningkatkan pemahaman. Komponen terakhir yang umumnya ada pada LKM adalah *feedback* atau rubrik penilaian, yang berfungsi memberikan pedoman penilaian atau kriteria keberhasilan pada tugas-tugas yang diselesaikan. Melalui lembar rubrik penilaian, mahasiswa dapat memahami standar penilaian dosen dan mengetahui aspek-aspek yang perlu diperhatikan untuk mencapai hasil yang optimal.

LKM yang di gunakan untuk pembelajaran ekologi berbasis proyek *citizen science* dirancang dan dikembangkan melalui beberapa pertimbangan yang meliputi tujuan dari perkuliahan, karakteristik pembelajaran ekologi, karakteristik *citizen science*, dan karakteristik masalah yang dibahas yaitu pencemaran sungai akibat penambangan emas. Tujuan perkuliahan ekologi pada riset ini, menjadi acuan untuk memfasilitasi perkembangan pengetahuan, keterampilan, dan juga sikap serta perilaku dengan melibatkan pembelajaran kontekstual yang sesuai dengan isu lokal. Menyusun LKM yang mengacu pada tujuan perkuliahan, memerlukan pendekatan yang holistik dan terstruktur. Pemilihan isu lingkungan yang relevan dengan konteks lokal, merupakan bagian yang penting dalam penyusunan LKM. Pemilihan isu lingkungan menjadi bagian dari struktur yang harus ditentukan di awal. Isu lingkungan yang tepat, dapat meningkatkan keterlibatan emosional mahasiswa dan relevansi pembelajaran mahasiswa terhadap kehidupan sehari-hari. Selain itu ekologi sebagai disiplin ilmu yang menekankan pada pemahaman sistemik tentang hubungan antar komponen

ekosistem serta dampak aktivitas manusia terhadap keseimbangan alam juga perlu dipertimbangkan posisinya dalam penyusunan LKM. Lembar kerja yang baik harus mencakup kegiatan yang memungkinkan mahasiswa menganalisis interaksi dalam ekosistem sungai dan memahami dampak dari kegiatan pertambangan emas rakyat, terhadap kualitas air dan biodiversitas (Jordan *et al.*, 2011). LKM yang dirancang secara kontekstual mempermudah mahasiswa untuk memperoleh pengalaman nyata yang memungkinkan mahasiswa mengaplikasikan teori ekologi sesuai dengan situasi dilapangan, khususnya dalam mengamati dan mengevaluasi dampak aktivitas pertambangan terhadap ekosistem sungai setempat. Peran *citizen science* sebagai pendekatan yang digunakan untuk memfasilitasi mahasiswa dalam memperoleh pengalaman lapangan tersebut, merupakan bagian yang perlu diperhatikan dalam penyusunan LKM.

Kegiatan proyek berbasis lapangan merupakan inti dari LKM ekologi berbasis proyek *citizen science*. Kegiatan proyek lapangan mengajak mahasiswa untuk terjun langsung ke lingkungan sekitar, berkolaborasi dalam mengamati dampak pencemaran, dan mengumpulkan data, sehingga keterampilan mahasiswa dalam metode ilmiah berkembang seiring dengan peningkatan pemahaman kontekstual terhadap isu yang dihadapi (Bonney *et al.*, 2016). Kegiatan proyek lapangan mahasiswa diarahkan untuk mengasah keterampilan pemecahan masalah melalui proses analisis dan berpikir kritis, serta mengelola data hasil pengamatan dan menarik kesimpulan yang didasarkan pada bukti empiris. Kegiatan proyek lapangan membutuhkan dasar teori dan konsep yang dapat digunakan untuk menunjang proses tersebut. Pemilihan kosep-konsep yang relevan, seperti konsep pencemaran dan toksikologi lingkungan, bioindikator, suksesi ekologi, serta restorasi ekologi dapat membantu mahasiswa dalam mengaitkan data lapangan dengan prinsip ilmiah. Diskusi kelompok dan kolaborasi dengan masyarakat atau pakar lokal juga dapat menambah dimensi sosial pada pembelajaran, dimana mahasiswa dapat berinteraksi, berdiskusi, dan mendapatkan perspektif baru mengenai dampak isu lingkungan pada masyarakat (Ballard *et al.*, 2024).

Berdasarkan berbagai uraian yang telah disampaikan, LKM yang digunakan untuk menunjang pembelajaran ekologi berbasis *citizen science* pada kasus

pencemaran sungai akibat limbah tambang emas secara umum tersusun dalam 4 bagian utama. Keempat bagian ini dijadikan dasar dalam penyusunan LKM yang digunakan untuk memandu pembelajaran ekologi berbasis proyek *citizen science*. Empat bagian utama tersebut diuraikan pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Bagian Utama LKM pada Program Pembelajaran Ekologi berbasis *Citizen Science*

No	Bagian LKM	Muatan yang ditekankan
1	Informasi umum LKM	Bagian ini berkaitan dengan deskripsi pengantar LKM. Informasi yang disediakan pada bagian ini meliputi: petunjuk penggunaan LKM, tahapan proyek *citizen science*, panduan umum FGD, prosedur keselamatan di lapangan, etika penelitian, panduan persiapan praktek lapangan, petunjuk pengumpulan data di lapangan, panduan menyususn *mini-project*, panduan umum diseminasi produk *mini-project*, panduan umum pengumpulan data dan ujicoba kualitas air sungai, panduan umum penggunaan aplikasi permodelan lingkungan, panduan umum penyusunan laporan.
2	Bahan bacaan	Bagian ini memberikan pemahaman teoritis bagi mahasiswa sebelum melakukan kegiatan lapangan. Bahan bacaan dapat membantu mahasiswa menghubungkan antara teori dengan praktik, serta memperkaya wawasan mahasiswa terhadap permasalahan yang dibahas. Referensi yang disediakan juga bisa mencakup artikel ilmiah atau laporan penelitian yang berhubungan dengan isu pencemaran akibat aktivitas tambang.
3.	Panduan Praktek Lapangan	Panduan praktek lapangan berisi langkah-langkah teknis yang harus diikuti mahasiswa saat berada di lapangan, seperti metode pengambilan sampel air, pengukuran kualitas air, serta observasi visual terhadap dampak lingkungan. Panduan ini juga mencakup peralatan yang diperlukan, prosedur keamanan, dan etika penelitian yang harus diikuti, sehingga mahasiswa dapat melakukan kegiatan lapangan dengan aman, sistematis, dan bertanggung jawab. Selain itu, panduan ini mengarahkan mahasiswa untuk mengumpulkan dan mencatat data yang relevan, serta menyiapkan mereka untuk melakukan analisis data, kemudian dikaitkan dengan teori ekologi yang telah dipelajari.
4.	Evaluasi Pembelajaran	Evaluasi pembelajaran dalam LKM memuat pengukuran variabel penelitian yang meliputi keterampilan pemecahan masalah dan literasi lingkungan. Pengukuran ini bertujuan untuk memastikan bahwa mahasiswa tidak hanya mampu menerapkan teori dalam konteks nyata tetapi juga mengembangkan kesadaran kritis dan tanggung jawab terhadap lingkungan.

2. Penyusunan instrumen penilaian

Bagian ini membahas tentang penyusunan instrumen penilaian yang digunakan untuk mengukur berbagai aspek keterampilan dan literasi yang dikembangkan melalui program pembelajaran ekologi berbasis *citizen science*. Instrumen-instrumen ini dirancang untuk menilai kemampuan peserta dalam beberapa area kunci, yaitu keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan, serta literasi keberlanjutan masyarakat. Setiap instrumen disusun berdasarkan tujuan spesifik dari penelitian, yaitu untuk mengevaluasi sejauh mana peserta didik mampu menganalisis masalah lingkungan, mengembangkan solusi, serta memahami dampak dan prinsip keberlanjutan dalam konteks pencemaran limbah tambang emas di daerah aliran sungai. Penyusunan instrumen penilaian dilakukan dengan menggunakan pendekatan penilaian yang terstruktur dan valid, instrumen-instrumen ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang akurat mengenai efektivitas program pembelajaran, serta kontribusinya terhadap pengembangan kompetensi peserta dalam memahami dan menangani masalah lingkungan yang nyata.

a. Instrumen keterampilan pemecahan masalah

Instrumen keterampilan pemecahan masalah disusun dalam bentuk soal tes uraian yang digunakan untuk mengevaluasi kemampuan mahasiswa dalam menganalisis dan menyelesaikan masalah lingkungan, khususnya terkait pencemaran limbah tambang emas di daerah aliran sungai. Tes keterampilan pemecahan masalah terdiri dari 5 soal uraian yang dirancang untuk menilai kemampuan mahasiswa secara komprehensif melalui empat komponen inti, yaitu memahami masalah, mengidentifikasi akar masalah, merumuskan alternatif solusi, dan menetapkan solusi terbaik. Kompenen ini tersusun secara sistematis membentuk hierarki tahapan pemecahan masalah. Setiap soal memberikan arahan yang jelas kepada mahasiswa untuk menjawab sesuai dengan langkah-langkah pemecahan masalah tersebut, mulai dari analisis awal dan mengidentifikasi akar masalah hingga merumuskan alternatif solusi, serta menetapkan solusi yang praktis dan berkelanjutan. Dengan instrumen ini, penelitian dapat mengukur sejauh mana mahasiswa mampu menerapkan pengetahuan yang diperoleh dalam

situasi nyata, serta mengevaluasi kemampuan mereka dalam mengambil keputusan yang efektif dan didukung oleh data yang valid.

Soal dalam instrumen keterampilan pemecahan masalah disusun dalam bentuk studi kasus. Berbagai kasus yang diangkat berfokus pada permasalahan yang merupakan efek dari kegiatan penambangan emas. Setiap soal dirancang untuk menguji kemampuan mahasiswa dalam menganalisis situasi nyata, seperti peningkatan konsentrasi merkuri pada salah satu stasiun pengukuran yang berpotensi mencemari daerah aliran sungai, di mana mahasiswa diharapkan mampu memahami dampak merkuri terhadap ekosistem serta merumuskan solusi mitigasi. Selain itu, terdapat soal yang menyoroti perkembangan luasan kegiatan penambangan emas tanpa izin sebagai akibat dari dorongan ekonomi, yang mengharuskan mahasiswa untuk mengidentifikasi akar permasalahan sosial dan ekonomi yang mendorong pertambangan ilegal serta mempertimbangkan dampaknya terhadap lingkungan dan masyarakat. Mahasiswa juga dihadapkan pada soal terkait identifikasi kualitas air menggunakan metode indeks pencemaran, di mana mahasiswa harus menginterpretasikan data hasil pengukuran dan menentukan tingkat pencemaran air. Kemudian, soal lain membahas identifikasi kualitas air berdasarkan keanekaragaman makrozoobentos, yang megarahkan mahasiswa untuk menganalisis kondisi ekosistem sungai melalui bioindikator, kemudian memberikan alternatif solusi berdasarkan data yang dihasilkan. Terakhir adalah soal yang membahas konflik antara masyarakat adat dan penambang emas, yang menguji kemampuan mahasiswa dalam menganalisis konflik sosial, budaya, dan lingkungan, serta mencari solusi yang dapat mendamaikan kepentingan ekonomi, budaya, dan keberlanjutan lingkungan. Kisi-kisi soal keterampilan pemecahan masalah dalam penelitian ini disusun pada Tabel 3.9 berikut.

Tabel 3.9 Struktur Konstruksi Instrumen Keterampilan Pemecahan Masalah

No	Tahapan	Indikator Soal	Skor Maks
1.	a. Memahami masalah b. Mengidentifikasi akar masalah c. Merumuskan alternatif solusi d. Menetapkan solusi terbaik	Mampu mengidentifikasi masalah dan menetapkan ide/gagasan penyelesaian masalah terkait peningkatan konsentrasi merkuri pada salah satu stasiun pengukuran	12
2.	a. Memahami masalah b. Mengidentifikasi akar masalah c. Merumuskan alternatif solusi d. Menetapkan solusi terbaik	Mampu mengidentifikasi masalah dan menetapkan ide/gagasan penyelesaian masalah terkait perkembangan luasan kegiatan penambangan emas tanpa izin akibat dorongan kebutuhan ekonomi masyarakat	12
3.	a. Memahami masalah b. Mengidentifikasi akar masalah c. Merumuskan alternatif solusi d. Menetapkan solusi terbaik	Mampu mengidentifikasi masalah dan menetapkan ide/gagasan penyelesaian masalah terkait identifikasi kualitas air dengan metode indeks pencemaran	12
4.	a. Memahami masalah b. Mengidentifikasi akar masalah c. Merumuskan alternatif solusi d. Menetapkan solusi terbaik	Mampu mengidentifikasi masalah dan menetapkan ide/gagasan penyelesaian masalah terkait identifikasi kualitas air dari keanekaragaman makrozoobentos	12
5.	a. Memahami masalah b. Mengidentifikasi akar masalah c. Merumuskan alternatif solusi d. Menetapkan solusi terbaik	Mampu mengidentifikasi masalah dan menetapkan ide/gagasan penyelesaian masalah terkait konflik antara masyarkat adat dengan penambang emas	12

Proses penilaian keterampilan pemecahan masalah membutuhkan rubrik sebagai kompas yang dapat mengarahkan penilai dalam mengidentifikasi dan mengevaluasi setiap langkah yang ditempuh mahasiswa dalam menyelesaikan masalah. Rubrik ini berfungsi untuk memberikan panduan yang jelas dan terstruktur dalam menilai kemampuan mahasiswa. Rubrik skor soal keterampilan pemecahan masalah ini dirancang untuk mengevaluasi kemampuan mahasiswa melalui tahapan-tahapan penting dalam pemecahan masalah, yaitu memahami masalah, mengidentifikasi akar masalah, merumuskan alternatif solusi, dan menetapkan solusi terbaik. Setiap tahapan dinilai berdasarkan empat level skor, mulai dari 0 hingga 3, yang mencerminkan tingkat pemahaman dan keterampilan mahasiswa dalam setiap langkah pemecahan masalah. Rubrik ini bertujuan untuk memberikan penilaian yang objektif dan terstruktur, serta membantu mahasiswa untuk lebih memahami proses berpikir kritis dan analitis yang diperlukan dalam

menyelesaikan suatu masalah. Dengan adanya rubrik, proses penilaian menjadi lebih objektif dan transparan, serta membantu mahasiswa memahami kekuatan dan kelemahan mereka dalam menghadapi tantangan pemecahan masalah. Adapun rubrik skor soal keterampilan pemecahan masalah disajikan pada Tabel 3.10.

