

Pengembangan E-Modul Berbasis *Education For Sustainable Development* (ESD) Pada Topik Pemanfaatan Logam Bekas Sebagai Elektroda *Salt Water Battery* Untuk Melatih Literasi Sains

Nushhihimmatula'liyah^{1*}, Ali Kusrijadi², Hernani³

Program studi pendidikan Kimia, Jl. Dr. Setiabudi No. 229, Bandung, 40154

¹ nushhihmtl1609@gmail.com*; ² ali_koes@upi.edu; ³ Hernani@upi.edu

*korespondensi penulis

ARTICLE HISTORY

Received: 29 April 2026

Revised: 26 July 2026

Accepted: 31 July 2026

ABSTRAK

Literasi sains merupakan kompetensi esensial yang perlu dikembangkan dalam pembelajaran kimia, namun pencapaiannya masih menghadapi berbagai kendala. Salah satu faktor yang memengaruhi rendahnya literasi sains adalah keterbatasan bahan ajar yang digunakan dalam proses pembelajaran. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan e-modul berbasis *Education for Sustainable Development* (ESD) pada topik pemanfaatan limbah logam bekas sebagai elektroda *salt water battery* yang telah tervalidasi dan dapat mendukung pengembangan literasi sains peserta didik. Metode yang digunakan adalah *Design and Development Research* (DDR) dengan fokus pada *Product and Tool Research*, yang mencakup tahapan analisis, perancangan, pengembangan, dan evaluasi. Partisipan penelitian terdiri atas lima guru kimia pada tahap analisis kebutuhan, tiga validator yang meliputi dua dosen ahli dan satu guru kimia, serta sembilan peserta didik kelas XII di salah satu SMA Negeri di Kota Bandung yang dipilih berdasarkan tingkat kemampuan akademik untuk uji coba terbatas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa e-modul yang dikembangkan telah memenuhi karakteristik e-modul yang baik serta memenuhi aspek kelayakan isi, penyajian, dan kebahasaan. Selain itu, e-modul mengintegrasikan komponen literasi sains dan prinsip *Education for Sustainable Development* (ESD) sehingga mampu mendukung pembelajaran kontekstual yang relevan dengan kehidupan sehari-hari. Hasil validasi menyatakan bahwa e-modul layak digunakan dalam pembelajaran dengan beberapa rekomendasi penyempurnaan. Uji coba terbatas juga menunjukkan adanya peningkatan profil literasi sains peserta didik dengan tingkat ketercapaian pada kategori baik, yaitu sebesar 63%–96%. Temuan ini mengindikasikan bahwa e-modul berbasis ESD yang dikembangkan berpotensi menjadi alternatif bahan ajar yang efektif untuk memfasilitasi pengembangan literasi sains dalam pembelajaran kimia.

Kata kunci : E-Modul, ESD, Literasi Sains, *Salt water battery*

ABSTRACT

Development of an Education for Sustainable Development (ESD)-Based e-Module on the Topic of Utilizing Scrap Metal as Saltwater Battery Electrodes to Train Scientific Literacy. Scientific literacy is an essential competency in chemistry education; however, its development remains a significant challenge. One of the factors contributing to the low level of scientific literacy is the limited quality of teaching materials used in the learning process. This study aimed to develop and validate an *Education for Sustainable Development* (ESD)-based e-module on the utilization of waste metal materials as electrodes for *salt water batteries* to support students' scientific literacy. The study employed the *Design and Development Research* (DDR) approach, focusing on *Product and Tool Research*, which consists of four stages: analysis, design, development, and evaluation. The participants included five chemistry teachers involved in the needs analysis stage, three validators (two university experts and one chemistry teacher), and nine twelfth-grade students from a public senior high school in Bandung City who were selected based on their academic achievement for the limited trial. The findings indicate that the developed e-module fulfills the characteristics of a high-quality e-module and meets the criteria for content, presentation, and language feasibility. Furthermore, the module integrates scientific literacy components with the principles of *Education for Sustainable Development* (ESD), thereby supporting contextual learning that is relevant to students' everyday lives. The validation results confirmed that the e-module is suitable for classroom implementation, with several recommendations for further refinement. The limited trial also demonstrated a positive improvement in students' scientific literacy profiles, with achievement levels ranging from 63% to 96%.

which falls within the good category. These findings suggest that the developed ESD-based e-module has the potential to serve as an effective instructional resource for fostering scientific literacy in chemistry learning.

Keywords: E-Module, ESD, Science Literacy, Salt Water Battery

Pendahuluan

Pendidikan pada abad ke-21 tidak lagi hanya berorientasi pada pencapaian kompetensi akademik, tetapi juga diarahkan untuk mempersiapkan individu agar memiliki berbagai keterampilan yang dibutuhkan dalam menghadapi tantangan global yang semakin kompleks. Oleh karena itu, proses pendidikan dituntut mampu membekali peserta didik dengan keterampilan abad ke-21 yang mendukung keberhasilan mereka di masa kini maupun masa depan. Selain mengembangkan kemampuan berpikir kritis, kreatif, komunikasi, dan kolaborasi, pendidikan juga perlu menumbuhkan kemampuan literasi sains sebagai salah satu kompetensi utama yang harus dimiliki peserta didik (Anggraeni et al., 2022).

Literasi sains mengacu pada kemampuan individu dalam menerapkan pengetahuan dan konsep-konsep sains untuk memahami serta menyelesaikan berbagai persoalan yang dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Kompetensi ini mencakup kemampuan menjelaskan fenomena secara ilmiah, merancang dan mengevaluasi penyelidikan ilmiah, memecahkan masalah berdasarkan bukti ilmiah, serta mengambil keputusan yang rasional dengan mempertimbangkan aspek sains, teknologi, dan keberlanjutan (OECD, 2022). Meskipun demikian, hasil *Programme for International Student Assessment* (PISA) menunjukkan bahwa tingkat literasi sains peserta didik di Indonesia masih tergolong rendah. Berdasarkan hasil survei PISA dalam periode 2008–2022, Indonesia secara konsisten berada pada kelompok negara dengan capaian literasi sains yang masih di bawah rata-rata internasional. Pada siklus PISA 2022, Indonesia menempati peringkat ke-66 dari 79 negara peserta dengan skor 383, yang masih berada di bawah rata-rata OECD sebesar 384 (OECD, 2022; OECD, 2023).

