

PENGEMBANGAN BUKU SAKU PADA MATERI PERUBAHAN DAN PELESTARIAN LINGKUNGAN HIDUP BERBASIS ISOLASI BAKTERI AKUMULASI TIMBAL(Pb) KELAS X SMA

Angely Sundari Putri ¹⁾, Irda Sayuti ²⁾, Darmawati ³⁾

E-mail: Angely.sundari3055@student.unri.ac.id, irda.sayuti@lecturer.unri.ac.id,
darmawati@lecturer.unri.ac.id

Pendidikan Biologi, FKIP, Universitas Riau

Abstract

The development of a pocket book based on the results of research on the isolation and identification of bacteria accumulating heavy metal lead (PB) has been validated and declared very valid for use as a learning resource in Biology learning. This pocket book is expected to improve students' understanding of the concept of environmental change and preservation as well as awareness of the impact of heavy metal pollution on aquatic ecosystems. Koto Panjang Reservoir is an aquatic ecosystem that is used for various purposes, including fish cultivation in Floating Net Cages (KJA). This cultivation activity contributes to an increase in the content of organic matter and heavy metals, especially lead (Pb), which can reduce the quality of the aquatic environment and affect the health of aquatic organisms. This research aims to develop a pocket book by isolating and identifying lead (Pb) accumulator bacteria in goldfish (Cyprinus carpio) from the Koto Panjang Reservoir KJA as a Biology learning medium in Environmental Change and Conservation material for class X SMA. This research uses a qualitative descriptive method with an experimental approach and learning media development. The identification results show that there are three genera of Pb accumulator bacteria, namely Enterobacter sp., Proteus sp., and Pseudomonas sp., with different morphological and biochemical characteristics.

Abstrak

Pengembangan buku saku berbasis hasil penelitian isolasi dan identifikasi bakteri akumulasi logam berat timbal(PB) telah divalidasi dan dinyatakan sangat valid untuk digunakan sebagai sumber belajar dalam pembelajaran Biologi. Buku saku ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep perubahan dan pelestarian lingkungan hidup serta kesadaran terhadap dampak pencemaran logam berat pada ekosistem perairan. Waduk Koto Panjang merupakan ekosistem perairan yang dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan, termasuk budidaya ikan dalam Keramba Jaring Apung (KJA). Aktivitas budidaya ini berkontribusi terhadap peningkatan kandungan bahan organik dan logam berat, terutama timbal (Pb), yang dapat menurunkan kualitas lingkungan perairan dan memengaruhi kesehatan organisme akuatik. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan buku saku dengan mengisolasi dan mengidentifikasi bakteri akumulator timbal (Pb) pada ikan mas (*Cyprinus carpio*) dari KJA Waduk Koto Panjang sebagai media pembelajaran Biologi pada materi Perubahan dan Pelestarian Lingkungan Hidup untuk kelas X SMA. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan eksperimen dan pengembangan media pembelajaran. Sampel ikan mas diperoleh dari KJA Waduk Koto Panjang, kemudian dilakukan isolasi bakteri dari organ insang dan usus menggunakan metode *spread plate* dan *streak plate* pada media Nutrient Agar (NA) yang mengandung 0,3 g Pb. Isolat bakteri yang diperoleh diidentifikasi berdasarkan karakteristik makroskopis, mikroskopis (pewarnaan Gram), serta uji biokimia (TSIA, SCA, SIM). Hasil identifikasi menunjukkan bahwa terdapat tiga genus bakteri akumulator Pb, yaitu *Enterobacter*

Article History

Submitted: 30 April 2025

Accepted: 3 Mei 2025

Published: 4 Mei 2025

Key Words

Pocketbook Common Carp; Cyprinus carpio; Heavy Metal (Pb); Accumulator Bacteri

Sejarah Artikel

Submitted: 30 April 2025

Accepted: 3 Mei 2025

Published: 4 Mei 2025

Kata Kunci

Buku Saku; Ikan Mas; Cyprinus carpio; Logam Berat (Pb); Bakteri Akumulator.

sp., *Proteus* sp., dan *Pseudomonas* sp., dengan karakteristik morfologi dan biokimia yang berbeda.

PENDAHULUAN

Buku saku adalah buku yang berukuran kecil, ringan, dan bisa disimpan di dalam saku. Sehingga praktis untuk dibawa kemana-mana dan kapan saja bisa dibaca. Buku saku diharapkan menjadi salah satu media yang dapat disajikan sebagai bahan ajar pendukung untuk menarik perhatian dan minat siswa dalam pembelajaran biologi. (Sankarto dkk, 2008).