Tabel. 3.10 Rubrik Skor Soal Keterampilan Pemecahan Masalah

Tahapan Pemecahan Masalah	Skor 0	Skor 1	Skor 2	Skor 3
1. Memahami Masalah	Tidak memahami masalah atau tidak dapat menjelaskan masalah yang ada.	Memahami sebagian masalah, namun terdapat kebingungan atau kesalahan dalam penjelasannya.	Memahami masalah dengan baik, meskipun ada sedikit ketidakjelasan dalam penjelasan.	Memahami masalah dengan sangat baik, dapat menjelaskan dengan jelas dan rinci.
2. Mengiden-tifikasi Akar Masalah	Tidak dapat mengidentifikasi akar masalah atau mengidentifikasi masalah yang salah.	Mengidentifikasi akar masalah, tetapi tidak sepenuhnya tepat atau masih kurang relevan.	Mengidentifikasi akar masalah dengan baik, namun belum cukup mendalam/komprehensif.	Mengidentifikasi akar masalah dengan sangat baik dan mendalam, serta relevan dengan konteks masalah.
3. Merumuskan Alternatif Solusi	Tidak merumuskan alternatif solusi atau alternatif yang diberikan tidak realistis.	Merumuskan beberapa alternatif solusi, tetapi kurang relevan atau tidak dapat diterapkan secara praktis.	Merumuskan beberapa alternatif solusi yang relevan dan dapat diterapkan, meskipun belum sepenuhnya optimal.	Merumuskan beberapa alternatif solusi yang sangat relevan, praktis, dan dapat diterapkan dengan efektif.
4. Menetapkan Solusi Terbaik	Tidak dapat menetapkan solusi terbaik atau tidak ada solusi yang dipilih.	Menetapkan solusi terbaik, tetapi alasan yang diberikan kurang kuat atau kurang meyakinkan.	Menetapkan solusi terbaik dengan alasan yang cukup baik, meskipun ada beberapa kekurangan dalam pemilihan solusi.	Menetapkan solusi terbaik dengan alasan yang sangat kuat, logis, dan mendalam, serta dapat diterapkan dengan efektif.

b. Instrumen literasi lingkungan

Instrumen literasi lingkungan disusun dalam bentuk soal tes pilihan ganda dan angket, yang dirancang untuk mengukur pengetahuan, keterampilan sikap dan perilaku mahasiswa terhadap isu-isu lingkungan. Pengukuran literasi lingkungan pada penelitian ini melibatkan berbagai tema yang meliputi: pendidikan dan keterlibatan masyarakat, dampak kegiatan penambangan emas, kebijakan dan pengawasan lingkungan, sosial-ekonomi dan kesehatan, serta tema terakhir adalah pemulihan lingkungan. Melalui kombinasi tes pilihan ganda dan angket, instrumen ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif tentang pengetahuan, keterampilan sikap dan perilaku mahasiswa dalam menghadapi masalah lingkungan, serta kesiapan mahasiswa untuk berkontribusi pada solusi keberlanjutan di masa mendatang.

Soal tes pada instrumen literasi lingkungan terdiri dari 50 soal pilihan ganda di mana, setiap soal memiliki 4 pilihan jawaban yang menguji kemampuan mahasiswa dalam memahami fenomena lingkungan serta menganalisis implikasi aktivitas manusia terhadap keseimbangan ekosistem. Kompetensi yang di ukur dalam soal tes pilihan ganda terdiri dari dua kompetensi utama yaitu pengetahuan mendalam tentang sistem ekologi dan keterampilan berpikir kritis dalam mengevaluasi masalah lingkungan. Masing-masing kompetensi memiliki sub-kompetensi yang kemudian diturunkan ke indikator soal. Adapun gambaran struktur kompetensi, subkompetensi, dan indikator soal disusun pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Struktur Konstruksi Instrumen Literasi Lingkungan Mengukur Pengetahuan dan Ketrampilan

No	Kompetensi	Subkompetensi	Indikator Soal	Soal
1	Pengetahuan mendalam tentang sistem ekologi	Pengetahuan fisik dan sistem ekologi	Memahami tentang lingkungan dan indikator pencemaran sistem ekologi akibat limbah tambang emas	1 sampai 4
			Memahami tentang mitigasi lingkungan dan sebab-akibat kerusakan ekosistem sungai	5 sampai 7
		Pengetahuan sistem sosial, budaya dan politik terhadap lingkungan	Memahami tentang peran sistem sosial, budaya, dan politik terhadap lingkungan	8 sampai 10

No	Kompetensi	Subkompetensi	Indikator Soal	Soal
		Pengetahuan terhadap permasalah lingkungan	Memahami tentang dampak pencemaran pada ekosistem dan pengaruhnya pada interaksi ekologis	11 sampai 13
			Memahami tentang metode pengujian dan pemantauan kualitas air serta dampaknya pada ekosistem	14 sampai 16
		Solusi permasalahan lingkungan	Memahami tentang pendekatan berbasis masyarakat dan budaya dalam pengelolaan lingkungan	17 sampai 18
			Memahami tentang pengelolaan limbah tambang emas sebagai upaya mitigasi terhadap pencemaran ekosistem sungai	19 sampai 21
		Peran serta mahasiswa dan masyarakat	Memahami tentang kolaborasi keterlibatan mahasiswa dan masyarakat dalam pencegahan dan pengurangan pencemaran lingkungan	22 sampai 24
			Memahami peran serta mahasiswa bersama masyarakat dalam advokasi dan restorasi untuk pelestarian lingkungan	25 sampai 27
2	Keterampilan berpikir kritis dalam mengevaluasi masalah lingkungan	Mengidentifikasi permasalahan lingkungan	Manganalisis masalah lingkungan dengan menggunakan data ilmiah	28 sampai 30
			Menghubungkan data ilmiah dengan kondisi ekosistem	31 sampai 33
		Mengevaluasi dan membuat penilaian pribadi tentang masalah lingkungan	Mengevaluasi berbagai metode pengelolaan limbah dan penanganan pencemaran air	34 sampai 35
			Memilih metode ilmiah yang paling efektif	36
			Mengevaluasi perubahan alami pada kualitas air	37
			Mengevaluasi faktor kritis dalam memilih solusi pencemaran air	38

No	Kompetensi	Subkompetensi	Indikator Soal	Soal
		Menginvestigasi permasalahan lingkungan	Memilih metode investigasi yang tepat dan komprehensif	39 sampai 40
			Menggunakan metode yang tepat untuk mengevaluasi dampak pencemaran pada komunitas organisme	41
			Mengidentifikasi dan mengontrol variabel eksternal dalam pengukuran	42 sampai 43
			Mengambil langkah lanjutan untuk memastikan validitas hasil investigasi	44
		Menggunakan bukti dan pengetahuan untuk memilih solusi dalam menyelesaikan permasalahan	Menggunakan data pencemaran dan pengetahuan ilmiah untuk memilih langkah-langkah mitigasi yang tepat	45 sampai 46
			Memilih dan mengoptimalkan metode yang relevan untuk mengatasi pencemaran lingkungan	47 sampai 48
			Mempertimbangkan bukti dan dampak jangka panjang dalam mengambil tindakan	49 sampai 50

Angket literasi lingkungan digunakan untuk mengukur aspek afektif dan konatif mahasiswa. Angket literasi lingkungan terdiri dari 50 pernyataan yang disusun menggunakan skala Likert 4 poin (Sangat Setuju, Setuju, Tidak Setuju, Sangat Tidak Setuju). Pernyataan-pernyataan dalam angket ini dirancang untuk mengukur kompetensi sikap bertanggung jawab terhadap perlindungan lingkungan dan perilaku nyata dalam mengambil tindakan yang berkelanjutan. Dua kompetensi utama tersebut diturunkan kedalam subkompetensi dan kemudian diuaraikan kedalam indikator pernyataan. Pernyataan-pernyataan dalam angket ini dirancang untuk mengukur sikap, kesadaran, dan keterlibatan mahasiswa dalam isu-isu lingkungan, serta kemampuan mereka dalam menerapkan prinsip-prinsip keberlanjutan dalam kehidupan sehari-hari. Gambaran struktur kompetensi, subkompetensi, dan indikator soal disusun pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Struktur Konstruksi Instrumen Literasi Lingkungan Mengukur Sikap dan Perilaku

No	Kompetensi	Subkompetensi	Indikator Pernyataan	Pernyataan
1	Sikap bertanggung jawab terhadap perlindungan lingkungan	Kepekaan	Kepekaan terhadap dampak lingkungan dari aktivitas manusia	1 dan 2
			Kesadaran tentang tanggung jawab pribadi dalam kontribusi terhadap pelestarian lingkungan	3 dan 4
			Kesadaran terhadap pentingnya partisipasi kolektif dalam keputusan lingkungan	5 dan 6
		Sikap perhatian terhadap lingkungan	Dukungan terhadap pelestarian keanekaragaman hayati dan edukasi masyarakat	7 dan 8
			Motivasi untuk bertindak dan analisis kritis terhadap isu lingkungan	9 dan 10
			Kepedulian terhadap kesejah-teraan sosial dan dukungan terhadap nilai-nilai budaya	11 dan 12
			Dukungan terhadap kebijakan lingkungan yang ketat untuk melindungi ekosistem	13
		Asumsi tanggung jawab pribadi	Tanggung jawab pribadi dalam mengurangi dampak lingkungan	14 dan 15
			Pengambilan tindakan dalam pelestarian lingkungan sungai	16 dan 17
			Pertimbangan tanggung jawab dalam keputusan pribadi terkait konsumsi dan gaya hidup	18
			Tanggung jawab untuk menjadi teladan dalam advokasi lingkungan	19
		Efikasi diri	Konsisten mencegah kerusakan lingkungan untuk diri sendiri dan masyarakat	20 dan 21
			Kemampuan mengatasi tantangan lingkungan dan mengedukasi orang lain	22 dan 23
			Keyakinan diri dalam berkontribusi terhadap pengurangan dampak lingkungan	24
		Motivasi dan niat untuk bertindak	Motivasi untuk berkontribusi dalam kegiatan pelestarian lingkungan	25 dan 26

No	Kompetensi	Subkompetensi	Indikator Pernyataan	Pernyataan
			Keinginan untuk memfasilitasi orang lain dalam aksi lingkungan	27
			Niat untuk berpartisipasi dalam penyebaran informasi dan advokasi lingkungan	28 dan 29
2	Perilaku nyata dalam mengambil tindakan yang berkelanjutan	Manajemen lingkungan	Pengelolaan sumber daya alam secara efisien	30
			Partisipasi dalam proyek pemulihan lingkungan	31 dan 32
			Pengelolaan dan evaluasi kualitas lingkungan secara berkala	33 dan 34
			Inovasi dan implementasi teknologi ramah lingkungan	35 dan 36
		Kemampuan mempengaruhi orang lain	Kemampuan mengubah pandangan dan sikap masyarakat terhadap dampak lingkungan	37 dan 38
			Kemampuan berkolaborasi dan memobilisasi dukungan untuk pelestarian lingkungan melalui advokasi dan penyajian data ilmiah	39 sampai 43
		Tindakan terhadap barang yang dikonsumsi	Mengubah perilaku konsumsi	44
			Mendukung produk yang ramah lingkungan dan berkelanjutan	45
			Mengurangi konsumsi produk yang merusak lingkungan ataupun memperbesar volume limbah	46 sampai 47
			Kesediaan untuk mempromosikan konsumsi dan produksi berkelanjutan	48 dan 49
			Memastikan tanggung jawab lingkungan dengan memahami asal-usul produk	50

c. Instrumen literasi keberlanjutan masyarakat

Instrumen literasi keberlanjutan masyarakat disusun dalam bentuk angket yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat pemahaman, nilai dan sikap, keterampilan, pola pikir serta perilaku individu terkait keberlanjutan dalam berbagai aspek, termasuk lingkungan, sosial, ekonomi dan budaya. Angket literasi keberlanjutan masyarakat terdiri dari tiga dimensi utama yang disusun berdasarkan elaborasi dari pandangan Winter dan Cotton (2012), Stibbe dan

Launa (2014), Décamps *et al.* (2017), serta Ozdemir (2023). Dimensi-dimensi ini berfungsi sebagai kerangka dasar untuk mengukur keterlibatan individu dalam aspek-aspek utama keberlanjutan serta dampaknya terhadap upaya pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs). Ketiga dimensi tersebut difokuskan pada ruang lingkup yang disusun oleh Décamps *et al.* (2017) pada SULITEST. Agar angket yang disusun menyentuh pada aspek yang diukur dan juga untuk mempermudah dalam menyesuaikan dengan karakteristik masyarakat yang menjadi responden maka ruang lingkup dimensi literasi dipersempit dengan menganalisis kesesuaiannya pada teori pembelajaran sosial dan teori perubahan perilaku.

Angket literasi keberlanjutan masyarakat memuat 50 pernyataan yang berasal dari 27 indikator pernyataan. Indikator yang digunakan untuk menyusun pernyataan literasi keberlanjutan pada penelitian ini ditentukan berdasarkan lingkup dimensi literasi keberlanjutan. Penentuan indikator ini juga mempertimbangkan tiga pilar utama SDGs sebagai fokus pengukuran yang meliputi: lingkungan, sosial serta ekonomi. Pengukuran literasi keberlanjutan tidak hanya melibatkan pengetahuan teoretis tentang lingkungan, tetapi juga bagaimana individu berperilaku dan beradaptasi dalam konteks sosial dan ekonomi, sehingga dapat menciptakan dampak yang positif bagi lingkungan dan masyarakat. Gambaran struktur konstruksi instrumen literasi keberlanjutan masyarakat disusun pada Tabel 3.13.