Rendahnya capaian literasi sains peserta didik di Indonesia dipengaruhi oleh berbagai faktor. Salah satu penyebabnya adalah proses pembelajaran yang masih belum sepenuhnya menerapkan pendekatan kontekstual. Dalam praktiknya, pembelajaran masih didominasi oleh guru (*teacher-centered learning*), sehingga lebih berorientasi pada penguasaan konsep daripada mendorong peserta didik untuk menemukan pengetahuan melalui penyelidikan maupun pemecahan masalah yang berkaitan dengan kehidupan nyata (Fuadi et al., 2020). Selain strategi pembelajaran, kualitas bahan ajar yang digunakan juga turut memengaruhi perkembangan literasi sains. Bahan ajar yang masih bersifat konvensional cenderung belum mampu memfasilitasi peserta didik untuk mengaitkan konsep-konsep sains dengan konteks kehidupan sehari-hari, sehingga peluang untuk mengembangkan kemampuan literasi sains menjadi kurang optimal.

Salah satu alternatif bahan ajar yang berpotensi mendukung peningkatan literasi sains adalah modul elektronik (*e-module*). E-modul interaktif menawarkan pengalaman belajar yang lebih menarik, fleksibel, dan kontekstual karena mampu mengintegrasikan berbagai bentuk media serta aktivitas pembelajaran yang berpusat pada peserta didik. Oleh karena itu, pengembangan e-modul menjadi salah satu strategi yang efektif untuk memfasilitasi pengembangan literasi sains (Safitri & Sari, 2022). Temuan penelitian Wardhana et al. (2021) juga menunjukkan bahwa e-modul interaktif memiliki tingkat kelayakan yang tinggi dan

memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan kemampuan literasi sains peserta didik, sehingga layak digunakan sebagai salah satu inovasi bahan ajar dalam pembelajaran sains.

Pengembangan e-modul yang berorientasi pada peningkatan literasi sains perlu mengintegrasikan prinsip-prinsip *Education for Sustainable Development* (ESD). ESD yang diprakarsai oleh UNESCO merupakan suatu kerangka pendidikan yang dirancang untuk membekali peserta didik dengan kompetensi yang diperlukan dalam menghadapi berbagai tantangan lingkungan, sosial, dan ekonomi, sekaligus mendorong terciptanya pembangunan berkelanjutan (Vioреза et al., 2023). Melalui pendekatan ini, peserta didik tidak hanya memperoleh pengetahuan, tetapi juga mengembangkan kesadaran, sikap, dan tanggung jawab terhadap kelestarian lingkungan sehingga mampu berkontribusi dalam mewujudkan masa depan yang berkelanjutan.

Sejalan dengan prinsip tersebut, implementasi pembelajaran mendalam (*deep learning*) dalam Kurikulum Merdeka menjadi pendekatan yang relevan untuk mendukung penerapan ESD. Pembelajaran mendalam didefinisikan sebagai pendekatan yang menciptakan pengalaman belajar yang berkesadaran, bermakna, dan menyenangkan melalui pengembangan aspek berpikir (olah pikir), karakter (olah hati), kepekaan (olah rasa), dan keterampilan (olah raga) secara holistik dan terpadu (Kemendikdasmen, 2025). Pendekatan ini tidak hanya menekankan penguasaan konsep secara mendalam, tetapi juga mendorong peserta didik untuk mengaitkan pengetahuan dengan konteks kehidupan nyata, mengembangkan kemampuan pemecahan masalah, serta menumbuhkan kepedulian terhadap isu-isu lingkungan. Oleh karena itu, integrasi pembelajaran mendalam dalam Kurikulum Merdeka merupakan strategi yang selaras dengan tujuan ESD, karena keduanya sama-sama berorientasi pada pengembangan kompetensi peserta didik yang mampu berpikir kritis, bertindak secara bertanggung jawab, dan berkontribusi terhadap pembangunan berkelanjutan.

Salah satu mata pelajaran yang memiliki potensi besar dalam mengimplementasikan prinsip *Education for Sustainable Development* (ESD) adalah kimia. Sebagai ilmu yang mempelajari komposisi, struktur, sifat, perubahan materi, serta energi yang menyertainya, kimia berperan penting dalam membekali peserta didik dengan pemahaman ilmiah untuk menghadapi berbagai tantangan global, seperti perubahan iklim, krisis lingkungan, dan keterbatasan sumber daya energi. Melalui pembelajaran kimia, peserta didik didorong untuk memahami dan mengembangkan solusi yang mendukung pemanfaatan sumber daya secara efisien dan berkelanjutan. Salah satu materi dalam Capaian Pembelajaran Kurikulum Merdeka mata pelajaran Kimia Fase F (Kelas XI dan XII SMA/MA/Program Paket C) yang relevan dengan tujuan tersebut adalah sel elektrokimia. Materi ini tidak hanya membahas prinsip konversi energi melalui reaksi kimia, tetapi juga memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mempelajari berbagai inovasi teknologi penyimpanan energi, seperti *salt water battery* yang dipandang sebagai alternatif baterai yang lebih ramah lingkungan. Dengan demikian, pembelajaran sel elektrokimia menjadi konteks yang tepat untuk mengintegrasikan prinsip-prinsip ESD sekaligus mengembangkan kesadaran peserta didik terhadap pentingnya inovasi teknologi dalam mendukung pembangunan berkelanjutan.