Pengembangan buku saku berbasis hasil penelitian isolasi dan identifikasi bakteri akumulator Pb dari ikan di Waduk Koto Panjang dapat menjadi media pembelajaran yang efektif. Buku saku ini tidak hanya menyajikan informasi ilmiah mengenai dampak pencemaran timbal tetapi juga mengaitkannya dengan konteks lokal yang dekat dengan kehidupan sehari-hari peserta didik. Dengan demikian, peserta didik dapat lebih mudah memahami konsep perubahan lingkungan dan pelestariannya, serta termotivasi untuk berperan aktif dalam menjaga kelestarian lingkungan.

Penggunaan buku saku sebagai media pembelajaran sejalan dengan prinsip Kurikulum Merdeka yang mendorong pembelajaran berbasis proyek dan penelitian. Peserta didik diajak untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis, analitis, dan pemecahan masalah melalui kegiatan pembelajaran yang kontekstual dan aplikatif (Muhartini *et al.*, 2023). Dengan memahami permasalahan pencemaran timbal di lingkungan sekitar dan peran bakteri akumulator dalam mengatasinya, diharapkan peserta didik dapat mengembangkan solusi inovatif dan berkontribusi dalam upaya pelestarian lingkungan. Selain itu, pengembangan buku saku diharapkan dapat meningkatkan pemahaman dan kesadaran peserta didik terhadap isu-isu lingkungan yang sejalan dengan tujuan Kurikulum Merdeka untuk membentuk profil pelajar Pancasila yang beriman, bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa, berakhlak mulia, mandiri, bernalar kritis, dan bergotong royong dalam menjaga kelestarian lingkungan hidup.

Hasil penelitian isolasi dan identifikasi bakteri akumulasi logam berat timbal (Pb) pada ikan mas (*Cyprinus carpio*) keramba jaring apung di Waduk Koto Panjang digunakan sebagai rancangan buku saku dalam pembelajaran Biologi materi Perubahan dan Pelestarian Lingkungan Hidup SMA kelas X.

Waduk Koto Panjang merupakan salah satu ekosistem perairan yang dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan, termasuk sebagai lokasi budidaya ikan dengan sistem Keramba Jaring Apung (KJA). Aktivitas budidaya ini, meskipun memberikan manfaat ekonomi, juga berkontribusi terhadap peningkatan bahan organik dan logam berat di perairan, terutama timbal (Pb). Sayuti *et al.*, (2024) menyatakan bahwa di waduk koto panjang ditemukan adanya delapan isolat bakteri yaitu *Enterobacter chengduensis*, *Comamonas testosterone*, *Comamonas testosterone*, *Comamonas thiooxydans*, *Comamonas testosterone*, dan *Ralstonia mannitolilytica*, yang masing-masing menunjukkan tingkat toleransi yang berbeda terhadap logam berat Cd, Pb, dan Zn dalam uji toksisitas. Ulumudin & Purnomo (2022) juga menjelaskan bahwa peningkatan kadar Pb dalam air dapat berdampak negatif terhadap lingkungan perairan dan organisme akuatik, termasuk ikan yang dibudidayakan serta mikroorganisme yang hidup di dalamnya.

Ekosistem perairan di Indonesia memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung kehidupan berbagai organisme serta kesejahteraan manusia. Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, Indonesia memiliki ekosistem perairan yang beragam, mulai dari ekosistem air tawar seperti sungai, danau, dan rawa, hingga ekosistem air laut yang meliputi terumbu karang, hutan mangrove,

dan padang lamun (Husen *et al.*, 2024). Ekosistem ini tidak hanya berfungsi sebagai habitat bagi berbagai spesies, tetapi juga berkontribusi terhadap keseimbangan lingkungan dan perekonomian, terutama melalui sektor perikanan, pariwisata, dan perlindungan pantai.

Timbal adalah logam berat yang bersifat toksik dan dapat terakumulasi dalam tubuh organisme akuatik (Nuraeni *et al.*, 2021). Paparan timbal pada ikan, misalnya, dapat menyebabkan gangguan pertumbuhan, kerusakan jaringan, dan bahkan kematian (Rahayu *et al.*, 2017). Selain itu, akumulasi timbal dalam jaringan ikan yang dikonsumsi manusia dapat menimbulkan risiko kesehatan (Hayatun, 2019), seperti kerusakan sistem saraf dan gangguan fungsi ginjal. Oleh karena itu, pengelolaan kualitas air dan pengendalian kadar timbal di perairan Waduk Koto Panjang menjadi sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan kesehatan masyarakat.