Tabel 3.13 Struktur Konstruksi Instrumen Literasi Keberlanjutan Masyarakat

No	Dimensi	Lingkup dimensi	Indikator pernyataan	Nomor Pernyataan
1	Kecerdasan ekologis yang berbasis pada pengetahuan keberlanjutan	Isu kemanusiaan dan ekosistem yang berkelanjutan	Pemahaman tentang peranan penting keanekaragaman hayati dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan dampaknya pada kehidupan masyarakat.	1, 2
			Kesadaran masyarakat tentang dampak aktivitas penambangan emas terhadap kondisi kehidupan di desa.	3, 4

No	Dimensi	Lingkup dimensi	Indikator pernyataan	Nomor Pernyataan
			Partisipasi masyarakat dalam merencanakan program jangka panjang yang berkaitan dengan keberlanjutan lingkungan.	5, 6
			Pemahaman dampak negatif aktivitas penambangan emas terhadap lingkungan.	7, 8
			Kesadaran tentang dampak sosial yang diakibatkan oleh penambangan emas.	9, 10
			Pemahaman bahwa penambangan emas mendukung keberlanjutan ekonomi desa.	11
		Sistem global dan lokal yang dibangun oleh manusia untuk menjawab kebutuhan masyarakat	Pemahaman tentang aturan adat dan kegiatan adat dalam menjaga lingkungan.	12, 13
			Kesadaran masyarakat tentang pentingnya pendidikan lingkungan dalam budaya lokal.	14, 15
			Pemahaman tentang dampak aktivitas penambangan emas pada lingkungan dan ekonomi.	16, 17, 18
			Pemahaman dampak penambangan emas terhadap sumber daya air, energi, dan pangan.	19, 20
		Transisi menuju keberlanjutan	Pemahaman tentang kebijakan pemerintah dalam mendukung pembangunan berkelanjutan.	21, 22
			Kesadaran masyarakat tentang inisiatif keberlanjutan.	23, 24
			Pemahaman tentang strategi yang digunakan masyarakat desa untuk mendorong keberlanjutan ekonomi kreatif.	25
			Kesadaran masyarakat tentang contoh sukses dari desa lain dalam pengelolaan keberlanjutan lingkungan dan ekonomi.	26

No	Dimensi	Lingkup dimensi	Indikator pernyataan	Nomor Pernyataan
		Berperan untuk menciptakan dan mempertahankan perubahan individu dan sistem	Kesadaran individu tentang perannya dalam pelestarian lingkungan.	27, 28
			Pengetahuan untuk mengelola limbah organik secara kreatif dan kritis untuk meminimalisir penggunaan bahan kimia dalam pertanian.	29
2	Keterampilan yang berbasis pada pengetahuan	Keterampilan pribadi	Pemahaman tentang penggunaan sumber daya alam secara berkelanjutan dan teknologi ramah lingkungan.	30, 31
			Pemahaman tentang pentingnya kerjasama dan solidaritas dalam menghadapi tantangan lingkungan.	32, 33
			Pemahaman tentang solusi berbasis teknologi sederhana untuk keberlanjutan.	34, 35
		Bekerja dalam tim	Kemampuan bekerja dalam tim dan membangun jaringan untuk keberlanjutan.	36, 37
			Kemampuan untuk memotivasi partisipasi masyarakat dalam pelestarian lingkungan.	38
		Berpikir & bertindak secara sistemis	Pemahaman tentang pemikiran sistemis untuk mengatasi permasalahan lingkungan.	39, 40
			Pemahaman tentang kerjasama dengan lembaga formal dan informal dalam mendukung keberlanjutan.	41, 42
3	Pola pikir yang membangun kemampuan adaptasi sosial dan perilaku serta tindakan keberlanjutan	Kepedulian terhadap keberlanjutan	Pemahaman masyarakat tentang pentingnya pelestarian lingkungan untuk generasi mendatang.	43, 44
			Kesadaran bahwa manusia adalah bagian integral dari ekosistem alam.	45, 46
		Efikasi diri terhadap keberlanjutan	Keyakinan individu dalam memulai perubahan pribadi dan sistemik untuk keberlanjutan.	47, 48
			Komitmen masyarakat dalam memecahkan masalah keberlanjutan.	49, 50

Program dan instrumen yang telah disusun perlu ditinjau kembali kelayakannya. oleh karena itu program dan instrumen tersebut diajukan kepada ahli untuk mendapatkan penelaahan (*Judgement*) Ahli. Penelaahan program

merupakan langkah penting untuk memastikan bahwa program pembelajaran yang dirancang memiliki kualitas yang tinggi, sesuai dengan tujuan pembelajaran, serta relevan dengan konteks yang dihadapi. Dalam proses ini, pakar di bidang ekologi, pendidikan lingkungan, dan pembelajaran *citizen science* terlibat untuk memberikan umpan balik yang mendalam. Penelaahan mencakup evaluasi terhadap keakuratan materi, keterpaduan tujuan pembelajaran, dan kesesuaian tujuan pembelajaran dengan kompetensi yang ingin dicapai. Para ahli juga memeriksa aspek-aspek penting yang ada di dalam instrumen penilaian, memastikan bahwa soal-soal dan pernyataan yang disusun dapat mengukur secara efektif keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan, dan literasi keberlanjutan yang diharapkan dari mahasiswa dan masyarakat.

3.4.1.4 Validasi program pembelajaran dan instrumen penelitian

Tahapan validasi program pembelajaran dan instrumen penelitian merupakan tahapan untuk menilai kelayakan dari produk hasil pengembangan sebelum masuk pada tahapan ujicoba. Proses validasi ini melibatkan pengecekan dan penilaian program pembelajaran dan instrumen oleh pakar di bidang ekologi, pendidikan lingkungan, serta *citizen science* untuk memastikan bahwa konten, metode, serta tujuan pembelajaran yang tercantum sesuai dengan standar ilmiah dan pendidikan. Validasi bertujuan untuk menilai kelayakan materi, ketepatan metode, serta keterukuran komponen evaluasi dalam program pembelajaran, sehingga instrumen tersebut mampu mengukur pencapaian belajar mahasiswa secara efektif. Melalui validasi ini, masukan atau revisi dari para ahli dapat membantu meningkatkan kualitas program pembelajaran dan instrumen, memastikan bahwa keduanya dapat berfungsi secara optimal saat digunakan dalam pembelajaran dan dapat memberikan hasil yang akurat mengenai penguasaan mahasiswa terhadap materi serta keterampilan dalam konteks *citizen science*. Berikut ini, Tabel 3.14 menguraikan hasil validasi ahli terhadap program pembelajaran dan instrumen yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 3.14 Hasil Validasi Ahli terhadap Konstruksi Program Pembelajaran

No.	Hasil Validasi Ahli	Keterangan
1	Hasil validasi mengungkapkan bahwa identitas program telah sesuai dan menggambarkan kegiatan yang runtun serta menggambarkan aktivitas program pembelajaran yang dikembangkan	Tidak perlu revisi
2	Hasil validasi menetapkan bahwa capaian pembelajaran sesuai dengan gambaran masing-masing aktivitas program pembelajaran yang dikembangkan	Tidak perlu revisi
3	Hasil validasi menggambarkan bahwa label/istilah yang digunakan mudah untuk dipahami dan sudah sesuai dengan kaidah yang berlaku	Tidak perlu revisi
4	Hasil validasi menyatakan bahwa bahasa yang digunakan tegas dan jelas, mudah untuk dipahami serta sesuai dengan kaidah baku Bahasa Indonesia	Tidak perlu revisi
5	Hasil validasi menegaskan bahwa perlu melakukan revisi pada bagian LKM yang menjelaskan identitas disetiap kegiatan dan rencana program pada setiap tahapan praktikum serta indikator-indikatornya	Perlu revisi
6	Hasil validasi menyatakan bahwa rancangan program dan LKM telah mendeskripsikan aktivitas yang melatihkan keterampilan pemecahan masalah dengan jelas	Tidak perlu revisi
7	Hasil validasi menyatakan bahwa rancangan program dan LKM mendeskripsikan aktivitas *citizen science project* dengan jelas	Tidak perlu revisi

Berdasarkan Tabel 3.14 program pembelajaan ekologi terintegrasi proyek *citizen science* yang mengangkat kasus pencemaran sungai akibat kegiatan penambangan emas merupakan produk yang valid dengan sedikit revisi. Sehingga program ini dinilai layak untuk digunakan lebih lanjut dalam proses perkuliahan mahasiswa dengan revisi sesuai dengan saran dan masukan. Sesuai dengan hasil yang diperoleh, proses revisi dilakukan pada bagian identitas pada tiap kegiatan dan rencana program pada tiap tahapan praktikum serta indikator-indikatornya. Setelah proses revisi selesai, tahapan selanjutnya adalah ujicoba program pada kelas yang telah ditentukan.

Di sisi lain, instrumen keterampilan pemecahan masalah merupakan produk yang valid dengan sedikit revisi. Instrumen keterampilan pemecahan masalah

dinilai layak oleh validator ahli untuk digunakan lebih lanjut dalam proses perkuliahan mahasiswa dengan revisi sesuai dengan saran dan masukan. Hasil tersebut disajikan pada Tabel 3.15.

Tabel 3.15 Hasil Validasi Ahli Terhadap Konstruksi Instrumen Keterampilan Pemecahan Masalah

No.	Hasil Validasi Ahli	Keterangan
1	Hasil validasi menegaskan bahwa item soal sudah mengarahkan pada tahapan pemecahan masalah yang diukur	Tidak perlu revisi
2	Hasil validasi menyatakan bahwa konteks yang disajikan pada item pertanyaan tidak mengandung kekeliruan atau miskonsepsi.	Tidak perlu revisi
3	Hasil validasi menetapkan bahwa konteks yang disajikan pada item pertanyaan sesusai dengan level pengetahuan mahasiswa	Tidak perlu revisi
4	Hasil validasi menyatakan bahwa fenomena-fenomena yang disajikan pada item pertanyaan sesuai dengan kajian pencemaran sungai	Tidak perlu revisi
5	Hasil validasi mengungkapkan bahwa seluruh pertanyaan yang diajukan dapat mengukur level keterampilan pemecahan masalah mahasiswa.	Tidak perlu revisi
6	Hasil validasi menyatakan bahwa seluruh pertanyaan yang dibuat saling independen sehingga suatu soal tidak memberi petunjuk jawaban kepada pertanyaan dan pernyataan lainnya.	Tidak perlu revisi
7	Hasil validasi menegaskan bahwa perlu melakukan revisi kalimat-kalimat yang digunakan pada pertanyaan sehinga menjadi kalimat yang sederhana dan mudah dipahami oleh peserta didik	Perlu revisi
8	Hasil validasi menegaskan bahwa perlu melakukan revisi dengan memperhatikan kalimat yang digunakan pada pertanyaan agar tidak menimbulkan makna ganda (ambigu)	Perlu revisi
9	Hasil validasi menyatakan bahwa penulisan pertanyaan memenuhi kaidah penulisan bahasa Indonesia yang baik	Tidak perlu revisi
10	Hasil validasi menyatakan bahwa pada pertanyaan dan pernyataan tidak banyak mengandung kesalahan pengetikan	Perlu revisi

Berdasarkan hasil validasi yang diperoleh, proses revisi dilakukan pada penggunaan kalimat sederhana di dalam pertanyaan-pertanyaan instrumen, memperhatikan kompenen huruf yang ada di dalam tiap bagian instrumen dan juga memperhatikan penggunaan kalimat bersayap yang dapat menimbulkan makna ganda (ambigu) pada pertanyaan yang ada di dalam instrumen. Ujicoba instrumen dilakukan setelah proses revisi selesai, dimana instrumen keterampilan pemecahan masalah diujicobakan pada kelas yang sama dengan kelas ujicoba program, namun dilakukan setelah ujicoba program selesai diterapkan.

Instrumen literasi lingkungan mendapat hasil validasi yang tidak jauh berbeda dengan instrumen keterampilan pemecahan masalah. Instrumen literasi lingkungan merupakan produk yang valid dengan sedikit revisi. Instrumen literasi lingkungan mendapat penilaian layak oleh validator ahli dan dapat digunakan lebih lanjut dalam proses perkuliahan mahasiswa. Namun sebelum digunakan, perlu direvisi sesuai dengan saran dan masukan. Hasil validasi instrumen literasi lingkungan disajikan pada Tabel 3.16.

Tabel 3.16 Hasil Validasi Ahli terhadap Konstruksi Instrumen Literasi Lingkungan

No.	Hasil Validasi Ahli	Keterangan
1	Validator menyatakan bahwa item soal dan pernyataan harus sesuai dengan kompetensi dan subkompetensi literasi lingkungan	Perlu revisi
2	Hasil validasi mengungkapkan bahwa konteks yang disajikan pada item pertanyaan dan pernyataan tidak mengandung kekeliruan atau miskonsepsi	Tidak perlu revisi
3	Hasil validasi menyatakan bahwa konteks yang disajikan pada item pertanyaan dan pernyataan sesusai dengan level pengetahuan mahasiswa	Tidak perlu revisi
4	Hasil validasi menyatakan bahwa fenomena-fenomena yang disajikan pada item pertanyaan dan pernyataan sesuai dengan kajian pencemaran sungai	Tidak perlu revisi
5	Hasil validasi menggambarkan bahwa seluruh pertanyaan dan pernyataan yang diajukan dapat mengukur level literasi lingkungan mahasiswa	Tidak perlu revisi

No.	Hasil Validasi Ahli	Keterangan
6	Hasil validasi menyatakan bahwa seluruh pertanyaan dan pernyataan yang dibuat saling independen sehingga suatu soal tidak memberi petunjuk jawaban kepada pertanyaan dan pernyataan lainnya.	Tidak perlu revisi
7	Hasil validasi menyatakan bahwa kalimat-kalimat yang digunakan pada pertanyaan dan pernyataan merupakan kalimat yang sederhana dan mudah dipahami oleh peserta didik	Tidak perlu revisi
8	Hasil validasi menegaskan bahwa perlu melakukan revisi dengan memperhatikan kalimat yang digunakan pada pertanyaan agar tidak menimbulkan makna ganda (ambigu)	Perlu revisi
9	Hasil validasi menyatakan bahwa penulisan pertanyaan dan pernyataan memenuhi kaidah penulisan bahasa Indonesia yang baik	Tidak perlu revisi
10	Hasil validasi menegaskan bahwa perlu memperhatikan pengetikan setiap kata agar tidak terjadi kesalahan di dalam setiap kata.	Perlu revisi

Berdasarkan hasil validasi yang diperoleh, proses revisi dilakukan pada beberapa item soal dan pernyataan yang belum mengarahkan pada kompetensi dan subkompetensi literasi lingkungan. Selain itu validator mengarahkan untuk memperhatikan kompenen huruf yang ada di dalam tiap bagian instrumen dan juga memperhatikan penggunaan kalimat bersayap yang dapat menimbulkan makna ganda (ambigu). Ujicoba instrumen literasi lingkungan dilakukan setelah proses revisi selesai dimana, instrumen literasi lingkungan diujicobakan pada kelas yang sama dengan kelas ujicoba program, namun dilakukan setelah ujicoba program selesai diterapkan.

Sama halnya dengan instrumen keterampilan pemecahan masalah dan instrumen literasi lingkungan, literasi keberlanjutan masyarakat mendapat hasil validasi yang tidak jauh berbeda dari kedua instrumen tersebut. Instrumen literasi keberlanjutan masyarakat merupakan produk yang valid dengan sedikit revisi. Instrumen literasi lingkungan mendapat penilaian layak oleh validator ahli dan dapat digunakan lebih lanjut dalam proses perkuliahan mahasiswa. Namun

sebelum digunakan, perlu direvisi sesuai dengan saran dan masukan. Hasil validasi instrumen literasi keberlanjutan masyarakat disajikan pada Tabel 3.17.