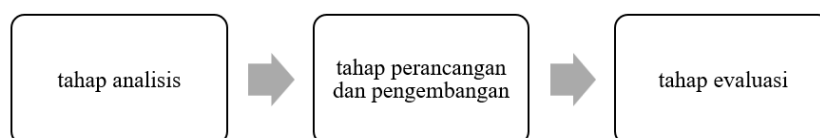
Salt water battery merupakan alternatif baterai yang menggunakan larutan garam NaCl sebagai larutan elektrolit. Senyawa NaCl yang terdapat dalam larutan diuraikan oleh H₂O menjadi Na⁺ dan Cl⁻ (Anisa & Setyaningrum, 2022). Timbulnya arus listrik oleh muatan bebas

tersebut dapat dipakai sebagai sumber energi listrik yang murah dan mudah diperoleh sehingga memiliki potensi berkelanjutan dibandingkan dengan baterai Lithium. Keunggulan lainnya adalah sifatnya yang tidak mudah terbakar, bebas perawatan, mudah didaur ulang, ramah lingkungan serta bahan baku yang digunakan sangat melimpah sehingga dapat digunakan sebagai penyimpanan energi terbarukan (Chen et al., 2023). Pemanfaatan logam bekas maupun limbah baterai sebagai elektroda pada *salt water battery* menjadi salah satu inovasi yang dapat dilakukan untuk pembuatan baterai alternatif. Dengan memanfaatkan limbah sebagai elektroda, prinsip *reduce, reuse, recycle* dapat diterapkan sekaligus memberikan alternatif bahan baku yang murah dan mudah diperoleh.

Berdasarkan paparan tersebut, maka pada penelitian ini memiliki fokus untuk menghasilkan e-modul berbasis ESD E-modul berbasis *Education for Sustainable Development* (ESD) pada Topik pemanfaatan logam bekas sebagai elektroda *Salt Water Battery* untuk melatih Literasi Sains Murid”. E-Modul tersebut didasarkan pada survey awal adanya kebutuhan lapangan terkait ketersediaan bahan ajar khususnya e modul dalam menunjang pembelajaran berkualitas yang menunjang tujuan kurikulum Merdeka dan pengintegrasian ESD.

Metode

Penelitian ini menggunakan model pengembangan Richey and Klein (2007) yaitu Design and Development Research (DDR) dengan penelitian yang berfokus pada pengembangan alat dan produk (Product and Tool Research). Tahapan yang menjadi fokus dari desain ini terdiri dari tiga tahapan, yaitu analisis, perancangan (Desain) dan pengembangan (Development) serta Evaluasi (Evaluation). Berikut gambaran DDR yang diadopsi dari Richey dan Klein



Gambar 1. Tahapan DDR

Pada tahap analisis dilakukan analisis kebutuhan melalui kajian literatur mengenai literasi sains, ESD, Capaian pembelajaran dan survei awal, tahap ini juga menganalisis pada kebijakan dan dokumen resmi kemendikdasmen. Pada tahap perancangan (*Design*) dan pengembangan (*Development*) terdiri dari dua tahap, tahapan pertama adalah perancangan (*Design*) yang terdiri dari perumusan tujuan pembelajaran, mengkaji serta menelaah konteks dan konten kimia yang terdapat pada literatur jurnal, artikel dan textbook general chemistry, dan diakhiri dengan penyusunan outline E-modul dengan memperhatikan kriteria pada panduan Kemendikbud (2017). Tahapan kedua adalah pengembangan (*Development*) yang melibatkan penggabungan teks asli dari literatur dan menghaluskan menjadi teks dasar, perumusan Latihan dan evaluasi, menyusun e-modul dalam format digital serta validasi e-modul oleh dua dosen ahli dan satu guru kimia. Pada tahap Evaluasi (*Evaluation*) dilakukan uji coba terbatas yang melibatkan 9 murid kelompok kemampuan tinggi, sedang dan rendah di kelas XII-1 dari salah satu SMA Negeri di Kota Bandung.

Pendekatan yang digunakan adalah deskriptif kualitatif yang didukung oleh data kuantitatif sederhana (semi-kuantitatif). Data kualitatif diperoleh melalui analisis jawaban

murid dan hasil validasi ahli, sedangkan data kuantitatif berupa skor dan persentase digunakan untuk memperkuat interpretasi terhadap profil literasi sains murid. Instrument yang digunakan pada penelitian ini adalah format kontruksi pengembangan E-Modul, lembar validasi, format analisis jawaban murid. Hasil coba uji terbatas e-modul diolah dengan merangkum hasil analisis jawaban pada soal latihan yang terdapat dalam E-modul kemudian dilakukan penskoran persentase dengan menghitung jumlah jawaban benar murid menggunakan rumus (1). Sistem pemberian skor jawaban dilakukan dengan memberi skor 2 jika benar, skor 1 jika benar sebagian dan 0 apabila salah semua.

$$\text{Tingkat Ketercapain} = \frac{\text{Skor yang diperoleh}}{\text{Skor maksimum}} \times 100\% \quad (1)$$

Skor yang diperoleh, kemudian dikategorikan tingkat ketercapaian aspek literasi sains menggunakan kriteria persentase yang disadur Sarip *et al.* (2022): Sangat Baik (80,1%-100%), Baik (60,1%-80%), sedang (40,1%-60%), tidak baik (20,1%-40%), sangat tidak baik (0,0%-20%)

Hasil dan Pembahasan

Desain E-modul

Tahap Desain e-modul terdiri dari tiga tahapan besar yang meliputi tahap analisis, perancangan dan pengembangan (Richey & Klein, 2007). Pada tahap analisis dilakukan kajian literatur mengenai capaian pembelajaran, kurikulum, literasi sains dan *Education for Sustainable Development* (ESD). Setelah kajian literatur, dilakukan analisis kebutuhan pengembangan E-modul untuk memperkuat kebutuhan E-modul sebagai materi pengayaan. Analisis kebutuhan dilakukan melalui penyebaran kuisisioner kepada beberapa guru yang mengajar kimia jenjang Sekolah Menengah Atas di Kota Bandung. Adapun tahap perancangan e-modul diawali dengan perumusan tujuan pembelajaran yang didasarkan pada capaian pembelajaran Fase F Kurikulum Merdeka, aspek literasi sains pada PISA 2025 serta aspek ESD. Contoh tujuan pembelajaran ditunjukkann pada tabel 2.