Salah satu strategi untuk mengurangi dampak pencemaran Pb adalah dengan memanfaatkan bakteri akumulator Pb yang mampu menyerap dan menurunkan kadar logam berat dalam lingkungan perairan (Mustang, 2016). Beberapa bakteri yang telah diketahui memiliki kemampuan ini antara lain *Enterobacter sp.*, *Proteus sp.*, dan *Pseudomonas sp.*. Isolasi dan identifikasi bakteri akumulator Pb dari ikan yang dibudidayakan di KJA Waduk Koto Panjang dapat menjadi dasar untuk mengembangkan bahan ajar yang relevan dengan permasalahan lingkungan, khususnya pada pembelajaran Biologi di tingkat SMA.

Kurikulum Merdeka sebagai kurikulum nasional saat ini mengharuskan pembelajaran biologi menggunakan pendekatan berbasis ilmiah dan *student-centered*. Namun, berdasarkan wawancara dengan guru Biologi di MAN 1 Kampar, penggunaan buku paket dan Lembar Kerja Siswa (LKS) masih kurang mampu meningkatkan minat baca peserta didik. Sehingga diperlukan inovasi media pembelajaran, seperti buku saku, yang lebih praktis dan menarik. Afifah *et al.*, (2020) menyebutkan bahwa buku saku adalah media pembelajaran yang berupa bahan ajar dalam bentuk buku berukuran kecil, sehingga praktis untuk dibawa dan disimpan, selain itu buku saku dapat dimanfaatkan dalam proses pembelajaran untuk membantu siswa serta mempermudah mereka dalam membaca dan memahami materi yang disajikan (Husain & Puspasari, 2013). Media buku saku diharapkan dapat meningkatkan minat baca karena di dalam buku saku terdapat dokumentasi dan penjelasan agar dapat meningkatkan penguasaan konsep biologi. Buku saku ini diharapkan dapat meningkatkan minat baca dan pemahaman siswa terhadap konsep biologi dengan menyajikan informasi secara ringkas dan mudah diakses.

Pembelajaran Biologi menekankan pada pengembangan kompetensi peserta didik dalam memahami perubahan dan pelestarian lingkungan hidup (Ayu *et al.*, 2018). Salah satu capaian pembelajaran yang diharapkan adalah kemampuan peserta didik untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi keseimbangan ekosistem dan mencari solusi atas permasalahan lingkungan berdasarkan isu lokal, nasional, atau global. Pencemaran lingkungan akibat aktivitas antropogenik, seperti budidaya ikan dalam KJA, menjadi contoh nyata yang dapat dikaji lebih mendalam dalam pembelajaran.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kualitatif dengan metode eksperimen yang terdiri dari dua tahapan, yaitu penelitian eksperimen dan penelitian pengembangan (*Development*) buku saku sebagai media pembelajaran. Tahap eksperimen bertujuan untuk mengidentifikasi jenis-jenis bakteri akumulasi logam berat Timbal (Pb) pada ikan mas (*Cyprinus carpio*), dengan pengambilan sampel dilakukan di Keramba Jaring Apung Waduk Koto Panjang, Kabupaten Kampar, Riau, dan proses isolasi serta identifikasi bakteri dilakukan di Laboratorium Fakultas

Kedokteran Universitas Riau pada bulan Juni. Sampel berupa organ insang dan usus ikan mas dianalisis melalui metode isolasi bakteri menggunakan teknik *streak plate*, diikuti dengan pengamatan makroskopis (bentuk koloni, elevasi, tepi, dan warna koloni), mikroskopis (pewarnaan Gram), serta uji biokimia untuk menentukan jenis bakteri. Data hasil isolasi dan identifikasi dianalisis secara kualitatif dan disajikan dalam bentuk deskripsi, tabel, dan gambar.