Tabel 3.17 Hasil Validasi Ahli terhadap Konstruksi Instrumen Literasi Keberlanjutan Masyarakat

No.	Hasil Validasi Ahli	Keterangan
1	Hasil validasi menyatakan bahwa item pernyataan sudah mengarahkan pada kompetensi dan subkompetensi literasi keberlanjutan	Tidak Perlu revisi
2	Hasil validasi mengungkapkan bahwa konteks yang disajikan pada item pernyataan tidak mengandung kekeliruan atau miskonsepsi	Tidak perlu revisi
3	Validator menyatakan bahwa konteks yang disajikan pada item pernyataan sesusai dengan level pengetahuan masyarakat	Perlu revisi
4	Hasil validasi menegaskan bahwa fenomena-fenomena yang disajikan pada pernyataan sesuai dengan kajian pencemaran sungai	Tidak perlu revisi
5	Hasil validasi menyatakan bahwa pernyataan yang diajukan dapat mengukur literasi keberlanjutan masyarakat	Tidak perlu revisi
6	Hasil validasi memutuskan bahwa pernyataan yang dibuat saling independen sehingga suatu soal tidak memberi petunjuk jawaban kepada pernyataan lainnya.	Tidak perlu revisi
7	Hasil validasi mengarahkan untuk melakukan revisi untuk kalimat-kalimat yang digunakan pada pertanyaan dan pernyataan agar kalimatnya menjadi lebih sederhana dan mudah dipahami oleh masyarakat	Perlu revisi
8	Hasil validasi menegaskan bahwa perlu melakukan revisi dengan memperhatikan kalimat yang digunakan pada pertanyaan agar tidak menimbulkan makna ganda (ambigu)	Perlu revisi
9	Hasil validasi menyatakan bahwa penulisan pernyataan memenuhi kaidah penulisan bahasa Indonesia yang baik	Tidak perlu revisi
10	Hasil validasi menegaskan bahwa perlu memperhatikan pengetikan setiap kata agar tidak terjadi kesalahan.	Perlu revisi

Berdasarkan hasil validasi yang diperoleh, proses revisi dilakukan pada beberapa item pernyataan dimana konteks yang disajikan pada item pernyataan tersebut tidak sesuai dengan level pengetahuan masyarakat. Selain itu validator mengarahkan untuk menggunakan kalimat yang sederhana agar mudah dipahami oleh masyarakat serta memperhatikan kompenen huruf yang ada di dalam tiap bagian instrumen. Terakhir, validator menyarankan untuk memperhatikan

penggunaan kalimat bersayap yang dapat menimbulkan makna ganda (ambigu). Ujicoba instrumen literasi literasi keberlanjutan masyarakat dilakukan di tempat yang berbeda dengan ujicoba program serta dua instrumen lainnya. Setelah proses revisi selesai instrumen literasi keberlanjutan masyarakat diujicobakan pada responden yang pernah mengikuti penelitian pendahuluan dari riset ini. Responden tersebut merupakan masyarakat yang tinggal di sekitar area sungai yang terdapat kegiatan penambangan emas di sekitarnya. Jadi masyarakat tersebut lebih relevan untuk menjadi responden dalam ujicoba instrumen literasi keberlanjutan masyarakat.

3.4.1.5 Ujicoba terbatas

Ujicoba terbatas yang dilakukan sebagai langkah awal dalam implementasi program pembelajaran ekologi berbasis *citizen science* tentang pencemaran limbah tambang emas di daerah aliran sungai. Ujicoba terbatas ini bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan dan efektivitas setiap rangkaian kegiatan yang ada di dalam program, sekaligus memberikan gambaran awal mengenai keterlibatan mahasiswa dan masyarakat dalam pengumpulan data serta pengukuran kualitas air sungai.

Dalam pelaksanaan ujicoba ini, mahasiswa tidak hanya belajar untuk menerapkan konsep-konsep ekologi yang telah mereka pelajari di kelas, tetapi juga berinteraksi langsung dengan masyarakat setempat, memfasilitasi pemahaman mereka mengenai dampak pencemaran dan cara pemantauannya. Kegiatan praktik lapangan yang dilakukan meliputi pengukuran kualitas air, analisis bioindikator, dan pengamatan langsung terhadap kondisi fisik ekosistem sungai. Pada kegiatan tersebut, Masyarakat Desa terlibat aktif dalam pengumpulan data dan diskusi mengenai solusi keberlanjutan yang dapat diimplementasikan untuk memitigasi dampak pencemaran. Kegiatan ujicoba terbatas tidak hanya melakukan ujicoba terhadap program, tetapi juga instrumen yang disusun. Instrumen penilaian yang terdiri dari instrumen keterampilan pemecahan masalah dan instrumen literasi lingkungan diuji untuk menilai validitas dan reliabilitas dalam mengukur kemampuan mahasiswa. Sedangkan instrumen literasi

lingkungan diuji pada masyarakat yang sebelumnya terlibat menjadi responden dalam penelitian pendahuluan.

3.4.1.6 Analisis ujicoba terbatas

Analisis data dilakukan pada program dan instrumen yang telah diterapkan pada kegiatan ujicoba terbatas. Analisis data ini berfungsi sebagai tahap krusial dalam memastikan apakah program pembelajaran dapat berjalan dengan baik pada saat proses implementasinya. Analisis terhadap instrumen yang digunakan, seperti tes keterampilan pemecahan masalah dan angket literasi, bertujuan untuk mengukur tingkat validitas dan reliabilitas instrumen.

1. Analisis ujicoba program

Proses ini bertujuan untuk mengkaji sejauh mana program pembelajaran ekologi berbasis *citizen science* berjalan sesuai dengan rencana, dan apakah tujuan-tujuan pembelajaran tercapai. Untuk memahami bagaimana tahapan kegiatan proyek *citizen science* pada mata kuliah ekologi berjalan, berikut disajikan gambaran aktivitas perkuliahan tersebut pada Tabel 3.18.

Tabel 3.18 Tahapan Proyek *Citizen Science* pada Perkuliahan Ekologi

Tahapan proyek *citizen science*	**Pertemuan ke**	**Bentuk aktivitas**	**Modus perkuliahan**
Project Activity 1: Promote and Orient Issues	1	Observasi video tentang pencemaran lingkungan akibat tambang emas; identifikasi dan diskusi masalah (ekonomi, sosial, lingkungan, kesehatan); perumusan masalah awal; pengumpulan fakta dan literatur awal; persiapan FGD.	Kolaboratif, diskusi kelompok, *blended learning* (pemanfaatan video daring).
Project Activity 2: Focus Group Discussion	2	FGD dengan ahli lingkungan; penguatan rumusan masalah; survei awal lokasi dan perencanaan pengumpulan data lapangan; perancangan alternatif solusi (*mini-project*).	Tatap muka, diskusi kelompok dan pakar, *blended* (penelusuran daring).
Project Activity 3: Collect Data to Assess the Potential or Ecological Status of Rivers	3	Pengumpulan data lapangan bersama masyarakat (pengukuran pH, DO, nitrogen, dll); analisis data dan uji hipotesis; sintesis temuan dan	Praktik lapangan, kolaboratif, inkuiri berbasis data.

Tahapan proyek *citizen science*	**Pertemuan ke**	**Bentuk aktivitas**	**Modus perkuliahan**
Project Activity 4: Manage the Data (Data Analysis and Synthesis)		pemilihan *mini-project* yang akan diterapkan.	
Project Activity 5: Mini-Project and Dissemination of Product	4	- Implementasi *mini-project* bersama masyarakat; dokumentasi hasil; penyusunan laporan; diseminasi melalui presentasi ke dosen dan kelompok lain. - Analisis hasil *mini-project*; evaluasi ketercapaian tujuan proyek dan dampaknya; refleksi pembelajaran.	- Kolaboratif dengan masyarakat, presentasi, reflektif. - Diskusi kelompok dan refleksi individu.
Project Activity 6: Evaluate the Outcomes of Project			

Data yang diperoleh dari ujicoba terbatas, membantu dalam identifikasi kendala yang mungkin menghambat proses pelaksanaan di lapangan. Proses analisis melibatkan evaluasi terhadap interaksi peserta, kelancaran kegiatan, serta bagaimana komponen program dapat mencapaian tujuan pembelajaran yang ditargetkan. Analisi ujicoba program dilakukan melalui kegiatan observasi langsung terhadap proses pembelajaran. Pada kegiatan observasi terlihat bagaimana program berjalan dan bagaimana interaksi peserta, dan apakah kegiatan pembelajaran telah menyentuh berbagai aspek penting dari tujuan pembelajaran. Secara garis besar observasi yang dilakukan disini berupaya mengumpulkan informasi terkait kendala yang ditemukan saat menerapkan pembelajaran yang telah disusun di dalam program serta mengobservasi kesesuaian kegiatan dengan tujuan pembelajaran. Observasi yang telah dilakukan pada ujicoba program menunjukkan bahwa ada beberapa kendala yang dihadapi mahasiswa dalam mengikuti program pembelajaran yang telah disusun. Kendala tersebut dibagi kedalam dua bagian utama yaitu dalam konteks pembelajaran dan dalam konteks interaksi mahasiswa dengan masyarakat. Secara garis besar, gambaran dari kendala yang dihadapi mahasiswa disajikan pada Tabel 3.19.

Tabel 3.19 Kendala yang Dihadapi Mahasiswa dalam Ujicoba Program

Bagian yang diobservasi	**Hasil Observasi**	**Solusi**
Interaksi mahasiswa dengan program pembelajaran	Mahasiswa membutuhkan waktu yang lebih banyak dalam menyusun rencana dan *mini-project*	- Memberikan waktu dan kesempatan yang cukup bagi mahasiswa untuk merencanakan dan menyusun *mini-project* dengan baik. - Memberikan arahan kepada mahasiswa untuk memamanajemen waktu dengan baik, - Menyediakan bimbingan intensif selama proses perencanaan dapat membantu mahasiswa untuk menyelesaikan rencana dan *mini-project* mereka dengan lebih efisien.
	Mahasiswa menghadapi kendala dalam merancang *mini-project* yang relevan dengan konteks pembelajaran	- Menyediakan kesempatan untuk melakukan *brainstorming* yang terarah - Memberikan bimbingan melalui konsultasi rutin dimana dosen memberikan evaluasi terhadap setiap proses penyusunan proyek, serta memberikan masukan konkret yang relevan dengan tujuan pembelajaran. - Menyediakan gambaran ataupun contoh penyusunan kerangka proyek sederhana yang dapat dijadikan acuan serta menjadi solusi yang efektif di dalam LKM. - Mengarahkan mahasiswa untuk melakukan kerja sama kelompok dan pembagian tugas yang efektif.
	Mahasiswa menghadapi kendala dalam merumuskan solusi yang komprehensif terkait dampak pencemaran limbah tambang emas di daerah aliran sungai	- Memberikan pendampingan dalam merumuskan solusi yang komprehensif - Menyediakan tugas refleksi dan analisis di dalam LKM untuk membantu meningkatkan pemahaman multidimensional serta menyajikan bagian yang memuat kriteria penilaian dengan menekankan pada pendekatan multidimensional di dalam perangkat pembelajaran yangdigunakan pada tahap implementasi
Interaksi mahasiswa dengan masyarakat	Mahasiswa menghadapi kendala dalam membangun komunikasi dan hubungan emosional dengan masyarakat yang terlibat dalam kegiatan praktek lapangan	- Mengarahkan mahasiswa untuk membangun komunikasi yang efektif dan menjalin interaksi yang hangat dengan masyarakat setempat yang terlibat dalam kegiatan program pada saat berinteraksi - Melatih mahasiswa untuk mengedepankan empati, mendengarkan kebutuhan dan pengalaman warga, serta berinteraksi secara terbuka dan penuh perhatian

Bagian yang diobservasi	Hasil Observasi	Solusi
	Mahasiswa menghadapi kendala dalam menguasai audiens (masyarakat) saat menerapkan *mini-project* yang telah mereka susun dalam bentuk edukasi masyarakat	- Mengarahkan mahasiswa untuk menggunakan bahasa yang sederhana agar mudah dipahami oleh masyarakat - Menempatkan mahasiswa dengan keterampilan komunikasi yang baik sebagai pemimpin kelompok yang berperan penting dalam memimpin komunikasi dengan masyarakat - Mengarahkan mahasiswa untuk menggunakan pendekatan *empathy mapping* dan *Community Immersion*
	Mahasiswa menghadapi kendala dalam menguasai lokasi tempat melakukan praktek lapangan	- Mengadakan orientasi atau survei lokasi lapangan sebelum dilakukan kegiatan - Memposisikan masyarakat yang terlibat sebagai peserta sekaligus pemandu di lapangan - Pembimbingan dan pendampingan langsung oleh dosen saat di lapangan

2. Analisis ujicoba instrumen

Ujicoba terbatas merupakan fase lanjutan setelah instrumen mendapat penilaian kelayakan oleh ahli. Ujicoba terhadap instrumen bertujuan untuk memastikan bahwa alat-alat penilaian, seperti soal keterampilan pemecahan masalah, instrumen literasi lingkungan, dan literasi keberlanjutan, mampu secara akurat mengukur kompetensi peserta sesuai dengan tujuan pembelajaran yang telah ditetapkan. Analisis yang dilakukan pada tahapan ini dapat merupakan proses evaluasi validitas dan reliabilitas instrumen serta memastikan bahwa setiap pertanyaan dan pernyataan dalam instrumen tersebut relevan, jelas, dan dapat memberikan gambaran yang tepat mengenai perkembangan keterampilan dan literasi peserta.

Validitas dan reliabilitas instrumen diperoleh melalui analisis menggunakan pemodelan Rasch, yang merupakan metode statistik untuk menguji kualitas instrumen penilaian. Pemodelan Rasch digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana instrumen tersebut dapat mengukur kemampuan atau karakteristik yang diinginkan secara akurat (validitas) dan konsisten (reliabilitas). Dalam analisis ini, pemodelan Rasch memungkinkan untuk mengidentifikasi butir soal atau

pernyataan yang mungkin terlalu sulit, terlalu mudah, atau tidak relevan dengan kemampuan peserta yang diukur. Pemodelan ini juga membantu dalam mengidentifikasi bias yang mungkin muncul dalam instrumen, misalnya apakah instrumen tersebut memberikan hasil yang berbeda berdasarkan latar belakang peserta seperti usia, pendidikan, atau pengalaman (Sumintono dan Widhiharso, 2015). Dengan pemodelan Rasch, setiap butir soal atau pernyataan diuji terhadap model pengukuran probabilistik, yang memungkinkan untuk menilai apakah setiap item instrumen berfungsi dengan baik dalam konteks yang diteliti. Hasil dari analisis ini memberikan informasi yang kuat untuk menentukan apakah instrumen penilaian tersebut valid dan reliabel untuk digunakan dalam pengukuran yang lebih luas, dan apakah ada bagian dari instrumen yang perlu diperbaiki atau dihilangkan.

Model Rasch menggunakan salah satu istilah penting yaitu item *fit* dimana istilah ini dipakai untuk mengevaluasi sejauh mana setiap butir soal (item) dalam suatu instrumen penilaian sesuai atau "*fit*" dengan model Rasch yang diharapkan. Item *fit* mengukur apakah setiap item memberikan informasi yang konsisten dan sesuai dengan pola respon peserta yang diharapkan oleh model Rasch. Jika item tersebut sesuai dengan model, maka dianggap "*fit*"**,** yang berarti item tersebut berfungsi dengan baik dalam mengukur kemampuan yang ingin diukur. Terdapat dua jenis item *fit* yang umum dianalisis dalam model Rasch:

1) ***Infit* (*Information-weighted fit*)**: digunakan untuk mengukur seberapa baik item berfungsi untuk peserta yang kemampuannya berada dekat dengan tingkat kesulitan item. *Infit* sensitif terhadap kesesuaian item dengan peserta yang berada di sekitar kemampuan yang diprediksi oleh item tersebut. Nilai *infit* yang terlalu tinggi atau rendah menunjukkan bahwa item tersebut tidak mengukur secara konsisten, terutama bagi peserta dengan kemampuan yang sesuai dengan item tersebut.
2) ***Outfit* (*Outlier-sensitive fit*)**: digunakan untuk mengetahui bagaimana item berfungsi untuk peserta dengan kemampuan yang jauh dari tingkat kesulitan item. *Outfit* lebih sensitif terhadap respon yang tidak terduga dari peserta yang kemampuannya tidak sesuai dengan kesulitan item. Nilai

outfit yang tidak sesuai bisa menunjukkan adanya respon yang anomali, seperti jawaban benar dari peserta dengan kemampuan rendah atau jawaban salah dari peserta dengan kemampuan tinggi.