Tabel 2. Perumusan tujuan pembelajaran

Capaian Pembelajaran	Aspek Literasi Sains (PISA 2025)	Aspek ESD	Tujuan Pembelajaran
menjelaskan sel elektrokimia dalam kehidupan sehari-hari;	Indikator Kompetensi Sains Mengingat dan menerapkan pengetahuan ilmiah yang sesuai Indikator Identitas Sains Kesiapan individu untuk berpartisipasi secara aktif dalam isu-isu yang berkaitan dengan sains serta membuat pertimbangan secara kritis dengan mengintegrasikan pengetahuan ilmiah, nilai-nilai, dan bentuk pengetahuan lainnya	Lingkungan: Sumber daya alam.	Mengarahkan Murid untuk dapat menjelaskan pengertian energi, dan penerapannya dalam berbagai aktivitas

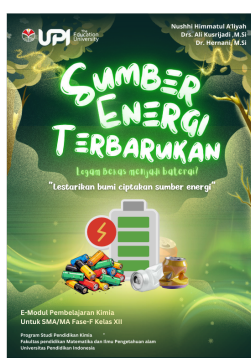
Setelah dilakukan perumusan tujuan pembelajaran, dilakukan analisis konten dan konteks yang akan di bahas pada topik pemanfaatan limbah logam bekas sebagai elektroda pada *salt water battery*. Konten dan konteks yang dirumuskan mengacu pada capaian pembelajaran dan tujuan pembelajaran yang telah dirumuskan pada tahap sebelumnya serta merujuk pada text book dan artikel ilmiah yang berkaitan dengan topik pemanfaatan limbah logam bekas sebagai elektroda pada *salt water battery*. Adapun contoh hasil analisis konten dan konteks disajikan dalam tabel 3.

Tabel 3 Analisis Konten dan Konteks E-modul

Capaian Pembelajaran	Tujuan Pembelajaran	Konten/Konteks
menjelaskan sel elektrokimia dalam kehidupan sehari-hari;	Mengarahkan Murid untuk dapat menjelaskan pengertian energi, dan penerapannya dalam berbagai aktivitas	1. Pengertian Energi 2. Klasifikasi energi 3. Energi dibutuhkan diberbagai aktivitas

Konten dan konteks yang sudah dirumuskan kemudian di perluas melalui penggabungan teks asli dan pembuatan teks dasar. Dalam Penggabungan teks asli ditekankan pengintegrasian aspek-aspek ESD yang mencakup aspek lingkungan, sosial dan ekonomi. Adapun Pembuatan teks dasar dilakukan melalui penghalusan teks yang meliputi proses mengurangi, menambahkan dan/atau mengganti kata atau kalimat dan menyederhanakan tanpa mengubah makna dari materi yang dibahas (Rostikawati & Permanasari, 2016) . Setelah teks dasar atau draft materi selesai, kemudian dilanjutkan dengan perumusan soal Latihan dan penyusunan outline e-modul untuk menentukan sistematika penulisan e-modul. Sistematika penulisan e-modul didasarkan pada panduan penyusunan e-modul yang diterbitkan oleh Kemendikbud (2017) yang meliputi sampul depan, kata pengantar, daftar isi, pendahuluan, kegiatan pembelajaran, glosarum, daftar Pustaka dan profil penulis.

E-modul yang dikembangkan terdiri dari 2 kegiatan pembelajaran yaitu “Energi, Krisis Energi dan teknologi penyimpanan Energi”, dan “*salt water battery*”. Pada masing-masing kegiatan pembelajaran tersebut terdiri dari tujuan pembelajaran, uraian materi, evaluasi, dan refleksi diri. Desain e-modul yang dikembangkan mempertimbangkan prinsip estetika dan fungsional. Jenis huruf dan ukuran huruf dibuat konsisten dengan ukuran kertas A4. Warna yang digunakan konsisten dengan warna yang dominan hijau tua dan abu-abu. Adapun tampilan visualisasi sampul e-modul dan salah satu kegiatan pembelajaran disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Tampilan Sampul depan



Gambar 2. Cuplikan kegiatan pembelajaran dalam e-modul

Hasil Validasi Ahli

E-modul yang telah dirancang selanjutnya menjalani proses validasi menggunakan teknik triangulasi investigator. Pada tahap ini, seluruh materi, termasuk teks dan instrumen soal yang terdapat dalam e-modul, dievaluasi oleh tiga validator yang terdiri atas dua dosen yang memiliki keahlian di bidang kimia dan literasi sains serta satu guru mata pelajaran kimia. Jumlah validator tersebut sejalan dengan rekomendasi Audhiha et al. (2022), yang menyatakan bahwa proses penilaian kelayakan sebaiknya melibatkan sedikitnya tiga orang validator. Validasi dilakukan terhadap aspek materi dan instrumen penilaian dengan tujuan memastikan bahwa e-modul yang dikembangkan memenuhi standar kelayakan, baik dari segi kualitas isi maupun kesesuaian soal evaluasi yang digunakan.