Tahap pengembangan buku saku dilakukan dengan mengumpulkan data melalui wawancara dengan guru mata pelajaran biologi di sekolah untuk memahami kebutuhan media pembelajaran yang sesuai. Buku saku disusun berdasarkan hasil penelitian dan dirancang agar dapat digunakan sebagai sumber belajar pada materi Perubahan dan Pelestarian Lingkungan Hidup. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif untuk menghasilkan buku saku yang informatif dan relevan dengan pembelajaran biologi di sekolah. Adapun tahapan yang akan dilakukan ialah mulai dari tahapan *analysis*, *design* dan *development*. Pada tahap analisis dilakukan analisis kurikulum dan analisis materi pembelajaran. Kemudian akan dilakukan tahap desain dan pengembangan oleh validator.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengembangan Buku Saku Biologi Kelas X SMA

1. *Analysis*

Tahap awal pada tahap analisis yang dilakukan peneliti yaitu menganalisis kurikulum yang digunakan oleh Sekolah Menengah Atas (SMA) sesuai yang dikeluarkan oleh Kemendikbud (2024). Berdasarkan analisis tersebut, perancangan buku saku disesuaikan dengan Alur Tahapan Pembelajaran (ATP) terhadap Capaian Pembelajaran (CP) pada fase E sesuai dalam kurikulum Merdeka. Dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Materi Perubahan dan Pelestarian Lingkungan Hidup

Capaian Pembelajaran	Sub Materi	Pertemuan	Tujuan Pembelajaran (TP)
Pada akhir fase E, peserta didik memiliki kemampuan menciptakan solusi atas permasalahan ermasalahan berdasarkan isu lokal, nasional atau global terkait pemahaman keanekaragaman makhluk hidup dan peranannya, virus dan peranannya, inovasi teknologi biologi, komponen ekosistem dan interaksi antar komponen serta perubahan lingkungan	Pencemaran lingkungan hidup	2	Peserta didik mampu: <ul style="list-style-type: none">- Mendeskripsikan jenis bakteri akumulasi logam berat pada lingkungan tercemar- Menganalisis bahaya pencemaran logam berat terhadap kondisi makhluk hidup

Pengembangan buku saku ini nantinya akan diselaraskan dengan Capaian Pembelajaran (CP) dalam Kurikulum Merdeka pada mata pelajaran Biologi kelas X, khususnya dalam materi perubahan dan pelestarian lingkungan hidup. Kurikulum Merdeka menekankan pendekatan pembelajaran berbasis eksplorasi dan investigasi ilmiah, sehingga siswa tidak hanya memperoleh

pemahaman teoretis, tetapi juga mampu menghubungkan konsep dengan fenomena nyata di lingkungan sekitarnya. Dengan menggunakan buku saku ini, siswa dapat mempelajari bagaimana pencemaran logam berat terjadi, bagaimana bakteri akumulator berperan dalam proses bioremediasi, serta bagaimana langkah-langkah mitigasi pencemaran dapat dilakukan secara ilmiah.

2. Design

Pada tahap desain, perancangan buku saku yang akan dirancang sesuai dengan kurikulum merdeka. Perancangan design terdiri dari 2 tahap:

1. Perancangan perangkat pembelajaran

Perancangan perangkat pembelajaran diawali dengan menyusun Alur Tujuan Pembelajaran (ATP), modul ajar dan instrument penilaian.

2. Desain buku saku

Tahap design merupakan tahap perancangan konsep materi yang berkaitan dengan dengan fakta dan data yang didapatkan dari hasil penelitian. Struktur isi buku saku ini mencakup bagian utama seperti cover yang menarik dan informatif, kata pengantar yang memberikan gambaran umum tentang tujuan dan manfaat buku saku, daftar isi sebagai panduan navigasi materi, serta sumber referensi yang memastikan kredibilitas informasi. Selain itu, Khairiyah & Hamdi (2025) menjelaskan bahwa isi buku saku dikembangkan dengan menyertakan elemen visual dapat mendukung pemahaman siswa, seperti gambar, diagram, serta infografis sehingga memudahkan dalam memahami konsep pencemaran lingkungan dan peran bakteri akumulator dalam mitigasi logam berat timbal (Pb). Isi buku saku kemudian dibuat disertai dengan perancangan grafis, seperti berikut.