Idealnya, nilai item *fit* berada dalam rentang yang dianggap wajar (umumnya 0,5 hingga 1,5), di mana item dianggap fit dengan model Rasch jika nilainya mendekati 1. Jika nilai *infit* atau *outfit* terlalu tinggi (di atas 1,5), item tersebut tidak sesuai, yang berarti item itu tidak berfungsi dengan baik untuk mengukur kemampuan yang diinginkan. Jika nilainya terlalu rendah (di bawah 0,5), item mungkin terlalu "prediktif" atau terlalu mudah, sehingga kurang memberikan informasi tentang variasi kemampuan peserta. Melalui analisis item *fit* dalam model Rasch, peneliti dapat memutuskan apakah setiap butir soal berfungsi dengan baik dalam instrumen penilaian, serta menentukan apakah ada item yang perlu diperbaiki, dihilangkan, atau dipertahankan.

Analisis validitas instrumen pada Model Rasch dapat dilakukan dengan melihat hasil perhitungan yang telah disajikan pada Tabel 3.22 yang merupakan Tabel *Item Statistics: Misfit Order* yang merupakan "*Output Tabel*" dari hasil analisis model Rasch. Kriteria yang digunaan untuk menentukan validitas merujuk pada penjelasan dari (Boone *et al.*, 2014) yang diuraikan sebagai berikut:

a. Nilai *outfit Mean Square* (MNSQ) yang diterima 0.5 < MNSQ < 1.5. Nilai MNSQ ini untuk menguji konsistensi jawaban dengan tingkat kesulitan butir pernyataan
b. Nilai *outfit* Z-Standar (Z-STD) yang diterima -2.0 < Z-STD < +2.0. Nilai Z-STD ini untuk mendeskripsikan bagaimana (*how much*). Hasil pengukuran merupakan butir *outfit*; mengukur item terlalu mudah, atau terlalu sulit
c. Nilai *Point Measure Correlation* (Pt *Measure* Corr) yang diterima 0.4 < Pt *Measure* Corr < 0.85. Nilai *Point Measure Correlation* bertujuan untuk mendeskripsikan bagaimana (*how good*) butir pernyataan dipahami, atau direspons dengan beda, atau membingungkan dengan butir lainnya.

Item dapat dikatakan menyimpang dari model Rasch atau *misfit* jika memenuhi ketiga kriteria di atas sekaligus. Namun jika item hanya memenuhi satu atau dua kriteria, item tersebut masih tergolong dalam kategori *fit*

Analisis reliabilitas instrumen pada model Rasch, dapat dilakukan melalui Tabel 3.20 yaitu bagian *summary statistic* yang merupakan "*output tabel*" model Rasch. Kriteria untuk menentukan reliabitas instrumen penelitian masih menggunakan pandangan Boone et.al (2014), dengan melihat nilai *alpha cronbach* dan *item reliability*. Nilai *alpha cronbach* digunakan untuk mengidentifikasi interaksi secara umum antara responden ataupun mahasiswa (*person*) dengan butir item pernyataan ataupun soal. Adapun kriterianya disajikan pada Tabel 3.20.

Tabel 3.20 Kriteria Nilai *Alpha Cronbach*

Nilai *Alpha Cronbach*	Kriteria
<0,5	Sangat Buruk
0,5 – 0,6	Buruk
0,61 – 0,7	Cukup
0,71 – 0,8	Bagus
> 0,8	Sangat Bagus

Nilai *item reliability* digunakan untuk mengidentifikasi kualitas butir soal dalam instrumen secara umum. Adapun kriterianya disajikan pada Tabel 3.21.

Tabel 3.21 Kriteria Nilai Item Reliability

Nilai *Item Reliability*	Kriteria
<0,67	Lemah
0,67– 0,8	Cukup
0,81 – 0,9	Bagus
0,91 – 0,94	Sangat Bagus
> 0,94	Istimewa

Dalam penelitian ini, jumlah sampel yang digunakan adalah 34 mahasiswa. Berdasarkan literatur yang digunakan (Sumintono & Widhiarso, 2015), jumlah sampel dalam analisis Rasch minimal 30–50 responden agar estimasi parameter item dapat dilakukan, meskipun hasilnya bisa kurang stabil dibandingkan dengan jumlah yang lebih besar. Keterbatasan jumlah sampel ini dapat menyebabkan hasil analisis item fit menunjukkan beberapa butir soal yang terlalu mudah atau terlalu sulit. Oleh karena itu, interpretasi terhadap hasil analisis Rasch pada penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan batasan ini, dan revisi terhadap instrumen dilakukan dengan mempertimbangkan kemungkinan peningkatan jumlah sampel pada penelitian berikutnya.

a. Hasil ujicoba instrumen keterampilan pemecahan masalah

Validitas dan reliabilitas instrumen keterampilan pemecahan masalah diperoleh dengan menganalisis Tabel *item statistics: misfit order* dan *sumary statistic* yang disajikan pada Tabel 3.22. Seperti yang telah disampaikan sebelumnya bahwa soal keterampilan pemecahan masalah merupakan soal uraian dalam bentuk studi kasus yang terdiri 5 pertanyaan terbuka. Dimana setiap pertanyaan terdapat 4 tahapan pemecahan masalah yang diajukan kepada mahasiswa untuk dijawab. Jadi dalam analisis yang dilakukan, lima pertanyaan tersebut diurai menjadi 20 item dengan rentang nilai 0 sampai 2 yang merupakan skor untuk setiap jawaban pertanyaan.

Hasil analisis validitas menunjukkan bahwa terdapat tiga item jawaban yang tidak sesuai dengan kriteria nilai *outfit* MNSQ dan nilai *outfit* Z-STD. Item tersebut meliputi 1B, 4D dan 5B (Tabel 3.22). Berdasarkan kriteria yang telah disampaikan sebelumnya dapat diidentifikasi bahwa konsistensi jawaban mahasiswa tidak sesuai dengan tingkat kesulitan item dan tiga pertanyaan tersebut merupakan pertanyaan yang masuk dalam golongan item yang sulit.

Tabel 3.22 *Misfit Order* Instrumen Keterampilan Pemecahan Masalah

Nomor Urut	Item	Jumlah Mahasiswa	Infit		Outfit		PT Measur-AL Corr.
			MNSQ	ZSTD	MNSQ	ZSTD	
1	1a	34	0,89	-0,47	1,00	0,09	0,60
2	1b	34	0,40	-3,18	0,41	-2,70	0,71
3	1c	34	0,76	-0,78	1,17	0,53	0,24
4	1d	34	0,98	-0,02	0,97	-0,06	0,56
5	2a	34	1,26	1,03	1,14	0,56	0,47
6	2b	34	0,67	-1,64	0,65	-1,71	0,71
7	2c	34	0,82	-0,82	0,81	-0,82	0,66
8	2d	34	1,06	0,28	0,77	-0,45	0,49
9	3a	34	1,09	0,41	0,86	-0,32	0,54
10	3b	34	1,17	0,72	1,39	1,29	0,33
11	3c	34	0,96	-0,11	0,93	-0,2	0,47
12	3d	34	0,71	-1,21	1,25	0,9	0,22
13	4a	34	0,58	-1,95	0,56	-1,75	0,58
14	4b	34	0,69	-0,89	0,50	-0,99	0,46
15	4c	34	1,54	1,87	1,39	1,20	0,48
16	4d	34	1,80	3,02	1,94	3,24	0,21
17	5a	34	0,62	-1,87	0,59	-1,83	0,58
18	5b	34	1,62	2,42	1,55	2,05	0,56
19	5c	34	1,21	0,91	1,42	1,55	0,42
20	5d	34	1,06	0,33	1,26	1,06	0,45

Namun nilai *Point Measure Correlation* menunjukkan bahwa item 1C, 3B, 3D, dan 4D tidak memenuhi kriteria, dimana ke empat item tersebut nilainya berada di bawah 0,4. Sedangkan analisis reliabilitas instrumen keterampilan pemecahan masalah menunjukkan bahwa nilai *Alpha Cronbach* sebesar 0,8 dan nilai *Item Reliability* sebesar 0,92 (Lampiran 7). Hasil ini mengindikasikan mahasiswa (*person*) secara umum dapat memahami soal dengan baik, dan juga kualitas butir soal dalam instrumen secara umum juga sudah baik. Jadi pengukuran ini menunjukkan konsistensi pertanyaan berada pada level baik, hanya saja ada beberapa pertanyaan yang nilainya memenuhi 1 atau 2 kriteria Boone et.al (2014) dan satu pertanyaan *Misfit* yaitu pertanyaan 4D. Penyimpangan ini diindikasikan, ada beberapa mahasiswa yang tidak menjawab pertanyaan dengan serius. Proses perunutan dapat dilakukan dengan menganalisis Tabel *scalogram* dari "*Output*

Tabel" Model Rasch (Lampiran 7). Sebagai contoh, di dalam Tabel *Scalogram*, terdapat 4 mahasiswa yang tidak mampu menjawab soal 4D (soal nomor urut 16), namun 3 dari 4 mahasiswa tersebut mampu menjawab dengan lebih baik soal dengan level lebih sulit dari soal 4D yaitu soal 2C (soal nomor 7). Proses penyusunan rangkaian soal di dalam Tabel *Scalogram* ditentukan berdasarkan tingkat kesulitan soal. Urutannya bergeser ke kanan dari soal mudah hingga soal-soal yang tersulit untuk dijawab oleh mahasiswa. Pada Tabel *Scalogram*, soal 4D (soal nomor 16) berada disebelah kiri soal 2C (soal nomor 7), posisi ini mengindikasikan bahwa soal 4D merupakan soal yang lebih mudah untuk dijawab oleh mahasiswa, karena sebagian besar mahasiswa mampu menjawab soal 4D dengan baik.

Berdasarkan analisis hasil ujicoba yang telah dilakukan, instrumen keterampilan pemecahan masalah, dapat digunakan sebagai alat evaluasi sesuai dengan tujuan penelitian. Meskipun ada 6 item yang memenuhi 1 atau 2 kriteria (Boone *et al.*, 2014), namun hanya satu item saja yang memenuhi seluruh kriteria tersebut (tidak sesuai dengan model Rasch), yaitu item 4D. Setelah dilakukan penelusuran lebih lanjut pada Tabel *Scalogram*, ditemukan bahwa ada 3 mahasiswa yang diindikasikan tidak menjawab soal 4D dengan serius. Di sisi lain, analisis reliabilitas instrumen menunjukkan bahwa butir soal memiliki kualitas yang baik dan juga dapat berfungsi dengan baik dalam melakukan pengukuran.

b. Hasil ujicoba instrumen literasi lingkungan

Instrumen literasi lingkungan dalam penelitian ini terdiri dari dua bentuk yang berbeda, yaitu soal tes pilihan ganda dan angket skala Likert. Soal tes pilihan ganda dirancang untuk mengukur pengetahuan dan keterampilan berpikir peserta mengenai konsep-konsep dasar lingkungan, seperti ekosistem, pencemaran, dan keberlanjutan. Setiap soal memiliki empat pilihan jawaban, dengan satu jawaban benar dan tiga jawaban pengalih yang digunakan sebagai alat untuk mengevaluasi tingkat pemahaman peserta terhadap materi yang telah dipelajari. Sementara itu, angket skala Likert digunakan untuk menilai sikap bertanggung jawab terhadap perlindungan lingkungan dan perilaku nyata dalam mengambil tindakan yang

berkelanjutan terhadap isu-isu lingkungan. Angket ini terdiri dari pernyataan-pernyataan yang mengharuskan peserta untuk memilih tingkat persetujuan mereka, mulai dari "Sangat Setuju" hingga "Sangat Tidak Setuju".

Analisis validitas dan reliabilitas instrumen literasi lingkungan dilakukan dalam sesi berbeda. Pemisahan sesi analisis ini memungkinkan penilaian yang lebih mendalam dan spesifik terhadap masing-masing bentuk instrumen, sehingga hasil yang diperoleh lebih akurat. Hasil analisis memberikan informasi bahwa soal tes pilihan ganda memiliki nilai reliabilitas *Alpha Cronbach* sebesar 0,93 dan nilai *Item Reliability* sebesar 0,93 (Lampiran 8). Nilai ini mengindikasikan bahwa soal tes pilihan ganda memiliki kualitas yang sangat baik. Sedangkan analisis validitas soal tes pilihan ganda dari Tabel *Item Statistics: Misfit Order* yang di sajikan pada Tabel 3.23, memberikan informasi bahwa terdapat 6 item soal yang tidak dapat di analisis oleh model Rasch. Item-item tersebut berada jauh dari perhitungan model Rasch atau di istilahkan dengan *outlier*. Tiga item *outlier* diindikasikan sangat sulit untuk di jawab oleh seluruh mahasiswa (item soal 32, 35, dan 49) serta 6 item *outlier* lainnya sangat mudah untuk dijawab oleh seluruh mahasiswa (item soal 23, 25, 29, 33, 39, dan 46). Indikasi tersebut dapat diverifikasi melalui Tabel *scalogram* yang menunjukkan bahwa tidak satupun mahasiswa yang mampu menjawab dengan benar item soal 32, 35, dan 49 dan sebaliknya tidak satupun mahasiswa yang salah dalam menjawab item soal 23, 25, 29, 33, 39, dan 46.