Validasi terhadap teks dasar dalam e-modul dilakukan berdasarkan empat kriteria utama, yaitu kesesuaian konteks dan konten dengan tujuan pembelajaran, keterkaitan antara teks dengan konten dan konteks yang disajikan, ketepatan penggunaan ilustrasi, gambar, dan tabel dalam mendukung isi teks, serta kesesuaian aspek kebahasaan dengan karakteristik dan tingkat perkembangan peserta didik. Hasil validasi menunjukkan bahwa e-modul yang dikembangkan dinyatakan layak untuk digunakan dalam pembelajaran, meskipun masih terdapat beberapa masukan untuk penyempurnaan. Perbaikan yang dilakukan terutama meliputi rekonstruksi pilihan kata, penyusunan kalimat, dan penyempurnaan kaidah kebahasaan. Sementara itu, validasi instrumen soal difokuskan pada kesesuaian butir pertanyaan dengan tujuan pembelajaran, keterkaitannya dengan aspek literasi sains, serta ketepatan rubrik penilaian yang digunakan. Seluruh masukan dari para validator dijadikan dasar untuk merevisi e-modul sehingga produk akhir memenuhi kriteria kelayakan yang telah ditetapkan. Beberapa contoh hasil validasi beserta rekomendasi perbaikannya disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Temuan Validasi E-modul

Validasi Teks Dasar	
Sebelum Perbaikan	Setelah Perbaikan
Meskipun kedua jenis baterai tersebut banyak memiliki keunggulan tetapi baterai tersebut tetap memiliki umur masa pakai yang terbatas, sehingga jika sudah tidak dapat digunakan lagi, maka baterai tersebut akan menjadi limbah	Meskipun baterai primer dan baterai sekunder banyak memiliki keunggulan tetapi baterai tersebut tetap memiliki umur masa pakai yang terbatas, sehingga jika sudah tidak dapat digunakan lagi, maka baterai tersebut akan menjadi limbah.
Validasi Soal Latihan	
Sebelum Perbaikan	Setelah Perbaikan
Sebutkan kekurangan dan kelebihan dari kedua baterai dengan disertai alasan yang logis	Sebutkan kekurangan dan kelebihan dari baterai primer dan sekunder dengan disertai alasan yang logis

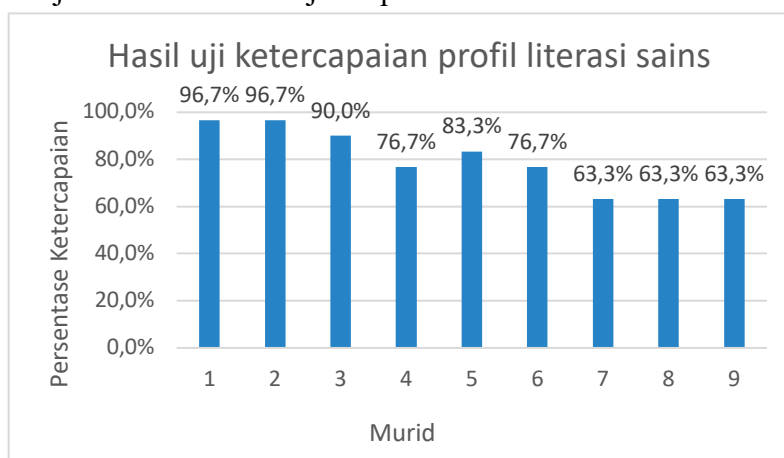
Keterangan:

~~Teks~~: Bagian yang dihapus

Teks: Bagian yang ditambahkan

Profil Literasi Sains Murid

Profil literasi sains peserta didik diperoleh berdasarkan hasil uji coba terbatas terhadap e-modul yang telah dikembangkan. Analisis profil literasi sains dilakukan dengan menilai tingkat kesesuaian dan ketepatan jawaban peserta didik pada latihan yang terdapat dalam e-modul menggunakan rubrik penilaian yang telah disusun dan divalidasi sebelumnya. Untuk meningkatkan kredibilitas hasil analisis, proses penilaian jawaban menerapkan triangulasi investigator yang melibatkan tiga penilai, yaitu peneliti utama dan dua dosen ahli. Arianto (2024) menjelaskan bahwa triangulasi investigator merupakan teknik yang melibatkan lebih dari satu peneliti dalam proses pengumpulan maupun analisis data guna meningkatkan keandalan hasil penelitian. Instrumen yang digunakan dalam e-modul terdiri atas 15 soal uraian yang dirancang untuk mengembangkan dan mengukur aspek-aspek literasi sains, meliputi kompetensi sains, identitas sains, dan pengetahuan sains. Hasil ketercapaian profil literasi sains peserta didik pada uji coba terbatas disajikan pada Gambar 3.



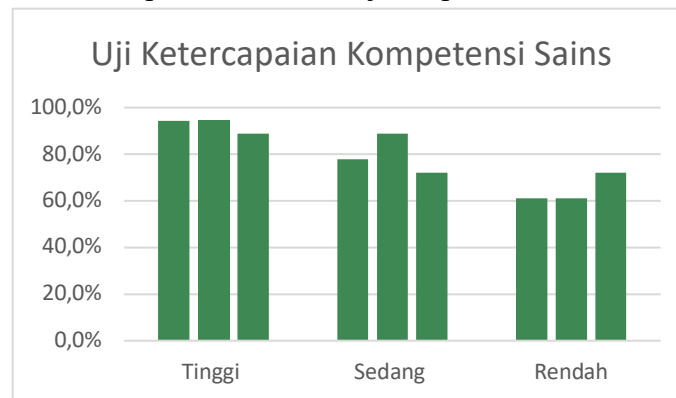
Gambar 3. Diagram Hasil uji ketercapaian profil literasi sains