a. Cover

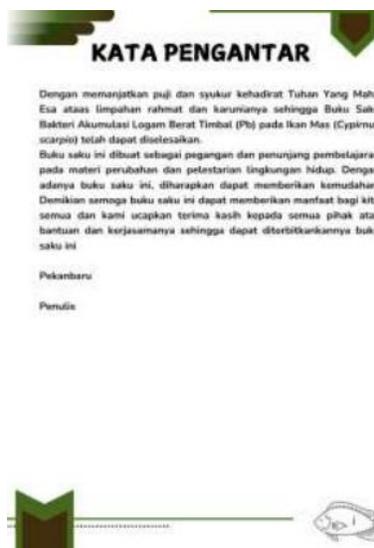
Cover buku saku ini menampilkan judul yang secara jelas menggambarkan isi dari buku tersebut, yaitu "Akumulasi Logam Berat Timbal pada Ikan Mas di Waduk Kota Panjang". Judul ini memberikan gambaran utama mengenai fokus pembahasan dalam buku saku ini. Pada bagian cover, terdapat gambar ikan mas yang menjadi objek utama dalam penelitian, serta ilustrasi bakteri yang berperan dalam proses akumulasi logam berat. Selain itu, cover juga mencantumkan nama penulis dan dosen pembimbing sebagai bentuk penghargaan terhadap kontribusi mereka dalam pengembangan buku ini. Tak ketinggalan, terdapat logo Tut Wuri Handayani yang melambangkan semangat pendidikan, serta logo Universitas yang menandakan afiliasi institusi dalam penyusunan buku saku ini.. Cover dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Cover pada Buku Saku

a. Kata Pengantar

Kata pengantar dalam sebuah buku saku adalah bagian pendahuluan yang berfungsi untuk menyampaikan tujuan penulisan, latar belakang, serta ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan buku tersebut. Bagian ini memberikan gambaran umum mengenai isi buku saku dan harapan penulis terhadap pembaca. Kata Pengantar dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Kata Pengantar pada Buku Saku

b. Daftar Isi

Daftar isi memuat letak halaman, bertujuan untuk memudahkan pembaca menemukan halaman tertentu pada buku saku. Daftar isi dapat dilihat pada gambar 3.

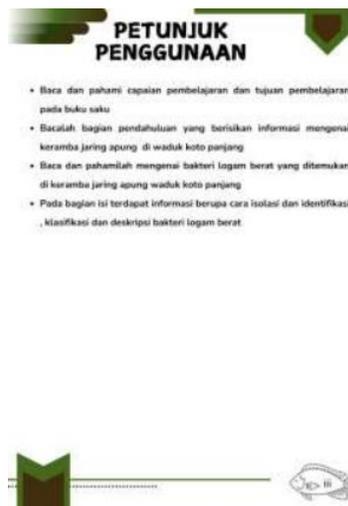


Gambar 3. Daftar Isi pada Buku Saku

c. Petunjuk Penggunaan

Petunjuk penggunaan buku saku terdiri dari petunjuk untuk peserta didik yang terdiri dari 3 petunjuk dalam menggunakan buku saku sebagai bahan pengayaan peserta didik. Petunjuk untuk guru terdiri dari 2 petunjuk. Bagi peserta didik buku saku yang

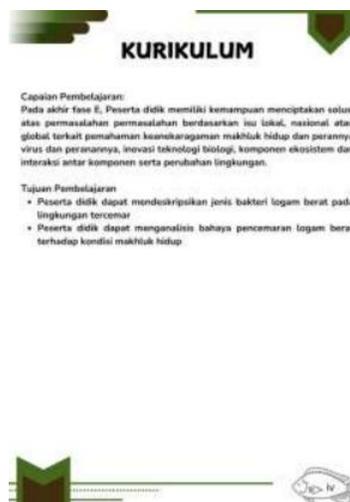
diintegrasikan dengan hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai media ajar pengayaan yang relevan untuk memperkaya pengetahuan peserta didik pada materi Perubahan dan Pelestarian Lingkungan Hidup. Sedangkan bagi guru buku saku ini dapat digunakan untuk membantu peserta didik dalam memahami materi pokok Perubahan dan Pelestarian Lingkungan Hidup. Petunjuk penggunaan dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Petunjuk Penggunaan pada Buku Saku

d. Kurikulum

Tingkatan Kurikulum memuat 3 komponen yaitu Capaian Pembelajaran (CP), Tujuan Pembelajaran (TP). Materi yang dikembangkan pada buku saku berdasarkan hasil penelitian adalah Perubahan dan Pelestarian Lingkungan Hidup yang termasuk dalam capaian pembelajaran perubahan lingkungan. Kurikulum dapat dilihat pada gambar 5.