Tabel 3.23 *Misfit Order* Soal Pilihan Ganda Literasi Lingkungan

Item	Jumlah Mahasiswa	Mahasiswa menjawab benar	*Infit*		*Outfit*		*PT Measur-AL Corr.*
			MNSQ	*ZSTD*	*MNSQ*	*ZSTD*	
1	34	26	0,26	-2,99	0,16	-1,23	0,85
2	34	28	0,92	-0,15	0,56	-0,07	0,61
3	34	8	0,56	-2,19	0,33	-0,47	0,65
4	34	31	0,97	0,04	0,31	-0,22	0,46
5	34	31	1,56	1,46	1,52	0,79	0,21
6	34	17	0,74	-1,31	0,49	-1,10	0,74
7	34	17	0,93	-0,26	1,02	0,20	0,64
8	34	17	0,83	-0,78	0,77	-0,35	0,69
9	34	28	0,84	-0,40	0,52	-0,12	0,63

Item	Jumlah Mahasiswa	Mahasiswa menjawab benar	*Infit*		*Outfit*		*PT Measur-AL Corr.*
			MNSQ	*ZSTD*	*MNSQ*	*ZSTD*	
10	34	20	0,85	-0,57	1,01	0,18	0,69
11	34	17	0,60	-2,19	0,40	-1,42	0,78
12	34	20	0,67	-1,49	0,42	-1,37	0,78
13	34	19	0,68	-1,52	0,44	-1,36	0,77
14	34	12	0,79	-1,00	0,78	-0,10	0,63
15	34	10	1,03	0,23	2,58	1,56	0,46
16	34	25	1,57	1,53	1,37	0,68	0,48
17	34	20	1,54	2,03	1,63	1,25	0,46
18	34	24	0,50	-1,81	0,31	-1,20	0,82
19	34	13	1,48	2,09	1,27	0,60	0,42
20	34	4	1,26	0,79	1,63	0,84	0,24
21	34	19	1,01	0,14	0,96	0,07	0,64
22	34	32	0,84	-0,19	0,22	-0,38	0,42
23	34	34	Pengukuran Minimum				0
24	34	9	1,58	2,28	1,36	0,66	0,30
25	34	34	Pengukuran Minimum				0
26	34	2	0,66	-0,52	0,18	-0,70	0,40
27	34	17	0,78	-1,09	1,16	0,48	0,69
28	34	3	0,71	-0,62	0,28	-0,44	0,44
29	34	34	Pengukuran Minimum				0
30	34	6	0,69	-1,18	0,36	-0,24	0,56
31	34	5	1,24	0,84	0,94	0,40	0,32
32	34	0	Pengukuran Maksimum				0
33	34	34	Pengukuran Minimum				0
34	34	4	1,20	0,65	0,91	0,38	0,30
35	34	0	Pengukuran Maksimum				0
36	34	5	0,72	-0,93	0,57	0,06	0,49
37	34	5	1,23	0,79	1,18	0,57	0,30
38	34	10	1,17	0,83	1,00	0,3	0,47
39	34	34	Pengukuran Minimum				0
40	34	3	1,27	0,72	1,22	0,58	0,20
41	34	4	1,18	0,60	1,44	0,74	0,26
42	34	3	0,69	-0,66	0,25	-0,5	0,45
43	34	3	1,14	0,45	2,35	1,21	0,17
44	34	9	1,14	0,69	3,34	1,83	0,38
45	34	3	0,92	-0,05	1,53	0,78	0,30
46	34	34	Pengukuran Minimum				0
47	34	5	1,19	0,69	1,49	0,76	0,29
48	34	3	0,98	0,09	0,57	-0,01	0,33

Item	Jumlah Mahasiswa	Mahasiswa menjawab benar	*Infit*		*Outfit*		*PT Measur-AL Corr.*
			MNSQ	*ZSTD*	*MNSQ*	*ZSTD*	
49	34	0	Pengukuran Maksimum				0
50	34	3	0,78	-0,42	0,31	-0,39	0,42

Berdasarkan hasil analisis yang mendalam, dilakukan eliminasi terhadap beberapa item soal yang mengganggu validitas keseluruhan instrumen. Item-item yang dieliminasi meliputi soal 23, 25, 29, 32, 33, 35, 39, 46 dan 49. Soal 32, 35, dan 49 dieliminasi karena dinilai terlalu sulit sehingga tidak ada mahasiswa yang dapat menjawabnya dengan benar, sedangkan soal 23, 25, 29, 33, 39, dan 46 dieliminasi karena terlalu mudah, di mana semua mahasiswa menjawabnya dengan benar tanpa menunjukkan variasi pemahaman. Selain itu, meskipun item 44 memenuhi beberapa kriteria analisis, namun nilai *Outfit Mean Square* (MNSQ) terlalu jauh dari batas tertingginya yaitu bernilai 3,34. Hal ini mengindikasikan konsistensi jawaban tidak sesuai dengan tingkat kesulitan butir pernyataan dan berpotensi mengganggu konsistensi hasil penilaian. Dengan mengeliminasi item-item tersebut, diharapkan kualitas tes pilihan ganda dapat ditingkatkan lebih lanjut, sehingga item yang tersisa lebih akurat dalam mengukur literasi lingkungan mahasiswa.

Analisis angket literasi lingkungan menginformasikan bahwa item pernyataan di dalam angket memiliki kualitas yang sangat baik, selain itu juga angket dapat berfungsi dengan sangat baik dalam melakukan pengukuran sikap dan perilaku pada literasi lingkungan mahasiswa. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *Alpha Cronbach* untuk mengidentifikasi interaksi antara responden dengan butir item pernyataan diperoleh sebesar 0,89 dan nilai *item reliability* yang digunakan untuk mengidentifikasi kualitas butir soal diperoleh sebesar 0,92 (Lampiran 9). Hasil analisis tersebut memberikan gambaran bahwa angket literasi lingkungan memiliki konsistensi yang sangat baik dalam melakukan pengukuran, artinya reliabilitas instrumen angket sangat baik. Namun di sisi lain, hasil analisis Tabel *misfit order* yang ditampilkan pada Tabel 3.24, menginformasikan bahwa beberapa item berada jauh dari perhitungan model Rasch atau *outlier*. Item pernyataan yang tergolong sebagai *outlier*, yaitu item nomor 4, 5, 6, 9, 11, 16, 18,

20, 32, 35, 40, 44, dan 45. Item-item ini teridentifikasi sebagai outlier karena memiliki nilai *minimum measure*, yang menunjukkan bahwa butir-butir tersebut tidak memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengukuran secara keseluruhan. Hal ini mengindikasikan bahwa item-item tersebut mungkin terlalu mudah bagi responden, sehingga tidak dapat menggambarkan kemampuan atau pemahaman responden secara akurat.

Tabel 3.24 *Item Statistics Misfit Order* Angket Literasi Lingkungan

Item	Jumlah Mahasiswa	*Infit*		*Outfit*		*PT Measur-AL Corr.*
		MNSQ	*ZSTD*	*MNSQ*	*ZSTD*	
1	34	0,61	-2,09	0,56	-1,97	0,73
2	34	0,71	-1,38	0,67	-1,19	0,67
3	34	0,73	-1,17	0,70	-0,95	0,65
4	34	Pengukuran Minimum				0
5	34	Pengukuran Minimum				0
6	34	Pengukuran Minimum				0
7	34	0,79	-0,86	0,78	-0,83	0,34
8	34	1,37	1,45	1,19	0,64	0,40
9	34	Pengukuran Minimum				0
10	34	1,34	1,65	1,33	1,39	0,48
11	34	Pengukuran Minimum				0
12	34	1,03	0,20	1,02	0,18	0,54
13	34	0,97	-0,09	1,02	0,15	0,42
14	34	1,13	0,44	2,19	1,10	-0,02
15	34	1,12	0,62	1,19	0,84	0,40
16	34	Pengukuran Minimum				0
17	34	1,02	0,18	1,05	0,29	0,52
18	34	Pengukuran Minimum				0
19	34	1,22	1,15	1,28	1,22	0,69
20	34	Pengukuran Minimum				0
21	34	0,66	-1,34	0,59	-1,55	0,56
22	34	1,28	1,33	1,34	1,40	0,18
23	34	0,89	-0,37	0,85	-0,34	0,54
24	34	0,62	-1,52	0,56	-1,61	0,50
25	34	1,14	0,74	1,19	0,85	0,48
26	34	0,37	-2,97	0,3	-3,14	0,63
27	34	1,50	2,20	1,70	2,470	0,21
28	34	0,95	-0,13	0,88	-0,34	0,50
29	34	0,84	-0,23	0,78	0,05	0,41

Item	Jumlah Mahasiswa	*Infit*		*Outfit*		*PT Measur-AL Corr.*
		MNSQ	*ZSTD*	*MNSQ*	*ZSTD*	
30	34	0,92	-0,30	0,95	-0,11	0,57
31	34	1,00	0,04	1,00	0,07	0,59
32	34	Pengukuran Minimum				0
33	34	1,27	1,21	1,29	1,08	0,25
34	34	1,07	0,43	1,06	0,35	0,54
35	34	Pengukuran Minimum				0
36	34	1,20	0,98	1,16	0,72	0,46
37	34	1,15	0,73	1,2	0,86	-0,22
38	34	1,19	0,98	1,22	0,97	0,59
39	34	0,87	-0,59	0,87	-0,5	0,46
40	34	Pengukuran Minimum				0
41	34	0,92	-0,21	0,92	-0,18	0,65
42	34	1,61	2,44	1,63	2,03	0,01
43	34	0,67	-1,9	0,65	-1,74	0,59
44	34	Pengukuran Minimum				0
45	34	Pengukuran Minimum				0
46	34	0,62	-1,53	0,57	-1,59	0,44
47	34	1,07	0,33	1,03	0,19	0,63
48	34	0,99	0,03	1,02	0,15	0,33
49	34	1,16	0,81	1,17	0,79	0,47
50	34	0,72	-1,04	0,70	-1,02	0,66

Selain itu, analisis juga mengungkapkan bahwa item pernyataan nomor 27 dan 42 tidak memenuhi kriteria yang diungkapkan oleh Boone *et al.* (2014), khususnya terkait dengan nilai *Outfit* MNSQ, *Outfit* Z-STD, dan *Point Measure Correlation*. Item 27 memiliki nilai MNSQ yang melebihi batas atas 1.5, serta nilai Z-STD yang berada di luar rentang -2 hingga +2, yang mengindikasikan bahwa respon terhadap item ini tidak konsisten dengan tingkat kesulitan yang diharapkan dan item ini terlalu sulit untuk dipahami oleh responden. Demikian pula, item 42 menunjukkan masalah yang serupa, dengan nilai MNSQ dan Z-STD yang di luar batas yang disarankan, serta nilai Pt *Measure* Corr yang sangat rendah, yang menunjukkan bahwa item ini mungkin membingungkan atau tidak dipahami dengan baik oleh responden. Hasil analisis tersebut menjadi dasar pertimbangan untuk melakukan eliminasi terhadap terhadap item 4, 5, 6, 9, 11, 16, 18, 20, 27, 32, 35,40, 42, 44, dan 45. Melalui temuan ini, eliminasi item-item

tersebut membantu meningkatkan validitas dan reliabilitas angket, sehingga hasil pengukuran literasi lingkungan menjadi lebih akurat dan mencerminkan kemampuan sesungguhnya dari responden. Eliminasi ini juga memungkinkan pengembangan instrumen yang lebih fokus dan efektif dalam mengukur literasi lingkungan.

c. Hasil ujicoba instrumen literasi keberlanjutan masyarakat

Angket literasi keberlanjutan masyarakat diujicobakan kepada 35 responden yang tinggal di daerah sekitar penambangan emas. Responden pada ujicoba angket literasi keberlanjutan merupakan masyarakat yang pernah terlibat dalam penelitian pendahuluan pada studi ini. Pada umumnya masayarakat tidak menemukan kendala dalam mengisi angket yang telah diberikan. Masyarakat memberi respon sesuai dengan pemahaman yang mereka miliki dan sesuai dengan apa yang mereka rasakan. Hasil analisis terhadap ujicoba yang telah dilakukan menunjukkan bahwa angket literasi keberlanjutan masyarakat memiliki konsistensi yang sangat baik dalam melakukan pengukuran, artinya reliabilitas instrumen angket sangat baik. Nilai *Alpha Cronbach* hasil perhitungan sebesar 0,92 sedangkan nilai *item reliability* sebesar 0,88 (Lampiran 10). Nilai tersebut memberi informasi bahwa interaksi antara responden dengan instrumen literarsi keberlanjutan masyarakat sangat baik. Selain itu kualitas butir soal dalam instrumen secara umum berada pada level yang baik. Hasil analisis *Outfit* MNSQ, *Outfit* Z-STD, dan *Point Measure Correlation* yang disajikan pada Tabel 3.25, memberikan informasi bahwa tidak ada item yang menyimpang dari model Rasch atau *misfit.* Tidak ditemukan item yang memenuhi tiga krtiteria yang diajukan oleh Boone *et al.* (2014), sehingga seluruh item fit dengan model Rasch.

Tabel 3.25 ***Item Statistics Misfit Order*** **Angket Literasi Keberlanjutan Masyarakat**

Item	Jumlah Mahasiswa	*Infit*		*Outfit*		*PT Measur-AL Corr.*
		MNSQ	*ZSTD*	*MNSQ*	*ZSTD*	
1	35	1,03	0,28	1,57	0,81	0,06
2	35	1,06	0,39	2,68	1,30	-0,07
3	35	1,20	0,62	0,84	0,02	0,38

Item	Jumlah Mahasiswa	*Infit*		*Outfit*		*PT Measur-AL Corr.*
		MNSQ	*ZSTD*	*MNSQ*	*ZSTD*	
4	35	0,78	-0,68	0,60	-0,77	0,57
5	35	0,98	0,31	0,55	0,09	0,16
6	35	1,03	0,36	1,21	0,61	0,04
7	35	1,34	1,05	1,07	0,32	0,37
8	35	1,02	0,17	0,81	-0,24	0,41
9	35	1,19	0,66	1,70	1,22	0,13
10	35	1,44	1,01	1,95	1,17	0,10
11	35	1,33	1,18	1,89	1,74	0,43
12	35	1,09	0,36	0,77	-0,19	0,41
13	35	1,88	1,96	2,08	1,38	0,02
14	35	0,52	-1,75	0,39	-1,25	0,64
15	35	0,56	-2,12	0,68	-1,02	0,54
16	35	1,26	0,72	1,29	0,60	0,18
17	35	1,10	0,37	2,03	1,10	-0,04
18	35	0,77	-0,58	0,96	0,17	0,35
19	35	1,35	1,22	1,13	0,43	0,48
20	35	1,19	0,72	0,97	0,10	0,48
21	35	0,69	-1,06	0,49	-1,09	0,64
22	35	0,98	0,31	0,55	0,09	0,16
23	35	0,88	-0,24	0,49	-0,79	0,53
24	35	0,33	-2,70	0,26	-1,64	0,69
25	35	2,00	1,35	1,14	0,48	0,16
26	35	0,50	-1,75	0,33	-1,36	0,64
27	35	1,08	0,33	0,58	-0,51	0,47
28	35	0,89	-0,20	0,54	-0,68	0,53
29	35	0,72	-0,85	0,46	-1,03	0,60
30	35	1,00	0,24	0,86	0,22	0,14
31	35	2,00	1,35	1,14	0,48	0,16
32	35	1,02	0,17	1,52	0,96	0,13
33	35	0,96	-0,09	0,96	-0,10	0,64
34	35	1,61	2,10	1,55	1,37	0,31
35	35	0,95	-0,16	1,05	0,29	0,68
36	35	1,15	0,71	1,09	0,43	0,55
37	35	1,33	1,06	1,19	0,51	0,35
38	35	1,48	1,63	1,24	0,66	0,35
39	35	0,99	0,04	0,94	-0,06	0,51
40	35	0,87	-0,48	0,78	-0,62	0,50
41	35	0,76	-0,99	1,53	1,44	0,17
42	35	0,85	-0,61	0,80	-0,56	0,45

Item	Jumlah Mahasiswa	*Infit*		*Outfit*		*PT Measur-AL Corr.*
		MNSQ	*ZSTD*	*MNSQ*	*ZSTD*	
43	35	0,82	-0,41	0,69	-0,29	0,36
44	35	1,75	2,42	1,42	1,06	0,39
45	35	0,89	-0,42	1,33	1,20	0,52
46	35	0,74	-1,20	0,73	-0,96	0,56
47	35	1,56	2,21	1,39	1,41	0,62
48	35	0,91	-0,32	1,04	0,24	0,57
49	35	0,60	-1,92	0,70	-0,96	0,58
50	35	0,65	-1,74	0,66	-1,35	0,66

Hasil analisis memberikan penguatan bahwa meskipun beberapa item memiliki nilai-nilai yang mendekati batas yang disarankan, namun tidak ada satu pun item yang gagal pada ketiga kriteria sekaligus. Ini menunjukkan bahwa instrumen ini secara umum valid, dimana setiap item memberikan kontribusi yang berarti dalam mengukur literasi keberlanjutan masyarakat. Item dapat dipahami tanpa adanya masalah besar dalam hal konsistensi jawaban, pemahaman responden, atau tingkat kesulitan item. Dengan kata lain, semua item valid dan mampu memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengukuran sehingga tidak perlu adanya eliminasi item. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh item dalam angket dapat digunakan untuk mengukur literasi keberlanjutan masyarakat secara komprehensif pada penelitian yang dilakukan. Tanpa adanya item yang dieliminasi, instrumen ini dapat dipertahankan dalam bentuk aslinya.