Tingkat ketercapaian profil literasi sains murid dengan nilai rata-rata sebesar 78,9% termasuk dalam kategori baik. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan E-modul berbasis *Education for sustainable Development* pada topik pemanfaatan logam bekas sebagai elektroda *salt water battery* dapat melatih atau mengasah aspek literasi sains murid. Sejalan dengan Sari *et al.*, (2024) yang menyatakan bahwa pengembangan E-modul berbasis ESD dapat meningkatkan literasi sains murid. Meskipun demikian, capaian tersebut juga menunjukkan bahwa masih terdapat capaian literasi sains murid yang belum terpenuhi secara maksimal. Kondisi ini diduga karena tuntutan soal yang memerlukan kemampuan mengingat dan penerapan pengetahuan ilmiah yang lebih mendalam dalam konteks kehidupan nyata sehingga murid masih mengalami kesulitan dalam mengintegrasikan pengetahuan dengan penerapannya dalam konteks nyata. Sejalan dengan Oktaviani & Faizah (2024) yang menyatakan bahwa kemampuan literasi sains tidak hanya mencakup penguasaan konsep, tetapi juga kemampuan berpikir kontekstual untuk penerapan pengetahuan dalam konteks kehidupan nyata. Untuk memperoleh gambaran lebih rinci mengenai ketercapaian profil literasi sains murid, analisis selanjutnya dilakukan pada setiap aspek literasi sains

a. Profil Literasi sains murid pada aspek Kompetensi sains

Aspek kompetensi sains dalam penelitian ini mengacu pada tiga dimensi utama, yaitu kemampuan menjelaskan fenomena secara ilmiah, mengevaluasi dan merancang penyelidikan

ilmiah, serta menginterpretasikan data dan bukti ilmiah secara kritis, termasuk menggunakan informasi ilmiah sebagai dasar dalam pengambilan keputusan atau tindakan (OECD, 2023). Untuk mengukur ketercapaian aspek tersebut, dari total 15 soal uraian yang disusun dalam e-modul, sebanyak sembilan butir soal dirancang secara khusus untuk mengembangkan dan mengukur kompetensi sains peserta didik. Hasil analisis ketercapaian kompetensi sains sebagai bagian dari profil literasi sains peserta didik disajikan pada Gambar 4.



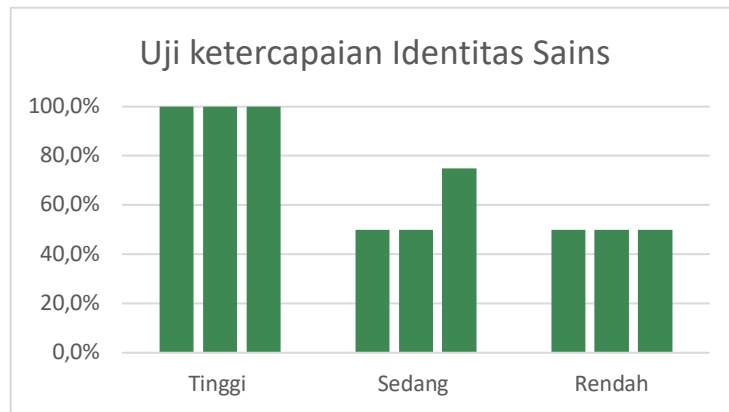
Gambar 4. Diagram hasil uji ketercapaian kompetensi sains

Tingkat ketercapaian literasi sains pada aspek kompetensi sains mencapai 79,0% termasuk kategori baik. Hal ini menunjukkan sebagian besar murid telah mencapai aspek literasi sains pada dimensi kompetensi sains. Pencapaian yang tidak maksimal pada aspek kompetensi sains diduga karena murid masih mengalami kesulitan dalam memahami konsep secara kompleks, Sitanggang & Syahputra (2023) menjelaskan bahwa siswa mengalami kesulitan mulai dari memahami konsep hingga menemukan fakta. Selain itu tuntutan soal yang memerlukan kemampuan analisis dan penalaran lebih dalam dapat menyebabkan kesalahan dalam menafsirkan soal dan menyusun strategi dalam menjawab soal (Magfiro & Fadilah, 2024).

b. Profil Literasi sains murid pada aspek Identitas Sains

Identitas sains dipandang sebagai salah satu karakteristik yang mencerminkan individu yang memiliki literasi sains. Dalam penelitian ini, aspek identitas sains difokuskan pada dua dimensi. Dimensi pertama adalah elemen afektif identitas sains, yang diukur melalui indikator kemauan peserta didik untuk terlibat dalam berbagai isu yang berkaitan dengan sains serta mempertimbangkan isu-isu tersebut secara kritis dengan memanfaatkan pengetahuan ilmiah dan berbagai bentuk pengetahuan maupun nilai lain yang relevan. Dimensi kedua adalah kesadaran, kepercayaan, dan agen lingkungan, yang diukur melalui indikator kesadaran peserta didik terhadap berbagai permasalahan lingkungan dan sosial sebagai landasan dalam membangun perilaku serta tindakan yang bertanggung jawab terhadap lingkungan (OECD, 2023). Hasil pengukuran terhadap kedua dimensi tersebut disajikan pada Gambar 5.

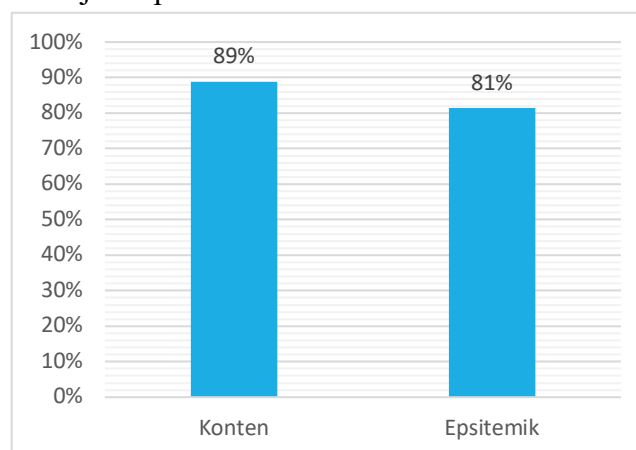
Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa Tingkat ketercapaian aspek identitas sains mencapai 69,4% yang termasuk kedalam kategori baik. Vamvakas *et al.*, (2023) menjelaskan bahwa identitas sains murid terbentuk melalui proses panjang yang melibatkan beberapa faktor seperti halnya lingkungan yang dapat membangun kepedulian, kesadaran dan keterlibatan terhadap isu sains. Oleh karena itu kondisi capaian kemampuan aspek identitas sains murid yang tidak maksimal merupakan hal yang wajar.