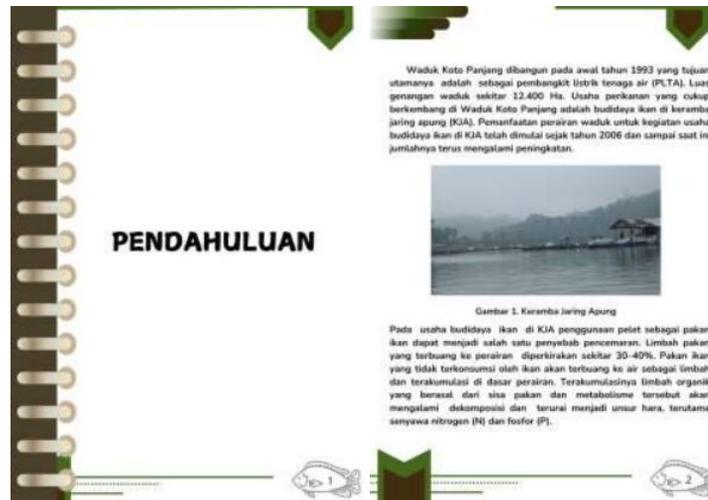


Gambar 5. Kurikulum pada Buku Saku

e. Pendahuluan

Bagian pendahuluan buku saku berisi penjelasan secara umum mengenai kondisi Keramba jaring apung di Waduk Koto Panjang. Bagian ini memuat sebuah wacana yang

menunjukkan adanya pencemaran yang terjadi di waduk koto panjang yang di pengaruhi oleh adanya keramba jaring apung di Waduk Koto Panjang. Pendahuluan dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Pendahuluan pada Buku Saku

f. Uraian Materi

Uraian materi pokok pada buku saku berisi penjelasan mengenai cara isolasi dan identifikasi bakteri logam berat timbal (Pb) pada insang dan usus ikan mas. Setiap bahasan terdiri dari gambar, tabel, klasifikasi dan penjelasan mengenai bakteri logam berat yang ditemukan pada ikan mas. Uraian materi dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Uraian Materi pada Buku Saku

g. Daftar Pustaka

Sumber referensi pada buku saku ini adalah referensi yang berkaitan dengan materi pencemaran logam berat timbal (pb). Daftar pustaka bertujuan untuk memberikan informasi pembaca bahwa karya tulis merupakan hasil dari berbagai sumber. Daftar pustaka dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Daftar Pustaka pada Buku Saku

3. Development

Setelah tahap desain buku saku selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah melaksanakan proses validasi terhadap produk yang telah dikembangkan. Proses validasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa buku saku yang dirancang memenuhi kriteria yang telah ditetapkan. Adapun hasil dari validasi produk dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Validasi Pengembangan Buku Saku

Aspek	Kriteria	Validator		Skor	Skor Rata-rata Aspek	Rata-per Kriteria
		I	II			
Struktur Materi	1	4	3	27	3,37	Sangat Valid
	2	4	3			
	3	4	2			
	4	4	3			
Kebahasaan	1	3	3	43	3,07	Valid
	2	3	3			
	3	3	3			
	4	3	3			
	5	4	3			
	6	3	2			
	7	3	4			
Format Kegrafisan	1	2	3	42	3	Valid
	2	2	4			
	3	3	3			
	4	3	4			
	5	3	3			
	6	3	3			
	7	3	3			
Jumlah		57	55	112	9,44	
Rata-rata		3,16	3,05	37,33	3,14	

Hasil validasi buku saku pada berbagai aspek, yakni struktur materi, kebahasaan, dan format kegrafisan, menunjukkan skor sebesar 3,14 yang diperoleh dari validator yang terdiri dari ahli materi dan ahli media. Rata-rata skor validasi yang tercatat dari kedua validator tersebut adalah 3,14, yang termasuk dalam kategori sangat valid. Skor ini menggambarkan bahwa buku saku yang telah dirancang tidak hanya memenuhi, tetapi juga sangat sesuai dengan kriteria media pembelajaran yang ditetapkan, baik dari segi konten materi, bahasa yang digunakan, maupun tampilan grafis yang mendukung. Hal ini membuktikan bahwa buku saku tersebut memiliki kualitas yang tinggi dan siap digunakan sebagai media pembelajaran yang efektif. Dengan demikian, buku saku ini mampu mendukung pemahaman materi secara lebih mendalam dan aplikatif pada siswa, khususnya pada materi perubahan dan pelestarian lingkungan hidup, serta secara spesifik pada submateri pencemaran lingkungan hidup. Validasi yang sangat baik ini menunjukkan bahwa buku saku ini telah dirancang secara cermat dan teliti agar sesuai dengan tujuan pendidikan yang ingin dicapai, serta dapat digunakan dengan optimal oleh siswa di tingkat SMA.