Program dan instrumen penelitian yang telah dianalisis kemudian direvisi sesuai dengan temuan dari hasil ujicoba terbatas. Revisi ini dilakukan berdasarkan hasil evaluasi terhadap validitas dan reliabilitas instrumen, serta kendala yang dihadapi dalam mengimplementasikan tahapan kegiatan yang ada pada program. Setiap kelemahan yang teridentifikasi, seperti item soal yang tidak sesuai dengan model Rasch atau kegiatan dalam program yang menemui kendala teknis selama pelaksanaan telah diperbaiki, baik dari segi desain kegiatan, maupun alur pelaksanaan. Fokus utama revisi ini adalah memastikan bahwa program dapat diterapkan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan dan instrumen dapat secara akurat mengukur literasi lingkungan, keterampilan pemecahan masalah, serta

literasi keberlanjutan peserta, Dengan demikian, hasil dari ujicoba terbatas ini, digunakan sebagai panduan untuk mengoptimalkan keseluruhan rancangan program dan instrumen agar lebih efektif dan relevan.

3.4.2 Fase implementasi

Fase implementasi dalam penelitian ini merupakan tahap kunci dalam rangkaian kegiatan penelitian. Program pembelajaran ekologi berbasis *citizen science* yang telah direvisi, diimplementasikan kepada mahasiswa. Tahapan ini dimulai dengan pre-test untuk menilai keterampilan pemecahan masalah dan literasi lingkungan mahasiswa sebelum mereka mengikuti program. Pre-test bertujuan untuk mendapatkan data awal mengenai kemampuan dan pemahaman terhadap masalah ekologi dan pencemaran lingkungan, khususnya terkait pencemaran limbah tambang emas di daerah aliran sungai. Selanjutnya, dilakukan pelaksanaan pembelajaran yang terdiri dari beberapa pertemuan yang telah dirancang dalam program, di mana peserta terlibat aktif dalam mengikuti rangkaian kegiatan, baik di kelas maupun dilapangan serta pengumpulan data terkait kondisi lingkungan disekitar area penambangan emas. Pembelajaran ini mengintegrasikan konsep-konsep ekologi dengan pendekatan *citizen science*, dimana mahasiswa dan masyarakat berkolaborasi dalam mengidentifikasi masalah lingkungan, mengukur kualitas ekosistem sungai, dan merumuskan solusi keberlanjutan.

Setelah fase pembelajaran selesai, dilakukan post-test untuk mengukur perkembangan keterampilan pemecahan masalah dan literasi lingkungan pasca mengikuti program. Post-test ini penting untuk mengevaluasi efektivitas program dalam meningkatkan pemahaman dan kemampuan peserta dalam menghadapi masalah lingkungan nyata. Di samping itu, dilakukan pengisian angket literasi keberlanjutan masyarakat untuk menilai sejauh mana program berhasil meningkatkan kesadaran dan keterlibatan masyarakat dalam isu keberlanjutan. Data yang dikumpulkan dari pre-test, post-test, dan angket kemudian dianalisis untuk menentukan perubahan signifikan dalam literasi lingkungan dan keterampilan pemecahan masalah peserta, serta dampaknya terhadap literasi

keberlanjutan masyarakat. Hasil analisis yang diperoleh, digunakan sebagai dasar untuk fase evaluasi berikutnya.

3.4.3 Fase evaluasi

Fase evaluasi merupakan tahapan akhir dari prosedur penelitian setelah fase implementasi. Data yang dikumpulkan dari pre-test, post-test keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan serta angket literasi keberlanjutan masyarakat dianalisis untuk mengevaluasi peningkatan masing-masing pengukuran. Analisis data dari angket literasi keberlanjutan masyarakat dilakukan menggunakan model Rasch. Pendekatan yang digunakan dalam analisis hasil dari fase implementasi dilakukan melalui pengukuran tingkat kemampuan individu terhadap setiap item, serta memastikan bahwa respon peserta individu terhadap item-item sesuai dengan model pengukuran yang diharapkan. Melalui model Rasch, analisis dapat dilakukan dengan mengidentifikasi sejauh mana instrumen tersebut mampu mengukur literasi keberlanjutan secara konsisten dan akurat. Pengukur keterampilan pemecahan masalah dan literasi lingkungan mahasiswa dilakukan dengan menggunakan data pre-test dan post-test yang dianalisis melalui metode stacking and racking. Metode ini memungkinkan peneliti untuk membandingkan hasil pre-test dan post-test secara detail, sehingga perubahan atau peningkatan kemampuan mahasiswa dapat diidentifikasi secara jelas. Stacking membantu menggabungkan data dari pre-test dan post-test dalam satu analisis untuk melihat perbedaan antar kelompok, sedangkan racking digunakan untuk memetakan perkembangan individual mahasiswa dari waktu ke waktu. Penggunaan metode analisis stacking and racking pada fase evaluasi telah memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang efektivitas program dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah dan literasi lingkungan mahasiswa. Metode ini memungkinkan analisis mendalam terhadap perubahan hasil pre-test dan post-test, sehingga dapat diidentifikasi peningkatan kemampuan peserta secara lebih akurat. Selain itu, pengukuran dengan model Rasch memungkinkan penilaian terhadap keberhasilan program dalam mengembangkan literasi keberlanjutan di masyarakat.

Bagian interpretasi data kual dan kuan merupakan komponen krusial dalam fase evaluasi, di mana temuan dari fase kualitatif dan kuantitatif diintegrasikan untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang hasil penelitian. Pada tahap ini, data kuantitatif yang diperoleh melalui pengukuran, seperti pre-test, post-test, dan angket, dihubungkan kembali dengan hasil analisis kebutuhan dari fase kualitatif. Tujuannya adalah untuk menafsirkan bagaimana program pembelajaran yang telah dikembangkan mampu menjawab kebutuhan yang teridentifikasi sebelumnya, serta sejauh mana tujuan penelitian telah tercapai. Proses ini dapat mengevaluasi apakah strategi pembelajaran yang diterapkan efektif dalam konteks yang telah dipelajari. Hasil dari evaluasi ini juga dapat memberikan landasan kuat untuk menarik kesimpulan yang jelas mengenai dampak keseluruhan program, sekaligus memberikan rekomendasi strategis untuk pengembangan lebih lanjut dan penyempurnaan implementasi program di masa mendatang.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed methods* yang melibatkan kombinasi data kualitatif dan data kuantitatif untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif tentang keunggulan dan keterbatasan pembelajaran ekologi berbasis *citizen science* terkait pencemaran limbah tambang emas di daerah aliran sungai. Data kualitatif diperoleh melalui studi lapangan dan studi literatur. Studi lapangan dilakukan melaui observasi dan analisis dokumen, sedangkan studi literatur dilakuan dengan analisis litetur atau reviu literatur. Data kuantitatif diperoleh melalui pre-test dan post-test untuk mengukur perubahan kemampuan peserta dalam keterampilan pemecahan masalah dan literasi lingkungan sebelum dan sesudah pelaksanaan program. Angket skala Likert juga digunakan untuk mengukur literasi keberlanjutan masyarakat, dengan fokus pada sikap dan kesadaran mereka terhadap isu-isu lingkungan. Dengan menggunakan berbagai teknik pengumpulan data ini, penelitian dapat menggabungkan temuan kualitatif dan kuantitatif untuk menilai efektivitas program pembelajaran serta mengidentifikasi keunggulan dan kendala

yang muncul selama implementasinya. Gambaran tersebut disajikan pada Tabel 3.26.

Tabel 3.26 Teknik Pengumpulan Data Berdasarkan Pertanyaan Penelitian

No	Pertanyaan Penelitian	Jenis Data	Teknik Pengumpulan Data/Instrumen	Sumber Data
1	Bagaimanakah karaktersitik program pembelajaran ekologi berbasis *citizen science project* pada pencemaran limbah tambang emas di daerah aliran sungai yang digunakan untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah dan literasi lingkungan calon guru serta literasi keberlanjutan masyarakat?	• Data hasil studi lapangan pada fase analisis kebutuhan • Data hasil studi literatur analisis kebutuhan • Data hasil eksplorasi terhadap karak-teristik program perkuliahan yang meliputi kompo-nen program perkuliahan dikembangkan, hasil ujicoba program, revisi program hasil ujicoba.	Teknik non tes: • Lembar observasi lapangan • Lembar analisis dokumen bahan ajar • Lembar reviu literatur • Wawancara tidak terstruktur • Lembar observasi keterlaksanaan program pada fase ujicoba.	• Dosen pengampu mata kuliah • Masyarakat sekitar area penambangan • Dokumen Kurikulum • Bahan Ajar • Buku referensi terkait penelitian • Artikel Ilmiah terkait penelitian • Kegiatan ujicoba program
2	Bagaimanakah keterampilan pemecahan masalah calon guru biologi pada perkuliahan ekologi berbasis *citizen science project* pada pencemaran limbah tambang emas di daerah aliran sungai?	Data level keterampilan pemecahan masalah calon guru biologi	Teknik tes: Instrumen keterampilan pemecahan masalah	Mahasiswa
3	Bagaimanakah literasi lingkungan calon guru biologi pada perkuliah-an ekologi berbasis *citizen science project* pada pencemaran limbah tambang emas di daerah aliran sungai?	Data level literasi lingkungan calon guru biologi	Teknik tes: Instrumen literasi lingkungan	Mahasiswa

No	Pertanyaan Penelitian	Jenis Data	Teknik Pengumpulan Data/Instrumen	Sumber Data
4	Bagaimanakah literasi keberlanjutan masyarakat yang ikut serta dalam program pembelajaran ekologi berbasis *citizen science project* pada pencemaran limbah tambang emas di daerah aliran sungai?	Data level literasi keberlanjutan masyarakat	Teknik tes: Instrumen literasi keberlanjutan masyarakat	Mahasiswa
5	Bagaimanakah keunggulan dan keter-batasan pembelajaran ekologi berbasis *citizen science project* dengan isu pencemaran limbah tambang emas di daerah aliran sungai?	• Data observasi lapangan saat implementasi program pembelajaran • Data kuantitatif pre-test, post-test, dan angket • Data Kulitatif dari fase analisis kebutuhan	Teknik tes dan non tes: • Lembar observasi pelaksaan program • Data kuantitatif pre-test, post-test, dan angket, dihubungkan kembali dengan hasil analisis kebutuhan dari fase kualitatif.	• Mahasiswa • Kegiatan Pelaksaan program • Hasil analisis kebutuhan

3.6 Teknik Analisis Data

Teknik Analisis Data dalam penelitian ini merupakan tahapan penting yang bertujuan untuk mengolah dan menafsirkan data yang telah dikumpulkan selama proses penelitian, baik data kualitatif maupun kuantitatif. Analisis data dilakukan untuk menjawab pertanyaan penelitian dan melihat keefektifan program pembelajaran ekologi berbasis *citizen science* terkait pencemaran limbah tambang emas di daerah aliran sungai. Data kualitatif diperoleh melalui observasi, analisis dokumen, dan studi literatur, sementara data kuantitatif dihasilkan dari hasil pre-test, post-test, serta angket. Melalui metode analisis yang tepat, diharapkan penelitian ini memberikan gambaran yang komprehensif tentang keunggulan dan keterbatasan program, serta sejauh mana program tersebut berhasil meningkatkan

keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan, dan literasi keberlanjutan di masyarakat.

3.6.1 Data kualitatif

Teknik analisis data kualitatif dalam penelitian ini dilakukan dengan pendekatan sistematis yang melibatkan data yang diperoleh dari studi lapangan dan studi literatur serta implementasi program pada saat ujicoba terbatas dan saat fase implemantasi. Data kualitatif dari studi lapangan dikumpulkan melalui observasi langsung, wawancara tidak terstruktur dan analisis dokumen, di mana peneliti menggunakan lembar observasi untuk mencatat kondisi dilapangan, baik di sekolah maupun di lokasi penambangan serta menggunakan lembar analisis dokumen untuk menilai relevansi dan kesesuaian bahan ajar dengan konteks penelitian. Studi literatur dilakukan melalui analisis literatur atau reviu literatur, yang bertujuan untuk mempelajari berbagai sumber tertulis yang mendukung penelitian. Sedangkan pada saat ujicoba terbatas dan saat fase implemantasi, data dikumpulkan melalui observasi langsung terhadap implementasi program, di mana peneliti menggunakan lembar observasi untuk mencatat kegiatan peserta selama pelaksanaan program. Analisis data kualitatif sumber data yang dianalisis meliputi:

1. Observasi langsung dan wawancara tidak terstruktur di lokasi penambangan yang dilakukan dengan pengamatan dan observasi terhadap kegiatan penambangan, aliran limbah yang masuk ke sungai, serta kondisi fisik dan biologis di daerah aliran sungai. Observasi juga mencakup interaksi dengan masyarakat lokal, untuk memahami bagaimana kondisi sosial masyarakatnya
2. Dokumen Kurikulum merupakan sumber data untuk menganalisis kurikulum yang ada, dimana kurikulum tersebut di analisis untuk melihat kemungkinan pengintegrasian pendekatan pembelajaran berbasis *citizen science* sesuai dengan tujuan yang dicapai.

3. Dokumentasi program pembelajaran ekologi yang ada, dimana program pembelajaran ekologi merupakan acuan konkret dari program yang dikembangkan secara spesifik berdasar kurikulum yang ada.
4. Bahan Ajar, merupakan sumber data untuk menganalisis relevansi bahan ajar yang digunakan dalam program pembelajaran terkait isu pencemaran limbah tambang emas.
5. Buku referensi terkait penelitian merupakan sumber data untuk membahas konsep ekologi, keberlanjutan, dan pencemaran lingkungan digunakan sebagai referensi untuk memperkuat analisis.
6. Artikel Ilmiah terkait penelitian merupakan sumber data untuk memberikan perspektif yang mendalam mengenai penelitian-penelitian serupa dan memberikan landasan teoritis serta empiris yang relevan.