Gambar 5. Diagram hasil uji ketercapain identitas sains

c. Profil Literasi sains murid pada aspek Pengetahuan

Aspek pengetahuan dalam literasi sains terdiri atas tiga dimensi, yaitu pengetahuan konten (*content knowledge*), pengetahuan prosedural (*procedural knowledge*), dan pengetahuan epistemik (*epistemic knowledge*). Penelitian ini berfokus pada dua dimensi, yakni pengetahuan konten dan pengetahuan epistemik. Hasil analisis menunjukkan bahwa ketercapaian literasi sains peserta didik pada aspek pengetahuan mencapai 75,0%, yang termasuk dalam kategori baik. Menurut Martinez-Hernandez, sebagaimana dikutip dalam Randan et al. (2022), aspek pengetahuan mencerminkan sejauh mana peserta didik memahami fakta, konsep, dan teori yang menjadi dasar pembelajaran sains. Dengan demikian, pencapaian aspek pengetahuan tidak hanya bergantung pada penguasaan informasi ilmiah, tetapi juga pada kemampuan peserta didik dalam memahami, mengaitkan, dan menerapkan fakta, konsep, serta teori ilmiah secara tepat. Meskipun secara umum ketercapaian aspek pengetahuan berada pada kategori baik, hasil analisis menunjukkan adanya perbedaan tingkat pencapaian antara dimensi pengetahuan konten dan pengetahuan epistemik. Perbandingan tingkat ketercapaian pada kedua dimensi tersebut disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram ketercapaian aspek pengetahuan

Indikator. pengetahuan epistemik menunjukkan hasil lebih rendah dibandingkan dengan indikator pengetahuan konten. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fadilah et al., (2020) yang menyetakan bahwa pengetahuan konten mempunyai persentase yang lebih besar jika dibandingkan dengan epistemik. Indikator pengetahuan konten mendapatkan persentase nilai lebih tinggi karena indikator ini berhubungan dengan materi yang

terdapat dalam pembelajaran dikelas dan memiliki relevansi dengan kehidupan nyata (Randan et.al., 2022). Sementara itu rendahnya pengetahuan epistemik murid diduga disebabkan oleh kurangnya pengalaman murid dalam kegiatan penyelidikan ilmiah khususnya dalam melakukan observasi, penentuan hipotesis dan mengemukakan bukti yang relevan dan valid dalam pendekatan saintifik (Randan et al., 2022).

Simpulan

Penelitian ini mengembangkan e-modul berbasis *Education for Sustainable Development* (ESD) pada topik pemanfaatan limbah logam bekas sebagai elektroda *salt water battery*. E-modul yang dihasilkan telah memenuhi karakteristik e-modul yang baik serta disusun secara sistematis dengan memperhatikan aspek kelayakan isi, penyajian, dan kebahasaan. Integrasi prinsip ESD dan komponen literasi sains dalam e-modul dirancang untuk mendukung pembelajaran yang kontekstual, relevan dengan permasalahan kehidupan nyata, serta berkontribusi terhadap pengembangan literasi sains peserta didik. Hasil validasi menunjukkan bahwa e-modul memenuhi kriteria kelayakan yang telah ditetapkan, mencakup kesesuaian materi dengan tujuan pembelajaran, keterpaduan antara konten dan konteks, ketepatan penggunaan ilustrasi, gambar, dan simbol, serta kesesuaian bahasa dengan karakteristik perkembangan peserta didik. Selain itu, hasil uji coba terbatas menunjukkan adanya peningkatan yang positif pada profil literasi sains peserta didik, sehingga mengindikasikan bahwa e-modul yang dikembangkan memiliki potensi untuk memfasilitasi pengembangan literasi sains dalam pembelajaran kimia. Meskipun demikian, beberapa aspek literasi sains masih menunjukkan tingkat ketercapaian yang belum optimal. Oleh karena itu, diperlukan penyempurnaan lebih lanjut, terutama melalui perbaikan konstruksi soal dan penguatan materi pendukung, agar efektivitas e-modul dalam mengembangkan literasi sains peserta didik dapat ditingkatkan.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Pendidikan Indonesia serta dosen pembimbing yang telah memberikan fasilitas, dukungan, dan kesempatan dalam melakukan penelitian hingga selesai. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada ibu Nursida Sutantri, M.Pd. sebagai bentuk apresiasi atas kontribusi dan dukungan dalam penelitian, serta kepada murid SMAN 4 Bandung yang telah berpartisipasi sebagai sampel dalam penelitian ini.