Identifikasi Morfologi dan Uji Biokimia Bakteri Logam Berat Timbal (Pb) pada Ikan Mas (*Cyprinus carpio*)

Hasil isolasi menunjukkan bahwa terdapat empat isolat bakteri akumulator logam berat timbal (Pb), dengan dua isolat berasal dari insang dan dua isolat lainnya dari usus ikan mas. Setiap isolat memiliki karakteristik yang berbeda, yang diidentifikasi melalui pengamatan makroskopis, mikroskopis, serta uji biokimia. Pengamatan makroskopis dilakukan dengan memperhatikan warna, bentuk, tepi, dan elevasi koloni bakteri, sedangkan pengamatan mikroskopis dilakukan melalui uji pewarnaan Gram untuk menentukan jenis Gram dan bentuk sel bakteri.

Berdasarkan pengamatan makroskopis, keempat isolat bakteri menunjukkan perbedaan karakteristik. Dari hasil identifikasi, ditemukan bahwa dua isolat berasal dari genus yang sama, yaitu *Proteus sp.* Tiga isolat memiliki bentuk koloni *circular* dengan tepi *entire* dan *elevasi convex*, sementara satu isolat lainnya memiliki tepi *curled*. Selain itu, keempat isolat bakteri juga menunjukkan variasi dalam warna koloni.

Hasil pewarnaan Gram menunjukkan bahwa semua isolat bakteri tergolong Gram negatif, ditandai dengan warna merah setelah proses pewarnaan, serta memiliki bentuk sel batang (*basil*). Variasi dalam karakteristik biokimiawi juga ditemukan di antara isolat bakteri. Pada uji *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA), semua isolat menunjukkan hasil positif, yang menandakan kemampuannya dalam memfermentasi glukosa. Uji sitrat juga memberikan hasil positif pada keempat isolat, ditandai dengan perubahan warna media dari hijau menjadi biru, yang menunjukkan bahwa bakteri mampu menggunakan sitrat sebagai sumber karbon (Sari *et al.*, 2023). Namun, hasil uji indol pada semua isolat menunjukkan hasil negatif, karena tidak terbentuk cincin merah setelah penambahan reagen *Kovac's*, yang mengindikasikan bahwa bakteri tidak memiliki enzim *tryptophanase* yang berperan dalam pemecahan asam amino triptofan menjadi indol (Hafsan, 2014).

Selain itu, uji motilitas menunjukkan bahwa empat isolat bakteri bersifat motil atau memiliki flagel, yang ditandai dengan penyebaran pertumbuhan bakteri dari pusat tusukan (Beslar *et al.*, 2022). Berdasarkan hasil keseluruhan penelitian, ditemukan bahwa bakteri akumulator logam berat timbal (Pb) yang berhasil diisolasi dari insang dan usus ikan mas di Waduk Koto Panjang terdiri dari tiga genus, yaitu *Enterobacter sp.*, *Proteus sp.*, dan *Pseudomonas sp.*