Dalam proses analisis data kualitatif pengelolaan data dilakukan melalui teknik reduksi data, kategorisasi, dan penarikan kesimpulan. Reduksi data dilakukan untuk menyaring informasi penting dari observasi dan dokumen, sementara kategorisasi bertujuan untuk mengelompokkan data berdasarkan tema-tema kunci seperti keunggulan program, keterbatasan program, serta relevansi materi dengan isu lingkungan yang diteliti. Setelah itu, peneliti melakukan penyusunan program pembelajaran melalui sinkronisasi RPS, Lembar Kerja Mahasiswa yang merujuk pada tahapan *citizen science project* dalam pembelajaran serta kegiatan pengukuran kualitas sungai, kemudian menyusun instrumen penilaian dimana seluruh tahapan penyusunan merujuk pada hasil studi lapangan dan studi pustaka. Gambaran rinci penggunaan data kualitatif sebagai dasar dalam pengembangan program pembelajaran ekologi berbasis *citizen science project* di uraikan pada Tabel 3.27

Tabel 3.27 Penggunaan Data Kualitatif dalam Pengembangan Program

Pengembangan Program Pembelajaran Ekologi Berbasis *Citizen Science*	**Data Kualitatif yang Menjadi Dasar Penyusunan Program Pembelajaran**	**Deskripsi**	**Hasil yang Dicapai**
1. Identifikasi Masalah Ekologi Lokal	Observasi langsung dan wawancara dengan masyarakat sekitar Sungai Batanghari mengenai pencemaran akibat penambangan emas	Mengidentifikasi proses pencemaran air, dampak pencemaran yang muncul terhadap ekosistem sungai, serta kesadaran masyarakat terhadap lingkungan	Diperoleh pemahaman mengenai dampak nyata aktivitas tambang terhadap lingkungan dan masyarakat sebagai dasar untuk menyusun pembelajaran berbasis konteks lokal
2. Analisis Kurikulum Mata Kuliah Ekologi	Studi dokumen kurikulum dari tiga Program Studi Pendidikan Biologi di Provinsi Jambi dan Provinsi sekitarnya yang dilalui Sungai Batanghari, analisis materi pembelajaran ekologi terkait pencemaran lingkungan	Meninjau sejauh mana kurikulum telah mengintegrasikan isu pencemaran lingkungan, serta mengevaluasi pengintegrasian keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan dan literasi keberlanjutan dalam pembelajaran	Ditemukan bahwa isu pencemaran akibat tambang emas belum banyak diintegrasikan di dalam kurikulum, sehingga perlu pembelajaran berbasis proyek yang lebih aplikatif untuk memfasilitasi perkembangan keterampilan pemecahan masalah literasi lingkungan dan literasi keberlanjutan
3. Penyusunan RPS (Rencana Pembelajaran Semester)	Data dari dokumentasi program pembelajaran ekologi yang ada serta studi pustaka mengenai pengembangan program dan pendekatan pembelajaran berbasis proyek *citizen science*	a. Menyusun materi dengan isu-isu lingkungan lokal, menentukan materi yang membahas pencemaran air akibat tambang emas dan dampaknya terhadap ekosistem sungai. b. Meninjau pendekatan pembelajaran yang relevan, menggunakan pembelajaran berbasis	RPS yang dikembangkan menekankan keterampilan pemecahan masalah dan literasi lingkungan, serta menghubungkan teori ekologi dengan isu lingkungan nyata

Pengembangan Program Pembelajaran Ekologi Berbasis *Citizen Science*	**Data Kualitatif yang Menjadi Dasar Penyusunan Program Pembelajaran**	**Deskripsi**	**Hasil yang Dicapai**
		proyek (*project-based learning*), *citizen science*, dan *inquiry-based learning* untuk meningkatkan keterlibatan mahasiswa	
4. Pengembang-an Lembar Kerja Mahasiswa (LKM)	Studi pustaka mengenai tahapan proyek *citizen Science*, data hasil observasi dan wawancara dengan masyarakat tentang pencemaran sungai	a. LKM merujuk pada tahapan proyek *citizen science*: LKM dikembangkan untuk memandu mahasiswa dalam proses ilmiah berbasis komunitas, seperti identifikasi masalah, pengum-pulan data, analisis, dan penyusunan rekomendasi. b. LKM memuat kegiatan pengukuran kualitas sungai, LKM memuat prosedur observasi lapangan, pengambilan sampel air, pengukuran tingkat pencemaran, dan analisis dampak ekologis	LKM yang disusun memandu mahasiswa dalam pembelajaran aktif, meningkatkan keterampilan analisis data lingkungan, serta memperkuat keterlibatan masyarakat dalam pemantauan kualitas lingkungan
5. Implementasi dan Evaluasi Keterlaksanaan Program Pembelajaran	Observasi keterlaksanaan program pembelajaran ekologi	Evaluasi dilakukan untuk menilai efektivitas pembelajaran dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan dan literasi keberlanjutan	Mahasiswa lebih memahami permasalahan lingkungan secara nyata, mampu menganalisis pencemaran sungai secara ilmiah, serta lebih peduli terhadap konservasi lingkungan. Sedangkan

Pengembangan Program Pembelajaran Ekologi Berbasis *Citizen Science*	Data Kualitatif yang Menjadi Dasar Penyusunan Program Pembelajaran	Deskripsi	Hasil yang Dicapai
			masyarakat yang terlibat memahami bagaimana ekosistem dan sistem sosial bekerja untuk menjaga keberlanjutan

Dari Tabel di atas, terlihat bahwa data kualitatif memainkan peran penting dalam mengembangkan program pembelajaran berbasis lingkungan. Proses ini dimulai dari identifikasi kebutuhan yang terkait permalahan kontekstual dalam kajian ekologi, analisis kurikulum, hingga penyusunan metode pembelajaran aktif dan evaluasi keterlaksanaan program pembelajaran. Melalui pendekatan ini, program pembelajaran tidak hanya meningkatkan kompetensi akademik mahasiswa tetapi juga berkontribusi terhadap solusi permasalahan lingkungan yang nyata. Kemudian hasil implementasi dihubungkan dengan hasil analisis data kuantitaf agar dapat menarik kesimpulan dengan menghubungkan temuan lapangan yang sesuai teori dan literatur yang dianalisis, guna memberikan gambaran menyeluruh mengenai efektivitas dan dampak pembelajaran berbasis *citizen science*.

3.6.2 Data kuantitatif

Teknik analisis data kuantitatif yang diperoleh dari *judgment* ahli terkait kelayakan Lembar Kerja Mahasiswa yang memuat program pembelajaran serta pre-test, dan post-test yang terkait keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan, dan literasi keberlanjutan masyarakat.

1. Data *judgment* ahli

Data dari judgment ahli tentang kelayakan program dan lembar kerja mahasiswa dianalisis secara deskriptif untuk menilai kualitas dan kesesuaian program pembelajaran. Para ahli menilai setiap aspek program dan lembar kerja berdasarkan relevansi pembelajaran dan keterkaitan dengan tujuan pembelajaran.

Data hasil penilaian dapat membantu memperkuat validitas program serta memberikan dasar untuk perbaikan dan penyempurnaan lebih lanjut.

2. Analisis data pre-test dan post-test keterampilan pemecahan masalah dan literasi lingkungan

Analisis data yang dikumpulkan dari pre-test dan post-test keterampilan pemecahan masalah, literasi lingkungan, serta angket literasi keberlanjutan masyarakat dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas program pembelajaran. Data dari pre-test dan post-test dianalisis menggunakan metode stacking and racking, yang memungkinkan peneliti untuk membandingkan hasil dari setiap peserta secara longitudinal, baik sebelum maupun sesudah program dilaksanakan. Analisis ini memberikan gambaran jelas tentang peningkatan keterampilan pemecahan masalah dan literasi lingkungan peserta, sekaligus mengidentifikasi area yang masih perlu diperbaiki. Stacking and racking dalam konteks model Rasch adalah dua teknik yang digunakan untuk menganalisis perubahan kemampuan individu dari waktu ke waktu, khususnya ketika ada pre-test dan post-test dalam penelitian. Kedua metode ini membantu mengevaluasi perubahan dalam keterampilan atau kemampuan peserta setelah intervensi atau program pembelajaran.

a). Stacking

Stacking adalah teknik di mana data dari pre-test dan post-test dikombinasikan menjadi satu set data untuk dianalisis secara bersamaan yang diatur secara vertikal. Dalam konteks Model Rasch, ini memungkinkan peneliti untuk membandingkan semua data respon peserta dari kedua pengukuran sekaligus. Dengan cara ini, stacking membantu melihat bagaimana kemampuan peserta secara keseluruhan berubah dari sebelum program hingga setelah program tanpa memisahkan kedua pengukuran. Teknik ini memberikan pandangan holistik terhadap perbedaan atau perkembangan kemampuan secara keseluruhan, dan memungkinkan analisis kemampuan peserta dalam satu skala waktu yang kontinu. Adapun tahapan analisisnya adalah sebagai berikut (Isnawati *et al.,* 2024; Neumann *et al.,* 2011; Sukarelawa *et al.,* 2024):

(1) Siapkan data pretest dan posttest mahasiswa dalam Microsoft Excel yang tersusun vertikal.

(2) Masukkan data tersebut kedalam aplikasi winstep 5.7.1 yang telah disiapkan sebelumnya.

(3) Operasikan aplikasi winstep 5.7.1 sesuai prosedur

(4) Tampilkan analisis yang dihasilkan yaitu output *wright maps* dan *output person measure* (*entry*), (Sumintono & Widhiarso, 2013)

(a) *Wright maps*: Analisis pemetaan yang berguna dalam memvisualisasikan data, sehingga memungkinkan untuk melihat pola distribusi jawaban ataupun respon dari mahasiswa sebelum dan sesudah intervensi.

(b) *Person entry*: Analisis yang digunakan untuk menyajikan data individu mahasiswa dalam konteks pengukuran tingkat jawaban ataupun respon dari mahasiswa antara pre-test dan post-test dalam sebuah penelitian atau dengan kata lain bagian ini digunakan untuk melihat secara rinci nilai mana yang tinggi dan mana yang rendah.

(5) Mengkategorisasi tingkat keterampilan mahasiswa melalui perbandingan nilai *measure*, nilai *mean*, dan standar deviasi (P.SD) yang diperoleh dari analisis *person entry*. Tingkat keterampilan mahasiswa dibagi menjadi empat kategori yaitu sangat rendah, redah, tinggi dan sangat tinggi.

(6) Untuk mengetahui seberapa besar perubahan tingkat keterampilan mahasiswa maka dapat diperoleh dengan nilai hasil selisih antara pretest dan posttest (selisih = postest-pretest).

b). Racking

Racking merupakan teknik yang memungkinkan analisis yang lebih rinci mengenai perubahan individu dari pre-test ke post-test. Dalam metode ini, data pre-test dan post-test peserta dihubungkan secara langsung yang diposisikan secara horizontal. Ini memungkinkan peneliti melihat perbedaan kemampuan individu pada kedua waktu pengukuran, sambil mempertahankan hubungan antara data pre-test dan post-test untuk setiap individu. Teknik ini lebih tepat untuk mengukur kemajuan individu karena dapat melihat perubahan spesifik dari

masing-masing peserta antara pre-test dan post-test, sehingga lebih fokus pada perkembangan setiap peserta. Adapun tahapan analisisnya adalah sebagai berikut:

(1) Siapkan data pretest dan posttest mahasiswa dalam Microsoft Excel yang tersusun Horizontal.
(2) Masukkan data tersebut kedalam aplikasi winstep 5.7.1.
(3) Operasikan aplikasi winstep 5.7.1 sesuai prosedur.
(4) Tampilkan analisis yang dihasilkan yaitu output *wright maps* dan *output item measure* (*entry*), (Sumintono & Widhiarso, 2013)
   (a) *Wright maps*: Analisis pemetaan yang berguna dalam memvisualisasikan data, sehingga memungkinkan untuk melihat pola distribusi item jawaban ataupun item respon dari mahasiswa sebelum dan sesudah intervensi. Analisis memungkinkan untuk melihat pola distribusi tingkat kesulitan item pada pretest dan posttest.
   (b) *Item entry*: Analisis yang digunakan untuk menyajikan data item dalam konteks pengukuran tingkat jawaban ataupun respon mahasiswa terhadap item antara pretest dan posttest. Pada penelitian ini, *item entry* untuk melihat secara rinci nilai item mana yang tinggi dan mana yang rendah.
(5) Mengkategorisasi tingkat kesulitan item melalui perbandingan nilai *measure*, nilai *mean*, dan *standar deviasi* (SD) yang diperoleh dari analisis *person entry*. Tingkat keterampilan mahasiswa dibagi menjadi empat kategori yaitu sangat rendah, redah, tinggi dan sangat tinggi.
(6) Untuk mengetahui seberapa besar perubahan tingkat keterampilan mahasiswa maka dapat diperoleh dengan nilai hasil selisih antara pretest dan posttest (selisih = postest-pretest).

3. Analisis data angket literasi keberlanjutan masyarakat

Sementara itu, angket literasi keberlanjutan masyarakat dianalisis menggunakan model Rasch untuk menilai tingkat konsistensi dan akurasi instrumen dalam mengukur literasi keberlanjutan secara komprehensif. Model Rasch memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi sejauh mana setiap item angket mampu mengukur dimensi keberlanjutan yang relevan, serta memastikan

bahwa respons individu terhadap item-item tersebut sesuai dengan model pengukuran yang diharapkan. Adapun tahapan analisis Rasch model yaitu;

(1) Siapkan data respon kuesioner yang telah diisi masyarakat kedalam Microsoft Excel.

(2) Masukkan data tersebut kedalam aplikasi winstep 5.7.1.

(3) Operasikan aplikasi winstep 5.7.1 sesuai prosedur.

(4) Tampilkan analisis yang dihasilkan yaitu output *wright maps* dan *output* item dan *person measure* (*entry*), (Sumintono & Widhiarso, 2013)

(a) *Wright maps*: Analisis pemetaan yang berguna dalam memvisualisasikan data responden (masyarakat) dan item pernyataan yang pada angket, sehingga memungkinkan untuk melihat pola distribusi responden terhadap item respon dari masyarakat sebelum dan sesudah intervensi. Analisis memungkinkan untuk melihat pola distribusi tingkat kesulitan item beserta kemampuan responden dalam memberikan persetujuan.

(b) *Item dan person entry*: Analisis yang digunakan untuk menyajikan data item dan person dalam konteks pengukuran tingkat persetujuan dan item yang mudah atau susah mendapatkan persetujuan. Pada penelitian ini, *item entry* untuk melihat secara rinci nilai item mana yang mudah atau susah mendapatkan persetujuan, dan responden mana yang paling baik dalam memberikan persetujuan, sehingga melalui hasil analisis ini dapat diidentifiikasi responden yang mengalami peningkatan setelah intervensi dan dimensi apa saja yang sulit mendapatkan persetujuan.

(5) Mengkategorisasi tingkat kesulitan item melalui perbandingan nilai *measure*, nilai *mean*, dan *standar deviasi* (P.SD) yang diperoleh dari analisis *person entry*. Tingkat keterampilan mahasiswa dibagi menjadi lima kategori yaitu sangat rendah, rendah, moderat, tinggi dan sangat tinggi.