Referensi

- Anggraeni, C., Permanasari, A., & Heliawati, L. (2022). Students' Scientific Literacy in Chemistry Learning through Collaborative Techniques as a Pillar of 21st-Century Skills. *Journal of Innovation in Educational and Cultural Research*, 3(3), 457–462. <https://doi.org/10.46843/jiecr.v3i3.162>
- Anisa, Z., & Setyaningrum, D. (2022). Pemanfaatan Elektrolit Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Baterai Dengan Elektroda Tembaga-Aluminium. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 19(2), 156–162. <https://doi.org/10.31851/sainmatika.v19i2.9583>

- Arianto. (2024). *Triangulasi Metoda Penelitian Kualitatif*. Balikpapan: Borneo Novelty Publishing.
- Audhiha, M., Febliza, A., & Afdal, Z. (2022). Pengembangan Multimedia Interaktif Berbasis Adobe Animate CC pada Materi Bangun Ruang Sekolah Dasar/ Madrasah Ibtidaiyah. *Jurnal basicedu*. 6(1), 1086–1097. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i1.2170>
- Bhawal, S., & Baishya, K. (2024a). Common Salt Water Battery for Sustainable Energy Solutions in Remote Areas. *3rd Odisha International Conference on Electrical Power Engineering, Communication and Computing Technology, ODICON 2024, November 2024*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ODICON62106.2024.10797540>
- Chen, J., Xu, W., Wang, X., Yang, S., & Xiong, C. (2023). Progress and Applications of Seawater-Activated Batteries. *Sustainability (Switzerland)*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/su15021635>
- Fadilah, M., Permanasari, A., Riandi, R., & Maryani, E. (2020). Analisis Karakteristik Kemampuan Literasi Sains Konteks Bencana Gempa Bumi Mahasiswa Pendidikan IPA pada Domain Pengetahuan Prosedural dan Epistemik. *Jurnal IPA & Pembelajaran IPA*, 4(1), 103–119. <https://doi.org/10.24815/jipi.v4i1.16651>
- Fuadi, H., Robbia, Z. A., Jamaluddin., Wahab, J. A. (2020). Analisis Kemampuan Literasi Sains Peserta Didik SMA Kelas X di Kota Solok. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains. Jurnal Pendidikan Matematika Dan Sains.*, 1(4), 161–170. <https://doi.org/10.29303/jipp.v5i2.122>
- Huang, J., Yu, P., Liao, M., Dong, X., Xu, J., Ming, J., Bin, D., Wang, Y., Zhang, F., & Xia, Y. (2023). *A self-charging salt water battery for antitumor therapy*. 9(13). <https://doi.org/10.1126/sciadv.adf3992>
- Maqfiro, D. A., & Fadilah, Y. (2024). Analisis Faktor Penyebab Kesulitan Belajar Matematika Pada Materi Satuan Waktu SDN Kanigaran 3. *AL IBTIDAIYAH: Jurnal Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah*, 5(1), 108–114. <https://doi.org/10.46773/ibtidaiyah.v5i1.1058>
- Sitanggang, M. M., & Syahputra, E. (2023). Analisis Kesulitan Siswa Dalam Menyelesaikan Soal-Soal Higher Order Thinking Skills. *Journal of Student Research*, 2(1), 10–22. <https://doi.org/10.55606/jsr.v2i1.2081>
- Kemendikdasmen. (2025). *Pembelajaran Mendalam. NASKAH AKADEMIK PEMBELAJARAN MENDALAM Menuju Pendidikan Bermutu Untuk Semua*, 1–75.
- Oktaviani, N., & Faizah, U. N. (2024). The Effect of Science Literacy Skills to Contextual Thinking Skills on Science Literacy-Based Learning. *INSECTA : Integrative Science Education and Teaching Activity Journal*, 5(1), 1–10. <https://jurnal.iainponorogo.ac.id/index.php/insecta>
- OECD. (2022). PISA Result. *Journal Pendidikan*, 10. <https://www.oecd.org/publication/pisa-2022-results/country-notes/malaysia-1dbe2061/>
- OECD. (2023). PISA 2025 Science Framework (Draft). OECD Publishing
- Randan, S., Husain, H., & Allo, E. L. (2022). Analisis Ketercapaian Literasi Sains Peserta Didik Kelas XI MIPA 1 SMAN 4 Toraja Utara ditinjau dari Dimensi Pengetahuan dan Sikap. *LEARNING : Jurnal Inovasi Penelitian Pendidikan Dan Pembelajaran*, 2(3), 278–283. <https://doi.org/10.51878/learning.v2i3.1584>
- Richey and Klein, (2007). *Desain and Development Research: Methods, Strategies, and Issues*.

NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

- Rostikawati, D. A., & Permanasari, A. (2016). Rekonstruksi bahan ajar dengan konteks socio-scientific issues pada materi zat aditif makanan untuk meningkatkan literasi sains siswa. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 2(2), 156-164. <https://doi.org/10.21831/jipi.v2i2.8814>
- Safitri, R., & Sari, M. (2022). Pengembangan E-Modul Kimia Berbasis Sets (Science, Environment, Technology, and Society) Untuk Siswa Sman 1 Kecamatan Payakumbuh. *Journal of Chemistry Education and Integration*, 1(1), 9-15. <https://doi.org/10.24014/jcei.v1i1.16245>
- Sari, A. K., Hernani, & Supriatna, A. (2024). Pengembangan E-Modul Berbasis Education for Sustainable Development (ESD) pada Topik Bioplastik untuk Meningkatkan Literasi Sains Peserta Didik. *Jurnal Riset Dan Praktik Pendidikan Kimia*, 12(2), 137–146. <https://doi.org/10.17509/jrppk.v12i2.76145>
- Vamvakas, M., Tytler, R., & White, P. J. (2023). Translating contemporary scientists' knowledge and practice into classrooms: Scalable design supporting identity work. *Frontiers in Education*, 8(March), 1–14. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1100171>
- Vioreza, N., Hilyati, W., & Lasminingsih, M. (2023). Education for Sustainable Development: Bagaimana Urgensi dan Peluang Penerapannya pada Kurikulum Merdeka? *PUSAKA: Journal of Educational Review*, 1(1), 34–48. <https://doi.org/10.56773/pjer.v1i1.11>
- Wardhana, S. O., Nabilah, S., Dewitasari, A. P., & Hidayah, R. (2021). E-Modul Interaktif Berbasis Nature of Science (Nos) Perkembangan Teori Atom Untuk Meningkatkan Level Kognitif Literasi Sains Peserta Didik. *UNESA Journal of Chemical Education*, 11(1), 34–43. <https://doi.org/10.26740/ujced.v11n1.p34-43>