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa bakteri yang di dapat dari isolasi dan identifikasi bakteri logam berat timbal (Pb) pada insang dan usus ikan mas di Waduk Koto Panjang yaitu berasal dari genus *Enterobacter sp.*, *Proteus sp.*, dan *Pseudomonas sp.* Hasil pengembangan buku saku dengan metode isolasi bakteri akumulasi timbal pada ikan mas telah terbukti valid dan dirancang sesuai dengan kriteria media pembelajaran untuk materi perubahan dan pelestarian lingkungan hidup, khususnya pada submateri pencemaran lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, F. N., & Retnaningrum, E. (2023). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Dekontaminasi Logam Berat Timbal (Pb) dari Tempat Pengelolaan Sampah Terpadu (TPST) Piyungan, Bantul, Yogyakarta. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 10(3), 126–133.
- Afifah, N. L., Murtono, & Santoso. (2020). Pengembangan Buku Saku Berbasis Literasi Sains Untuk Meningkatkan Minat Belajar Tema Organ Gerak Hewan dan Manusia Pada Siswa. *Journal for Lesson and Learning Studies*, 3(3), 448–453.
- Anggraeni, D. S. (2017). *Kemampuan Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Berdasarkan Waktu Paparannya Oleh Bakteri Endapan Sedimen Perairan Sekitar Rumah Susun Kota Makassar*. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Ayu, D. M., Lufri, & Sumarmin, R. (2018). Pengembangan Modul Biologi Yang Dilengkapi Dengan LKS Berorientasi Problem Based Learning (PBL) Pada Materi Pokok Pencemaran Lingkungan Untuk Kelas X The Development Of Biology Modul With LKS Orientation Problem Based Learning (PBL) In Topic Environme. *Bioeducation Journal*, 2(1), 76–86.
- Beslar, S. Y., Ethica, S. N., Fitria, M. S., & Rahman, A. (2022). Deteksi Bakteri Pseudomonas Aeruginosa Isolat Pus Luka Berbasis Polymerase Chain Reaction Dengan Target Gen Pengkode Flagelin Flic. *Seminar Nasional UNIMUS*, 5, 807–819.
- Diana, N. (2013). *Potensi bakteri Enterobacter agglomerans sebagai biosorben logam berat timbal (Pb)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Hafsan, S. (2014). *Penuntun Praktikum Mikrobiologi Dasar*. Universitas Alauddin Press.
- Hayatun, N. (2019). *Toksistas Timbal (Pb) Terhadap Kesehatan Ikan*. Universitas Almuslim.
- Husain, M., & Puspasari, D. (2013). *Pengembangan Bahan Ajar Buku Saku Pada Kompetensi Dasar Mengidentifikasi Definisi Dan Ruang Lingkup Sarana Dan Prasarana Kantor Pada Siswa Kelas XI Apk 1 SMKN 1 Surabaya*. 1–16.
- Husen, O. O., Abdullah, N., Farastuti, E. R., Rumondang, A., J, M. A. H., Gaffar, S., Rombe, K. H., Rosalina, D., Lesmana, D., Wahyudin, Y., Nisari, T., Rachman, R. M., Kartini, N., & Irawan, H. (2024). *Potensi Dan Pengelolaan Sumber Daya Kelautan Indonesia*. PT. Kamiya Jaya Aquatic.
- Kemendikbud. (2024). *Panduan Capaian Pembelajaran Fase Fondasi*. Kemendikbud.
- Khairiyah, H., & Hamdi. (2025). Analisis Gaya Belajar Siswa sebagai Landasan Pembuatan Bahan Ajar Edupark. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 9, 3725–3730.
- Lailiya, N. R. (2021). *isolasi dan identifikasi bakteri toleran terhadap logam berat Pb pada air sedimen di sungai porong sidoarjo jawa timur*. UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Muhartini, Mansur, A., & Bakar, A. (2023). Pembelajaran kontekstual dan pembelajaran problem based learning. *Lencana: Jurnal Inovasi Ilmu Pendidikan*, 1(1), 66–77.
- Mustang. (2016). *Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pengakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Endapan Sedimen*. UIN Alauddin Makassar.

- Nuraeni, A., Samosir, A., & Sulistiono. (2021). Logam Berat Timbal (Pb) pada Hati Ikan Patin (Pangasius djambal) di Waduk Saguling, Jawa Barat. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 12(2), 113–123.
- Rahayu, N. I., Rosmaidar, Hanafiah, M., Karmil, T. F., Helmi, T. Z., & Daud, R. (2017). PENGARUH PAPARAN TIMBAL (Pb) TERHADAP LAJU PERTUMBUHAN IKAN NILA (*Oreochromis niloticus*). *JIMVET*, 1(4), 658–665.
- Sankarto., Bambang, S., & Endang, S. (2008). *Pedoman Pengemasan Informasi*. Jakarta: Departemen Pertanian
- Sari, N. I., Leksono, T., & Yuliana, C. H. (2023). *Isolasi dan identifikasi bakteri asam laktat pada bekasam ikan nila (Oreochromis niloticus) dengan penambahan dadih*. 17(4), 854–865. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v17i4.16669>
- Sayuti, I., Hartanto, A., & Mahadi, I. (2024). Bioremediation Potential of Heavy Metal-Resistant Bacteria in Koto Panjang Reservoir , Riau , Indonesia. *Journal of Biological Sciences Original*. <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2023>.
- Ulumudin, M. M., & Purnomo, T. (2022). Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Tumbuhan Papyrus (*Cyperus papyrus* L.) di Sungai Wangi Pasuruan. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 273–283. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v11n2.p273-283>